

3D ADEPT **MAG**

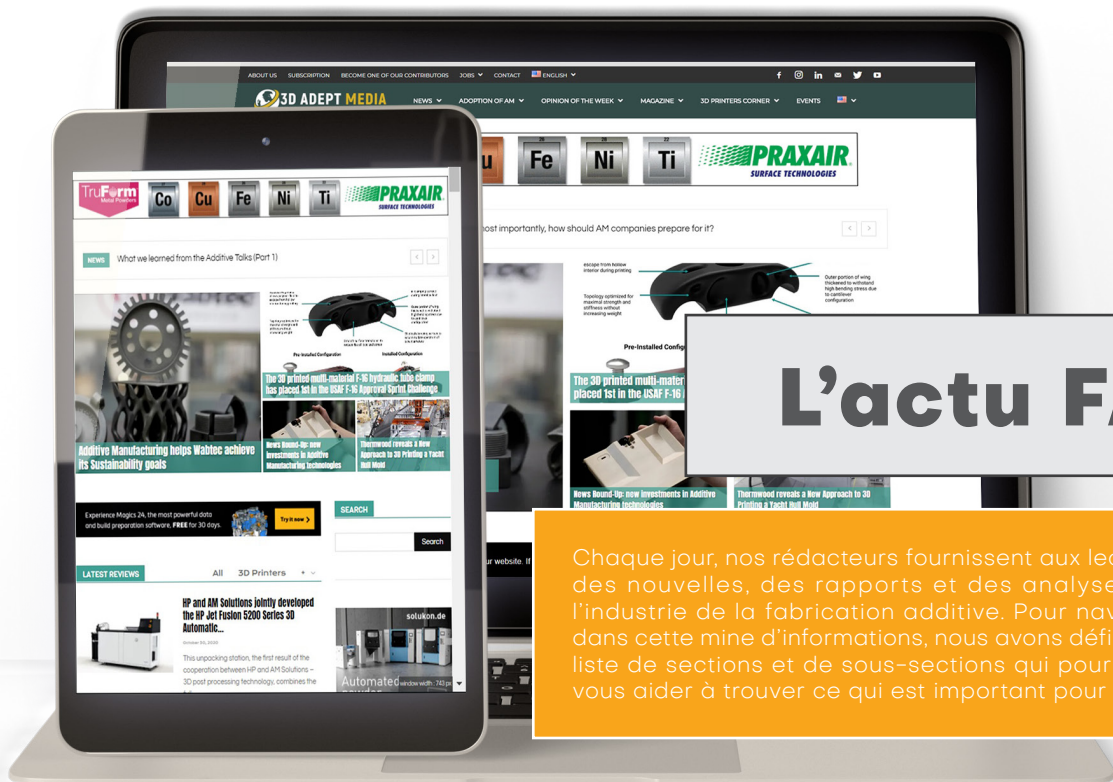
IMPRESSION **3D**

INTERVIEW : **HYPERGANIC**

DOSSIER : **LES COMPLEXITÉS CACHÉES DE LA FABRICATION ADDITIVE ARC-FIL**

N°3 - Vol 4 / Mai - Juin 2021

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



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

Envoyez un email à contact@3dadept.com



NEWS



RAPPORTS



PROMOTIONS



COLLABORATION



contact@3dadept.com

www.3dadept.com

+32 (0)4 86 74 58 87

Rue Borrens 51, 1050 Bruxelles - BELGIQUE



Edité par **3D ADEPT MEDIA**

Création graphique

Martial Y., Charles Ernest K.

Rédaction

Kety S., Yosra K.

Correction

Jeanne Geraldine N.N.

Publicité

Laura Depret

Laura.d@3dadept.com

Toute reproduction, même partielle, des articles et iconographies publiés dans 3D Adept Mag sans l'accord écrit de la société éditrice est interdite.

Image de couverture - credit:

[Hyperganic](#)

Questions & feedback:

3D ADEPT SPRL (3DA)

VAT: BE0681.599.796

Belgique -Rue Borrens 51 - 1050 Bruxelles

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

Email: contact@3dadept.com

Site web: www.3dadept.com



Table de contenus

Editorial 04

Dossier 07

LES COMPLEXITÉS CACHÉES DE LA FABRICATION ADDITIVE ARC-FIL

Logiciels 17

L'ANALYSE PAR ÉLÉMENTS FINIS... CE N'EST PAS SEULEMENT UN « TRUC D'INGÉNIEUR »

Interview du mois..... 23

HYPERGANIC: ALGORITHMES ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, LES PIÈCES MANQUANTES DU PUZZLE DE LA FABRICATION ADDITIVE

Matériaux 27

· PERTINENCE DES NOUVEAUX DÉVELOPPEMENTS DE LA FA POUR LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT DES POUDRES

· EVONIK LANCE UNE NOUVELLE LIGNE DE PRODUITS DE PHOTOPOLYMÈRES POUR L'IMPRESSION 3D

Post-traitement 37

ANALYSE DU PROCESSUS DE TEINTURE AUTOMATISÉ POUR LES PIÈCES IMPRIMÉES EN 3D

“Country Focus” 41

LES PAYS-BAS SONT-ILS LA PLAQUE TOURNANTE DE L'IMPRESSION 3D POUR LA CONSTRUCTION ?

Applications. 45

SPORT ET FABRICATION ADDITIVE : UNE QUESTION DE PERFORMANCE

Bonjour & bienvenue



Les beaux jours arrivent...

Les beaux jours arrivent. Pour la première fois, depuis un an et quelques mois, je prononce ces mots, non pas avec l'intention d'encourager, ni pour parler de météo – bien que c'est aussi le cas au sens propre du terme – mais bien pour parler de notre industrie qui reprend lentement mais sûrement une certaine normalité avec le retour des salons.

Je ne compte plus le nombre de personnes qui m'ont affirmé à quel point les salons professionnels, les journées de rencontre dans leurs locaux, ou les activités de « team building » leurs manquaient...Eh bien, ce fut aussi le cas pour notre équipe de 3D ADEPT Media qui n'a pas vu un grand nombre de sociétés, collaborateurs, nouveaux ou anciens de l'industrie depuis un bon bout de temps.

En plus de ceux qui reçoivent la version papier du magazine à domicile, le 5ème sommet militaire sur la fabrication additive qui se tient aux Etats-Unis, recevra et distribuera également ce numéro de Mai/Juin à tous ses participants.

Un numéro particulièrement intéressant pour les applications du secteur militaire puisque nous avons abordé de manière solide, le sujet de la fabrication additive Arc-fil dans notre dossier. Ce dossier révèle que même si cette technologie est peut-être l'un des plus anciens procédés qui existent – le premier brevet ayant été accordé dans les années 1920 –, elle reste le procédé le moins mis en avant, et il y a bien une raison à cela.

Par ailleurs, grâce aux progrès techniques, de nouveaux éléments facilitent et accélèrent de plus en plus les processus, permettant à ces technologies de devenir plus accessibles ou de gagner en popularité. C'est ce qu'on voit dans les rubriques sur le logiciel et l'interview du mois d'une part, et les matériaux et les applications dans le secteur du sport, d'autre part.

Et ce n'est pas tout, mais je vous laisse le plaisir de le découvrir par vous-même.

A très vite,



Kety SINDZE

Editrice-en chef chez 3D ADEPT Media

✉ ketys@3dadept.com

Editorial

The Leader in Additive Manufacturing



Scan QR code to
take a **Video Tour of the LSAM**



LSAM Project Manager, Scott Vaal, takes you on an informative tour of the Thermwood LSAM. A complete system that can both print to near net shape and then machine the print to its net shape. LSAM is by far the fastest way to 3D print large tools or parts.

THERMWOOD

www.thermwood.com 800-533-6901

MADE IN USA 

LES COMPLEXITÉS CACHÉES DE LA FABRICATION ADDITIVE ARC-FIL.



Outils
imprimés en 3D
pour Vallourec.
(Crédit : Lincoln
Electric)

Avec un premier brevet accordé dans les années 1920, la fabrication additive arc-fil (en anglais **WAAM = Wire-Arc Additive Manufacturing**), est certainement l'un des plus anciens procédés de fabrication additive (FA) qui existent, et pourtant cette technologie est la moins mise en avant dans la gamme des procédés de FA reconnus. La raison de cette lente adoption au niveau industriel réside peut-être dans le vide qu'il reste à combler dans la chaîne d'approvisionnement.

Stimulé par la demande d'amélioration de l'efficacité de la fabrication des structures d'ingénierie, la fabrication additive arc-fil, également connu sous le nom de dépôt d'énergie dirigée (DED-arc = **Directed Energy Deposition-arc**), peut être considérée comme l'intégration d'un principe « additif » dans le processus de soudage à l'arc. Selon les fabricants, étant donné que dans un processus de soudage, l'énergie thermique est utilisée pour faire fondre les bains métalliques fusionnés les uns aux autres, la transformation du processus en un procédé additif était tout à fait compréhensible. D'un point de vue technologique, le procédé additif permet d'obtenir un taux de dépôt élevé de la matière première métallique sous la forme d'un filament, comme dans le cas du procédé de soudage conventionnel. Cela pourrait expliquer pourquoi les premiers fabricants de systèmes WAAM ont une forte expertise dans l'industrie du soudage.

Selon **Wim Verlinde**, consultant et ingénieur en soudage à l'Institut belge de soudage ([Belgian Welding Institute - BWI](#)), d'autres raisons et questions peuvent expliquer cette influence du WAAM dans l'industrie du soudage :

« Il existe encore un nombre limité de procédés conventionnels pour la fabrication de grandes pièces. Le moulage est l'un de ces procédés, mais il nécessite encore un certain nombre de développements, tels que des moules, et il devient difficile de fabriquer de grandes pièces pour de petites séries, ce qui, au final, peut s'avérer extrêmement coûteux. Une autre raison est que le WAAM peut servir à beaucoup d'autres applications telles que les pièces de réparation comme réalisées par Guaranteed, les pièces de rechange à la demande, le prototypage, etc. »

Il y a deux ans, par exemple, l'équipe de BWI a lancé un projet de recherche (financé par VLAIO - Agentschap Innoveren en Ondernemen - Vlaanderen) lorsqu'elle s'est aperçue que de nombreux robots étaient

expédiés vers leurs installations et restaient inutilisés la nuit ou le week-end. Verlinde a expliqué que son équipe s'est demandé si elle pouvait transformer un robot de soudage traditionnel normal en un robot d'impression 3D.

Selon le consultant en soudage, l'impact perturbateur du WAAM sur l'industrie du soudage peut résider dans le fait que le processus requiert un matériau spécifique à différents endroits de la pièce imprimée en 3D pour fournir par exemple, la fatigue, la corrosion ou les contraintes élevées. Dans ces cas, la pièce est construite dans des zones spécifiques avec des matériaux spécifiques, ou le processus de fabrication peut nécessiter l'utilisation de deux fils qui sont mélangés in-situ et composés ensemble pour atteindre un objectif spécifique. (Selon l'expert, de tels scénarios de production sont assez complexes car ils peuvent conduire à

certains problèmes métallurgiques).

Même s'il est reconnu pour l'industrie manufacturière à grande échelle, le procédé WAAM s'accompagne d'un certain nombre de contraintes au niveau de la fabrication. Le présent dossier vise à :

- Aider les professionnels à comprendre le fonctionnement du processus WAAM ;
- Mettre en lumière les différents défis que les ingénieurs rencontrent souvent lors de la fabrication avec le WAAM et mettre en lumière les solutions potentielles qui pourraient être utilisées pour les surmonter. Cela inclut mettre en avant le vide qui reste à combler dans la chaîne d'approvisionnement comme nous avons mentionné ci-dessus ;
- Partager quelques exemples d'applications et quelques solutions dédiées au procédé WAAM disponibles sur le marché.



Guaranteed
Value the future, upgrade the past

Légende : Réparation d'une pièce effectuée par Guaranteed. Jusqu'à présent, déjà deux de ces composants ont été remis à neuf, ce qui a permis au client d'économiser 90 % du coût d'achat des pièces d'origine. 90 % sur le coût d'achat de la pièce d'origine. Crédit: Guaranteed.

WAAM : procédés et principales caractéristiques

En termes simples, dans un procédé WAAM, un arc électrique est utilisé comme principale source de chaleur pour obtenir des préformes de forme quasi nette sans avoir recours à des outils, des moules ou des matrices complexes. Tout comme il existe plusieurs types de procédés de FA métallique, on peut identifier plusieurs sous-catégories de procédés WAAM.

Selon **Mark Douglass**, Responsable du développement commercial chez Lincoln Electric Additive Solutions, ces sous-catégories sont basées sur les différents procédés de soudage à l'arc :

- « Le soudage à l'arc sous gaz (GMAW= Gas metal arc welding) ou, comme on l'appelle souvent en Europe, «MIG/MAG» ; c'est le procédé le plus souvent mentionné et celui qu'utilise Lincoln ;

- Le soudage à l'arc plasma (PAW = Plasma arc welding), est celui que l'université de Cranfield a popularisé ;

- Le soudage à l'arc en tungstène (GTAW = Gas tungsten arc welding) [également connu sous le nom de soudage au gaz inerte (TIG)] ».

Cependant, en ce qui concerne

l'équipement lui-même, les développements des systèmes WAAM varient d'un fabricant à l'autre (comme nous le verrons à la fin de ce dossier) mais la plupart des machines relèvent soit de la **robotique**, soit de la **machine-outil**.

« Certains fabricants partent d'une machine à commande numérique et transforment cette dernière en imprimante à souder, puis ils réalisent l'usinage et l'impression au sein d'une même plateforme. Le fabricant de machines GEFERTEC, par exemple,

développe ses machines de FA sur la base de ce principe », note Verlinde. En outre, comme il l'a expliqué précédemment, il est possible de combiner n'importe quel manipulateur à trois axes avec un bras de robot à six axes et une source d'énergie de soudage à l'arc pour développer un système WAAM de base. Ce dernier **peut être combiné à un robot de meulage** (dans une seule plateforme) **ou à une CNC traditionnelle** pour la finition de surface.



Légende : état de surface entre l'impression WAAM et l'usinage CNC. Crédit : l'Institut belge de soudure.

	robot WAAM		Procédé WAAM basé sur une machine CNC
	+ usinage CNC traditionnel	+ robot de meulage-polissage	+ usinage CNC traditionnel
Polyvalence (pour être utilisé pour d'autres tâches que le WAAM)	<input checked="" type="checkbox"/> WAAM <input checked="" type="checkbox"/> Usinage <input checked="" type="checkbox"/> Soudage traditionnel	<input checked="" type="checkbox"/> WAAM <input checked="" type="checkbox"/> Broyage <input checked="" type="checkbox"/> Soudage traditionnel	<input checked="" type="checkbox"/> WAAM <input checked="" type="checkbox"/> Usinage <input checked="" type="checkbox"/> Soudage traditionnel
Composants à grande échelle	(robot sur rail) <input checked="" type="checkbox"/>	(robot sur rail) <input checked="" type="checkbox"/>	Volume ¹ : 0,06m ³ -3m ³ <input checked="" type="checkbox"/>
Nombre d'axes	Robot: 6 axes Manipulateur: 3 axes Rail: 1 axe	Robot: 6 axes Manipulateur: 3 axes Rail: 1 axe	3 or 5 axes
Production en une seule étape	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Usinage intermédiaire pendant l'impression WAAM (en fonction de l'accessibilité)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Usinage de haute précision	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des différents systèmes d'impression WAAM

Quelle que soit la façon dont elles sont construites, ces machines doivent être soutenues par un solide logiciel de CFAO (CAD/CAM).

Du côté du logiciel

Le processus de fabrication avec WAAM commence par un logiciel de FAO qui aide à générer le parcours d'outil et les paramètres de soudage pour la table à portique ; on peut ensuite contrôler les points de départ et d'arrêt du soudage et déterminer la vitesse d'avance du filament métallique. Comme dans tout processus additif, le logiciel doit être capable de convertir le modèle CAO en un code imprimable en suivant le principe du tranchage. Une fois le processus lancé, la torche de soudage se déplace dans une direction donnée sur la plaque de construction et déclenche le dévidoir de fil pour déposer le matériau sur le trajet.

Les outils et systèmes logiciels jouent un rôle important dans la préparation du processus. Aujourd'hui, il est possible de **diviser les logiciels existants pour le procédé WAAM en deux catégories principales** : les **applications autonomes** et les **plug-ins** qui sont intégrés dans les logiciels de CAO/FAO existants.

Les plug-ins pour WAAM sont développés et intégrés dans un certain nombre de logiciels de CFAO. Le principal avantage est la possibilité de préparer à la fois le WAAM et les étapes d'usinage au sein d'une même plateforme logicielle. La fonctionnalité, comparée aux applications autonomes, est parfois limitée : principalement dans la variété des stratégies de trajectoire de dépôt, le contrôle et le réglage des paramètres de soudage, etc.

Plug-ins (=basé sur la FAO CNC)	Applications autonomes (= spécifiques au procédé WAAM)
<ul style="list-style-type: none"> · Sprutcam robot · PowerMill (Autodesk) · Robotmaster · Hypermill (Dassault Systèmes) · Siemens NX · Eureka 	<ul style="list-style-type: none"> · Metal XL (MX3D) · Factory OS (OQTON) · WAAMMat (Cranfield University)

Tableau 2 : Aperçu des solutions logicielles de FAO disponibles pour l'impression WAAM

L'Institut belge de soudure (IBB), VIVES et KULeuven sont des instituts de recherche indépendants. Tout fournisseur de logiciel de FAO WAAM peut être ajouté à ce tableau.

Lors du choix, les caractéristiques suivantes du logiciel doivent être évaluées en fonction de l'application, de la complexité, de la forme, etc :

	Basé sur la CNC	Spécifique au procédé WAAM
Parcours d'outil	Basé sur la CNC, mais des améliorations sont en cours	Dédié au WAAM
Besoin de trancher en fonction de la forme et de la complexité	<ul style="list-style-type: none"> · Planaire · non planaire (cylindrique – spirale) · Varier les distances/la hauteur entre les parcours d'outils · axe médian (contour vers l'intérieur ou vers l'extérieur) 	
Mur incliné	<ul style="list-style-type: none"> · Nombre d'axes externes pouvant être commandés 1 ou 2 · Réglage du logiciel (expériences) 	
Auto-ajustement (hauteur et largeur de la couche de compensation)	Plus complexe	<ul style="list-style-type: none"> · Numérisation (intermédiaire) peut être intégrée · Possibilité : intelligence artificielle · Mode de calibrage par expériences et ajustement des paramètres
Logiciel	Logiciel de bureau	Logiciel de bureau ou basé sur le cloud
Mur à simple largeur	Oui	
Mur multi-largeur	Oui	
Padding (épaisseur supplémentaire pour compenser l'usinage)	À faire dans un logiciel de CAO	<ul style="list-style-type: none"> · À faire dans le logiciel de CAO · Dans certains logiciels : on peut ajouter facilement xx mm.
Interface utilisateur graphique	L'interface est basée sur la CNC, donc pas de vocabulaire WAAM : (trop) de paramètres	Clair et plus simple parce que spécifique au procédé WAAM
Capture des données	Possible, mais non intégré (autonome)	Oui (température interpasse, courant, tension) et lié à l'emplacement dans la pièce
Paramètres de soudage	<ul style="list-style-type: none"> · Fractionnement de la pièce et fichier séparé avec un jeu de paramètres de soudage (pièces non complexes). · Pas de division de la pièce mais une numérisation «intermédiaire», une comparaison avec le modèle 3D et l'ajout d'une couche supplémentaire (intelligence artificielle). · Paramétrage par mode de calibrage 	
Suivi pendant l'impression	Difficile (seulement webcam par exemple)	Visualisation et erreurs
Post-traitement	La plupart des marques de robots sont possibles, mais l'unité de soudage doit également être réalisée.	Un choix plus limité à des marques spécifiques
Importation du modèle 3D – format de fichier	La plupart des formats 3D	La plupart des formats 3D ou parfois limités à un seul (f. ex STL)

Tableau 3 : Logiciel plug-in (= basé sur la FAO) par rapport au logiciel autonome (= spécifique à WAAM)

Pour **Verlinde**, « l'ingénieur concepteur a ici une tâche importante. Contrairement à d'autres industries, comme les constructions métalliques ou les appareils à pression, où tout est régi par des normes (harmonisées) pour l'ingénieur concepteur, ici, ce dernier doit décider des caractéristiques des matériaux, des défauts potentiels, du type de finition nécessaire – puisque la finition dépend de l'application. Malheureusement, il est toujours limité dans son travail par les normes. Pour certaines applications par exemple, qui sont soumises à des réglementations strictes, il n'a pas la liberté de décider comment il va construire la pièce. »

L'ingénieur concepteur peut avoir besoin d'une équipe multidisciplinaire compétente pour prendre des décisions sur tous les sujets en fonction de la complexité et des risques de la pièce.

En d'autres termes, concevoir pour un procédé WAAM signifie identifier toutes les géométries de pièces qui conviennent le mieux aux applications finales dans le monde réel. Dans l'industrie aéronautique, par exemple, de nouveaux raidisseurs légers sont utilisés pour répondre à des contraintes mécaniques spécifiques.

Dans le même ordre d'idées, étant donné que le procédé WAAM offre des taux de dépôt élevés, l'ingénieur concepteur doit tenir compte du fait que l'important apport de chaleur de ces procédés peut également entraîner des contraintes résiduelles et des distorsions importantes.

Dans de tels cas, le « 'préchauffage' peut être utilisé pour contrôler la distorsion. Il est possible de modéliser la distorsion et de la compenser dans le parcours de l'outil en fonction de la prédiction, mais je ne pense pas que des outils efficaces aient encore été développés. Sinon, l'expérience peut être d'un grand secours pour gérer la distorsion », observe **Douglass**.

Le fait est que ces problèmes peuvent avoir un impact considérable sur la précision de la forme finale des pièces et sur leurs performances mécaniques. Il est donc important de prendre en compte le comportement thermo-mécanique du procédé WAAM lors de la phase de conception.

Du côté des matériaux

Pour chaque type de source d'énergie disponible, le matériau utilisé peut déterminer le processus de dépôt à l'arc. Par exemple, les alliages de titane sont largement traités avec le soudage à l'arc en tungstène gazeux ou l'arc transféré par plasma, tandis que la plupart des matériaux sont déposés avec un équipement MIG/MAG.

D'une manière générale, tous les matériaux disponibles en tant que fil de soudure peuvent être utilisés pour la production de pièces via le WAAM, même si, selon Douglass, « certaines précautions telles que le préchauffage peuvent encore être nécessaires. »

S'il est d'accord avec cette généralisation, Verlinde nuance néanmoins sa réponse :

« La plupart des matériaux sont adaptés à l'impression parce que nous les soudons, mais tout dépend de ce que vous attendez au final des caractéristiques du matériau et ce sans prendre en compte les imperfections de la soudure qui peuvent en découler. Certains matériaux comme l'aluminium et le titane sont plus difficiles et sont utilisés dans des applications critiques haut de gamme, mais ils permettent de réduire les délais de production. Le problème de la plupart des entreprises sur le marché est qu'elles pensent que le WAAM est déjà au même niveau que la fusion sur lit de poudre, mais ce n'est pas encore le cas. Cependant, il est clair qu'à de nombreux niveaux (logiciel, usinage, recherche...), de grands progrès ont été réalisés depuis



le début du projet. »

D'autre part, le soudage à l'arc sous gaz tungstène peut traiter une large gamme de matériaux, notamment les aciers au carbone et faiblement alliés, l'acier inoxydable, les alliages à base de nickel, les alliages de titane et les alliages d'aluminium.

Douglass a également attiré notre attention sur le fait que les comparaisons entre les pièces imprimées en 3D produites via WAAM et les pièces produites avec des matériaux coulés ou corroyés ne sont pas évidentes à faire « car les alliages développés pour le fil de soudure ne sont souvent pas les mêmes que ceux des pièces coulées et corroyées. »



Mark Douglass, PhD, CFA – Business Development Manager, Additive Solutions

« Par conséquent, il faut faire correspondre les propriétés souhaitées du matériau déposé avec les fils disponibles. En d'autres termes, même si la chimie du fil peut ne pas correspondre à celle d'une pièce corroyée ou moulée donnée, il est souvent possible d'atteindre, voire de dépasser, les propriétés mécaniques souhaitées.

D'autre part, le métal déposé par le procédé WAAM peut être de très haute qualité – aussi bonne que celle du corroyage et souvent meilleure que celle des pièces moulées. Par exemple, dans de nombreux cas, le WAAM présente une porosité nettement inférieure à celle des pièces moulées. Le soudage est utilisé pour assembler de manière fiable des composants très critiques et même pour réparer des pièces moulées critiques depuis de nombreuses décennies, ce qui donne aux utilisateurs finaux la certitude qu'il est possible d'obtenir une qualité interne très élevée », ajoute-t-il.

Néanmoins, une chose sur laquelle la plupart des fabricants s'accordent,



Légende : Moule de stratification pour la fabrication de pièces composites aérospatiales ; matériau : Invar ; environ 200 kg et plus de 3 m de long – Crédit : Lincoln Electric

c'est le fait que le WAAM est reconnu comme un procédé qui permet de consommer de la matière. Il va sans dire que le pourcentage de réduction peut varier d'une application à l'autre, mais qu'il peut atteindre **jusqu'à 70 % dans certaines applications**, par rapport aux

procédés de fabrication classiques.

Douglass rappelle ici que pour une application réalisée pour un client d'équipement minier, ils ont obtenu des économies de poids et de matière de plus de 20% pour un composant d'environ un mètre de long et de près de 200 kg.

Et le post-traitement...

Comme dans toute méthode de FA, la plupart des applications nécessiteront une gamme spécifique de tâches de post-traitement pour atteindre les objectifs de fabrication souhaités. Dans ce procédé de dépôt d'énergie par arc, l'expert de Lincoln Electric Additive Solutions souligne que ce processus de fabrication peut nécessiter l'utilisation des mêmes tâches de post-traitement que celles utilisées pour tout composant moulé ou fabriqué : « traitement thermique (pour la réduction des contraintes et/ou l'amélioration des propriétés mécaniques), usinage, fabrication supplémentaire ou assemblage à d'autres composants ». Néanmoins, « les composants WAAM sont entièrement denses, et il n'est donc **pas nécessaire de recourir au pressage isostatique à chaud** (HIP) », précise-t-il.

Avantages, points à améliorer et perspectives d'avenir

Ce dossier ne peut présenter qu'un aperçu général du procédé WAAM. Sur la base de nos échanges avec les deux experts qui ont été invités à partager leur vision du sujet, nous pouvons résumer les avantages suivants et les défis qui doivent encore être relevés par les fabricants :

Avantages	Points d'amélioration
Idéal pour la fabrication de (très) grandes pièces	Longs délais d'exécution pour les moulages et les forgeages de nouvelles pièces, d'outillage ou de prototypes.
Taux de déposition élevé et haute résistance mécanique des pièces	Contraintes résiduelles et distorsions – (L'expérience de la fabrication permet de mieux maîtriser ces problèmes).
Des pièces plus légères et moins de déchets.	Blindage pour certains matériaux
Essais de prototypes plus rapides.	La plupart des responsabilités incombent à l'ingénieur concepteur, ce qui est certainement dû au manque de normalisation dans le domaine.
Réduction des délais de livraison de plusieurs mois à quelques semaines.	Les tests de produits et les réglementations industrielles qui peuvent entraîner des retards et/ou des délais supplémentaires pour la reconception ou la refabrication.
Les processus ont tendance à être plus automatisés	Usinage – finition de surface (CNC ou meulage)

Depuis son premier brevet accordé dans les années 1920, il faut reconnaître que le procédé WAAM a bien évolué. En 1983, le soudage de forme était utilisé pour fabriquer de grandes pièces d'acier nucléaire. Une décennie plus tard, Prinz et Weiss ont breveté la « fabrication par dépôt de forme » avec le fraisage CNC. À la fin du XXe siècle, l'université de Cranfield s'est vu accorder un brevet pour le procédé de dépôt de métal façonné pour le développement de carters de moteur utilisant

différents matériaux.

Nous pouvons envisager une adoption rapide du WAAM grâce aux ressources appropriées apportées par les principaux acteurs de la chaîne d'approvisionnement ; ces ressources comprennent les **outils logiciels appropriés**, les **machines plus précises**, les **matières premières**, la **formation et les services**, mais aussi l'**usinage et, surtout, la normalisation**.

Nous pouvons envisager une adoption rapide du WAAM grâce aux ressources appropriées apportées par les principaux acteurs de la chaîne d'approvisionnement ; ces ressources comprennent les outils logiciels appropriés, les machines plus précises, les matières premières, la formation et les services, mais aussi l'usinage et, surtout, la normalisation.

Aujourd'hui, les experts du domaine continuent de repousser les limites de ce processus de FA des métaux. Des livres blancs et des livres ont été rédigés par des entreprises et mis à la disposition des professionnels qui souhaitent explorer davantage ce processus. Plusieurs recherches continuent d'être entreprises pour étudier ses avantages, l'alliage in situ par exemple, ainsi que les méthodes qui utilisent le fil pour créer de nouveaux composites.

Nous sommes convaincus que la meilleure façon d'évaluer objectivement les capacités du WAAM en tant que procédé viable de FA des métaux est de le faire en évitant la comparaison avec d'autres procédés de FA métallique. Le WAAM est le WAAM et ne sera jamais la fusion sur lit de poudre, ni le jet de liant ou quoi que ce soit d'autre. En fin de compte, chacune de ces technologies de FA des métaux a ses avantages et ses inconvénients, et le WAAM mérite d'être pris en considération car plus le marché évolue, plus les fabricants développent de nouveaux équipements et services conçus pour le WAAM, ce qui entraîne encore plus d'applications réussites dans ce domaine.

Exemples d'applications et quelques solutions dédiées au WAAM

Pour une technologie dont on dit qu'elle recèle un énorme potentiel pour les applications de FA à grande échelle dans de multiples industries, nous avons tenu à découvrir la taille d'une pièce. À cette question, **Douglass** répond : « En théorie, il n'y a pas de limite, même si, de manière réaliste, il y a éventuellement une limite pratique avec les systèmes robotisés ou à portique. »

Les applications de WAAM peuvent être explorées dans l'**aérospatial**, l'**automobile**, le **pétrole et le gaz**, l'**énergie** et d'autres industries lourdes.

Sur le marché actuel, la liste des entreprises et des organisations qui ont développé des solutions dédiées au WAAM est relativement exhaustive. Il s'agit par exemple de : **Lincoln Electric Additive Solutions**, **Gefertec**, **MX3D**, **Ramlab**, **Guaranteed**, **OQTON**, **AML3D**, **WAAM3D**, **Addilan**, **KRAKEN**, **voestalpine Böhler Welding**.

Automation et Vallourec.

Outre ces organisations, il existe également des instituts de recherche qui explorent en permanence le procédé de fabrication WAAM et développent de nouvelles techniques pour l'améliorer. Parmi les instituts de recherche présents sur le marché, nous avons invité l'**Institut belge de soudage** qui soutient les entreprises désireuses de s'engager dans la voie de la fabrication additive de métaux par WAAM, depuis les essais mécaniques et de corrosion jusqu'aux premières études de faisabilité, en passant par les pistes industrielles permettant d'intégrer la technologie dans votre environnement de production. **Wim Verlinde**, expert sur ce sujet, nous a dit que l'Institut et ses partenaires de projet KU Leuven et VIVES ont déjà travaillé avec des logiciels WAAM comme MX3D, Sprutcam, OQTON, PowerMill (Autodesk) ou des fournisseurs de services comme MX3D, Guaranteed, OQTON, ... sur des projets dédiés au WAAM. Ils sont actuellement impliqués dans des projets de standardisation qui pourraient permettre une meilleure adoption de la technologie à travers les industries et aider les concepteurs à prendre des décisions plus facilement en ce qui concerne la caractérisation des matériaux.

Lincoln Electric Additive Solutions

[Lincoln Electric Additive Solutions](#) est la division de fabrication additive de Lincoln Electric, une multinationale américaine experte dans la conception, le développement et la fabrication de produits de soudage à l'arc et de systèmes automatisés d'assemblage, de montage et de découpe. Grâce à l'héritage de 126

ans de sa société mère et à son activité d'automatisation de 500 millions de dollars, Lincoln Electric Additive Solutions a développé un robot de soudage à l'arc métallique gazeux.

Mark Douglass, Responsable du développement commercial chez Lincoln Electric Additive Solutions, qui a été invité en tant que contributeur clé à ce dossier, explique le fonctionnement de leur technologie :

« Un courant électrique crée un arc entre un fil-électrode et le substrat, ce qui fait fondre le fil et dépose des cordons de soudure qui forment les couches. Le courant électrique est généré et contrôlé avec précision par notre source d'énergie **Power Wave®**, grâce à laquelle nous pouvons programmer des formes d'ondes de courant avancées pour obtenir des caractéristiques d'arc optimales pour un alliage donné ».

Conscient de l'importance cruciale du logiciel dans un processus WAAM, Lincoln Electric Additive Solutions a développé un logiciel. Nommé **SculptPrint™ OS**, il découpe les fichiers CAO, planifie le parcours de l'outil pour le robot et programme le robot.

La société a intégré un mouvement coordonné avancé entre un robot industriel à 6 axes et un positionneur multi-axes afin de produire des géométries plus complexes tout en minimisant, voire en éliminant, les structures de support. Selon Douglass, ses contrôles adaptatifs exclusifs de la hauteur et de la largeur des couches garantissent le maintien d'une hauteur de couche appropriée par rapport au modèle prévu.



Systèmes WAAM de production de Lincoln Electric – (Crédit : Lincoln Electric)

Un avantage distinctif intéressant peut être le fait que Lincoln contrôle l'ensemble de la chaîne de valeur du processus, puisqu'elle « fabrique ses propres sources d'énergie, ses fils d'alimentation, ses positionneurs, ses systèmes robotiques intégrés, ses logiciels et ses commandes ».

Il convient de noter que, même si la société développe ses propres systèmes, elle ne les vend pas pour une production commerciale et agit plutôt comme un fournisseur de services de fabrication.

En ce qui concerne les applications, l'équipe d'ingénieurs a déjà produit des pièces individuelles de **plus de 2 mètres et de 635 kg (1 400 lb)**.

Focus sur les applications avec Guaranteed

Guaranteed est une entreprise spin-off de Finindus, ArcelorMittal Belgium et OCAS. Nous avons découvert l'expertise de l'entreprise lorsqu'elle a participé à un dossier explorant la FA dans les industries pétrolière, gazière et maritime (*édition de juillet-août 2020 de 3D ADEPT Mag*). Verlinde a mentionné le prestataire de services belge comme une entreprise qui fabrique des pièces de réparation à l'aide du procédé WAAM.

Nous avons également appris que pour chaque application, le logiciel de l'entreprise programme automatiquement le robot et les systèmes de soudage, tandis qu'un

second logiciel peut simuler le processus de soudage et fournir des certitudes au niveau micro. Cela signifie que des informations supplémentaires peuvent être fournies sur les propriétés dynamiques et la qualité des pièces réparées.

L'entreprise explique sur son [site web](#) qu'elle peut traiter des pièces allant jusqu'à dix mètres sur six sur cinq, avec un poids maximal de 20 tonnes. Elle dispose actuellement d'une base de données d'environ 24 matériaux, qui peut être augmentée sur demande. Selon **Joachim Antonissen**, Directeur général, ils se concentrent principalement sur

le marché de la réparation qui peut générer des millions d'économies.

L'une des pièces de réparation qu'Antonissen a partagé dans le cadre de ce dossier est une **douille de mandrin**. Il explique qu'au cours du processus de fabrication, le « matériau d'origine a été amélioré pour obtenir une plus grande résistance après réparation et ainsi prolonger la durée de vie du composant. La réparation de la pièce a coûté moins d'un tiers du coût de la pièce neuve, tandis que la consommation d'énergie et les émissions de carbone ont été réduites de plus de 90 % ».



Légende : Réparation de la douille du mandrin. Crédit : Guaranteed.

WAAM3D Ltd, une entreprise dérivée de l'Université de Cranfield.

Si vous commencez à chercher des informations sur le WAAM, vous ne pouvez manquer de remarquer que l'Université de Cranfield a été au cœur des principaux développements du WAAM. Suite au brevet que l'Université a obtenu au 20^e siècle, les chercheurs continuent d'explorer les possibilités de la technologie via un vaste programme de collaboration appelé WAAMMat. L'année dernière, [WAAM3D Ltd](#), une entreprise dérivée de l'[Université de Cranfield](#), a officiellement annoncé ses premiers pas sur le marché grâce à un [investissement d'Accuron Technologies Ltd](#).

« Les principes de base de WAAM consistent à faire fondre un fil avec un arc électrique. Ce que nous faisons différemment, c'est d'abord de disposer d'un plus grand choix de procédés d'arc électrique en fonction des exigences de nos partenaires (matériau, géométrie, taille, etc.). Deuxièmement, nous disposons d'une méthode brevetée permettant de combiner les arcs électriques et les lasers afin d'obtenir des taux de dépôt plus élevés et un meilleur contrôle de la géométrie finale. Troisièmement, nous disposons d'une autre méthode brevetée pour introduire le travail à froid dans les pièces et améliorer considérablement les propriétés mécaniques qui en résultent afin de répondre aux exigences plus strictes appliquées aux pièces critiques », a déclaré **Filomeno Martina**, CEO et cofondateur de WAAM3D Ltd à 3D ADEPT Media.

Contrairement à d'autres acteurs qui apportent une expertise clé en matière de soudage sur ce marché, WAAM3D Ltd a déclaré que sa technologie a été développée en pensant directement au procédé de WAAM – et non au soudage. Leurs systèmes intègrent

un ensemble de capteurs qui facilitent l'assurance et le contrôle de la qualité, par exemple la mesure en direct de la forme en cours de processus.

Comme d'autres entreprises spécialisées dans ce domaine, la start-up a également développé une suite logicielle dédiée, qui comprend **WAAMPlanner** et **WAAMCtrl**.

Le WAAMPlanner est un progiciel de FAO dans lequel l'ingénieur peut dessiner la trajectoire du processus d'impression avec des paramètres de processus intégrés basés sur la CAO de la pièce. WAAMCtrl est décrit comme le « cerveau du processus ». Il permet au superviseur de la machine de surveiller le processus depuis n'importe où, tandis que les données de construction de la pièce sont stockées en toute sécurité.

« Nous fabriquons également des fils conçus pour WAAM, avec une qualité incroyable dans le dépôt qui en résulte. L'expérience de l'utilisateur est donc conforme à ce que l'on peut attendre d'une technologie aussi futuriste et étonnante, qui va sans aucun doute changer la fabrication », déclare Martina.

Bien que la start-up ne puisse pas partager certaines images de ses applications pour des raisons de confidentialité, Filomeno Martina a déclaré que l'une de ses applications préférées est le **réservoir de carburant en titane** pour les satellites que l'équipe a réalisé en partenariat avec Airbus Defence and Space, ainsi que le travail effectué à Cranfield en partenariat avec BAE Systems sur l'énorme **châssis en titane de l'Eurofighter Typhoon**.

MX3D, du pont en acier imprimé en 3D à un portefeuille dédié à WAAM

Toute l'industrie a découvert **MX3D** lorsque l'équipe a dévoilé le [pont en acier imprimé en 3D](#) qu'elle a construit au-dessus du canal d'Amsterdam à l'aide de la fabrication additive par fil robotisé. Leur parcours dans l'industrie a commencé en 2014 au sein de **Joris Laarman Studio**, une agence de design néerlandaise travaillant avec de nouvelles technologies telles que l'impression 3D.

Au fil du temps, l'entreprise n'a cessé d'explorer de nouvelles applications en collaborant avec d'autres entités et d'améliorer ses solutions. Une [récente levée de fonds](#) que l'équipe a obtenu, révèle que la société a développé le **M1, système de FA métal et MetalXL**, un logiciel dédié au WAAM.

Le fabricant néerlandais nous a expliqué que son processus est très similaire au soudage robotisé. Toutefois, plutôt que de placer quelques soudures, les composants

sont imprimés en empilant continuellement les soudures les unes sur les autres. La solution comprend donc trois éléments de base : un robot industriel, une machine à souder et un logiciel (MetalXL) qui relie le tout et le transforme en une imprimante 3D pour métaux.

« Ces robots peuvent imprimer dans presque tous les métaux disponibles sous forme de fil à souder et les objets imprimés vont de la taille d'un ballon de football à celle d'une voiture. Outre le logiciel MetalXL qui permet de programmer le robot et la machine à souder pour imprimer le dessin CAO en un objet métallique, nous avons également développé

et connecté un système de contrôle MetalXL pour surveiller, contrôler et enregistrer l'ensemble du processus d'impression en temps réel et en haute résolution », note MX3D.



Système de FA métal M1 de MX3D – Crédit : MX3D.

L'équipe de MX3D est l'exemple même d'une entreprise qui apprend sur le terrain. En fait, leur première application – le **MX3D Bridge** – a révélé des points sensibles tels que la nécessité de combiner divers dispositifs matériels avec plusieurs progiciels, et beaucoup de codage manuel pour obtenir des résultats d'impression optimaux. Le projet suscite également l'intérêt d'autres industries pour le procédé WAAM, ce qui a finalement inspiré le développement de **MetalXL**. Cette solution peut « transformer en une journée un robot et une machine à souder existants en une imprimante 3D pour métaux de qualité industrielle », affirme la société. Une fois que les utilisateurs ont téléchargé leurs conceptions, ils peuvent choisir leur matériau idéal pour la production (à partir d'une bibliothèque de matériaux ou d'un alliage personnalisé), sélectionner diverses stratégies d'impression et définir les paramètres de processus pertinents.

Outre le pont MX3D, nous avons également fait état, au moyen de notre média en ligne, d'autres applications réalisées par l'entreprise. Il s'agit par exemple d'un [bras de robot optimisé](#), d'un [connecteur en acier structural à haute résistance](#) réalisé en collaboration avec la société japonaise d'architecture, d'ingénierie et de construction Takenaka, et de [deux bicyclettes imprimées](#).

Le dernier en date est un **propulseur en acier inoxydable monté sur un système robotique à 8 axes**. D'un poids total de 70 kg, l'hélice a nécessité 24 heures d'impression. Elle confirme l'une des principales raisons pour lesquelles les fabricants peuvent être intéressés par la technologie robotique WAAM : la réduction des délais de fabrication, en particulier pour les productions personnalisées de petites séries.

« La meilleure façon d'appliquer et d'utiliser efficacement la fabrication additive est de commencer à imprimer. Nous avons appris en faisant, en essayant de nouvelles façons d'obtenir une meilleure qualité et en imprimant des applications très différentes pour une variété d'industries. Avec notre technologie MetalXL, nous permettons désormais à d'autres de se lancer également dans l'impression 3D métal en interne », conclut l'entreprise.



Légende : hélice – Crédit : MX3D

AML3D et son Arcemy®

Fondée par **Andrew Sales** en 2014, **AML3D Limited** est un fabricant australien qui a développé une technologie de fabrication additive arc-fil ou WAM® nommée **Arcemy®**.

Après avoir fait l'expérience du processus de soudage à l'arc traditionnel, le fondateur a fait des recherches, développé des outils et des processus pour améliorer le processus de fabrication additive par fil. Ses recherches ont conduit au développement du module d'impression

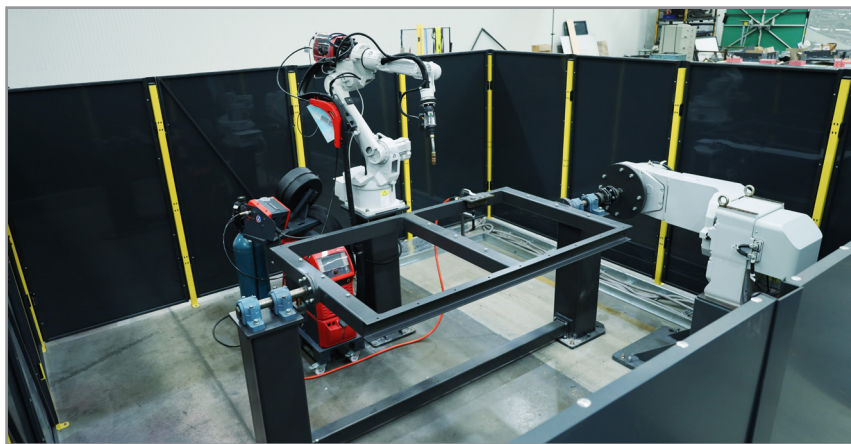
ARCEMY® qui est commercialisé aujourd'hui.

« Née des procédés de soudage traditionnels, la technologie WAM® émergente d'AML3D est adaptable, ce qui permet une gamme étendue de capacités de fabrication au moyen du soudage point à point (c'est-à-dire le soudage de tuyaux) jusqu'à la stratification additive du métal (impression 3D du métal) pour fabriquer des pièces quasi nettes dans un environnement de forme libre », déclare la société.

La technologie de dépôt par énergie directe (DED) de la société utilise une variante de la fabrication additive par fil et arc (WAAM). Sa technologie ARCEMY® combine les capacités de la science du soudage, de la technologie robotique, de la métallurgie et des logiciels propriétaires de l'entreprise, WAMSoft® et AMLSoft®. Fait intéressant, le fabricant peut surveiller et/ou gérer à distance le module d'impression ARCEMY® depuis la salle de contrôle centrale située à Adélaïde (Australie).

Parmi les principales caractéristiques qui peuvent aider le système ARCEMY® à se distinguer des autres systèmes de la même gamme, on note que le processus de fabrication certifié WAM® utilise des fils certifiés, qui proviennent de sources locales, ce qui permet de conserver la production sur place.

L'expert australien assure que, grâce au processus de fabrication qui a été soutenu par des tests NATA, les pièces imprimées en acier WAM® sont plus solides que



Robot « brandé » AML3D – Crédit : AML3D.

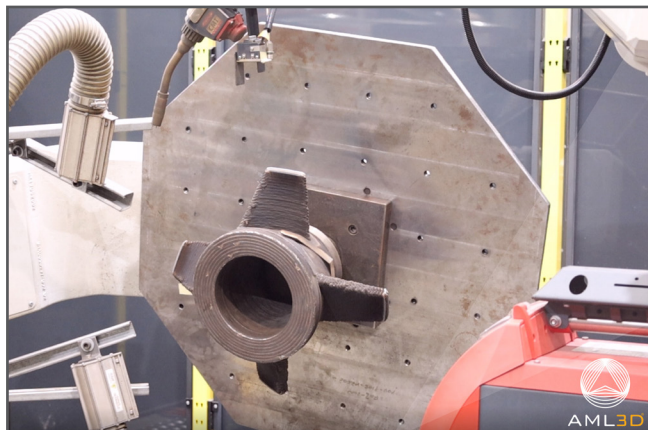
les pièces forgées. Du point de vue des matériaux, « jusqu'à 80 % de déchets de matériaux peuvent être économisés par rapport à la fabrication soustractive traditionnelle et il n'y a pas non plus de gaspillage de consommables, car 100 % du fil consommable est déposé pour la pièce/forme quasi nette produite », a déclaré la société à 3D ADEPT

Media.

Même si aucune application tangible n'a été partagée pour ce dossier, AML3D souligne que les pièces imprimées par WAM® peuvent être imprimées à la demande – en quelques semaines – et que les applications maritimes peuvent recevoir une vérification officielle de DNV.



Tube coudé AML3D – Crédit : AML3D.



Légende : hélice – Crédit : AML3D.

GEFERTEC : plus qu'une simple alternative à la FA métal

GEFERTEC est l'un des fabricants de machines que Verlinde a mentionnés précédemment en parlant des systèmes WAAM basés sur des machines-outils. Fondée en 2015, l'entreprise allemande a choisi l'édition 2017 de l'EMO de Hanovre pour sa [première apparition publique](#). À l'époque, le marché de la FA métallique était encore dominé par les technologies à base de poudre. Pour GEFERTEC, arriver sur le marché de la FA métallique n'était pas seulement un moyen de fournir une autre option métallique aux fabricants qui adoptaient les technologies de FA, c'était aussi donner aux fabricants habitués aux processus de fabrication conventionnels, **la possibilité de choisir entre une fraiseuse et une machine d'impression 3D métal**.

À l'instar des fabricants de machines ici présents, GEFERTEC propose un processus WAAM entièrement intégré qui comprend des logiciels et des machines. L'entreprise explique que son processus basé sur l'arc et le fil fonctionne avec son logiciel de FAO dédié. La stratégie de construction du composant est déterminée et le code G de la machine à arc est créé.

« Ensuite, la pièce de forme quasi définitive est imprimée

de manière entièrement automatique et contrôlée. À travers l'arc, le fil est fondu et déposé couche par couche. Le processus de finition de la pièce imprimée en forme de filet est ensuite réalisé sur une fraiseuse ou une perceuse séparée », explique la société.

Du point de vue des matériaux, on constate que l'on peut produire jusqu'à 600 cm³ par heure en fonction du matériau utilisé, qu'il s'agisse d'acier, de matériaux à base de nickel, de titane ou d'aluminium. L'entreprise assure également que l'utilisation des matériaux est hautement optimisée par rapport aux procédés de fabrication par enlèvement de copeaux, ce qui permet à l'opérateur d'économiser jusqu'à 60 % des coûts de matériaux, en particulier pour les matériaux coûteux comme le titane.

Bien qu'aucune information ne soit partagée sur la taille des pièces imprimées en 3D avec une machine GEFERTEC, une application intéressante que la société a partagée pour ce dossier est un projet mené pour **Deutsche Bahn AG**. Le projet nécessitait l'utilisation de leur procédé 3DMP® pour la fabrication de pièces de rechange liées à la mobilité qui ne sont plus disponibles en stock et dont les délais de livraison sont parfois

extrêmement longs.

« Un composant typique est l'arrêt de roulement secondaire requis dans les bogies des trains ICE. Ce composant limite le jeu transversal de la caisse du wagon et assure ainsi la sécurité des virages des trains dans les courbes serrées », souligne le fabricant.



Image : pièce pour train (roll stop) – Crédit : GEFERTEC.

Fort de ses années d'expertise et de ses nombreuses années à venir, GEFERTEC est fière d'être une solution de fabrication WAAM de bout en bout qui développe et qualifie l'application individuelle de chaque client pour l'aider à mettre en œuvre avec succès le procédé WAAM dans sa production.

Références:

- Interview avec Wim Verlinde, IWE, IWI-C, [WAAM @ Belgian Welding Institute](#)
- Interview avec Mark Douglass, Lincoln Electric Additive Solutions
- Recherche "[Design study for wire and arc additive manufacture](#)"
- "[Additive Manufacturing: Foundation Knowledge For The Beginners](#)" – World Scientific
- Exemples de solutions & applications dédiées au procédé WAAM. Contributions partagées par WAAM3D Ltd, Guaranteed, MX3D, AML3D & GEFERTEC.



Be ready for the next AM Solutions Catalogue 2022 !

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 systems** 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** hardware solutions found on the market.

More importantly, an important focus is to enable potential users to leverage the latest developments in Additive Manufacturing. Therefore, companies can only feature their latest developments, new and upgraded solutions in the catalogue.

Dossier N°1	Metal additive manufacturing
Dossier N°2	Post-processing for 3D printed parts
Dossier N°3	Carbon fiber 3D printing
Dossier N°4	Ceramic 3D Printing
Dossier N°5	Dental 3D printing
Dossier N°6	Composites 3D Printing
Dossier N°7	Hybrid manufacturing
Dossier N°8	Large format 3D printing

More info at contact@3dadept.com

L'ANALYSE PAR ÉLÉMENTS FINIS... CE N'EST PAS SEULEMENT UN « TRUC D'INGÉNIEUR »

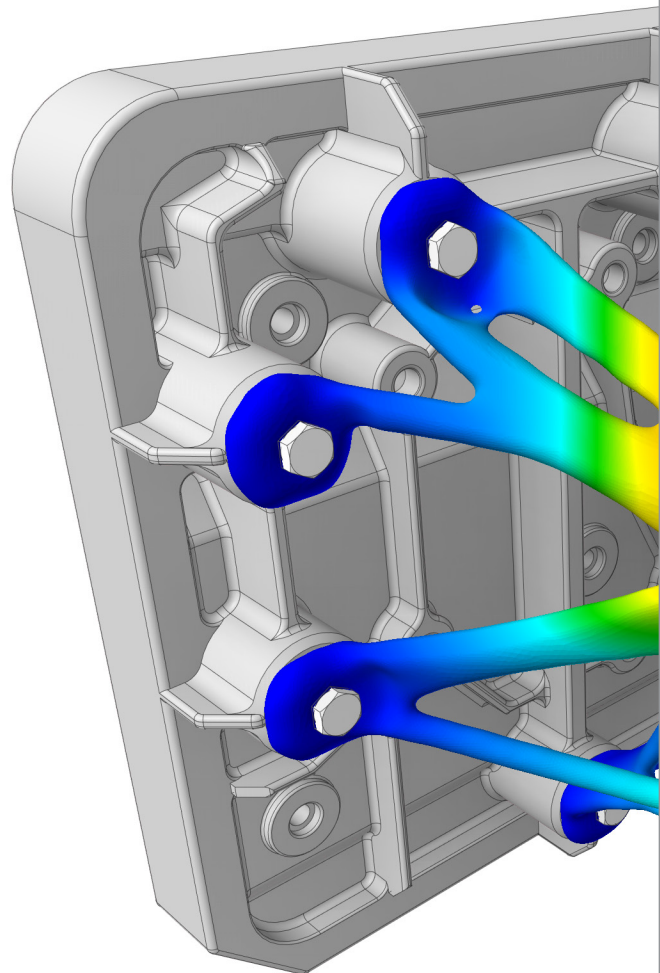


Image : Boîtier de support automobile montrant l'optimisation et la validation de la topologie à l'aide d'Ansys Discovery – Crédit : ANSYS

Trouver un design qui fonctionne d'abord, prédire ce qui se passe à l'intérieur de l'imprimante 3D ensuite.

La dernière fois que j'ai participé à un salon – avant que la pandémie ne frappe – je m'étais arrêtée à un stand, car une belle pièce métallique imprimée en 3D avait attiré mon attention. Je la regardais sans avoir la moindre idée de ce qu'il avait fallu pour la fabriquer lorsque j'ai entendu quelqu'un dire derrière mon dos : *"the power of Finite Element Analysis"* (en Français : « le pouvoir de l'analyse par éléments finis »). Je n'étais pas sûre de comprendre ce que cela signifiait. Je n'étais pas sûre non plus que l'éditrice en moi voulait débattre d'un sujet très technique qui aurait probablement pris beaucoup de temps à comprendre. Alors, j'ai souri et mes yeux se sont posés sur autre chose.

Cependant, cette phrase est restée dans ma tête et j'ai décidé d'en apprendre davantage sur l'**analyse par éléments finis** – AEF ou FEA (*Finite Element Analysis*). Si je devais résumer ce que j'ai appris en une phrase pour un utilisateur final, je dirais que l'analyse par éléments finis est probablement l'outil ultime qui permet de donner vie à de nombreux produits qui nous entourent aujourd'hui, mais nous ne sommes pas dans un magazine grand public ici. Nous sommes dans une presse spécialisée. Par conséquent, je pense que vous

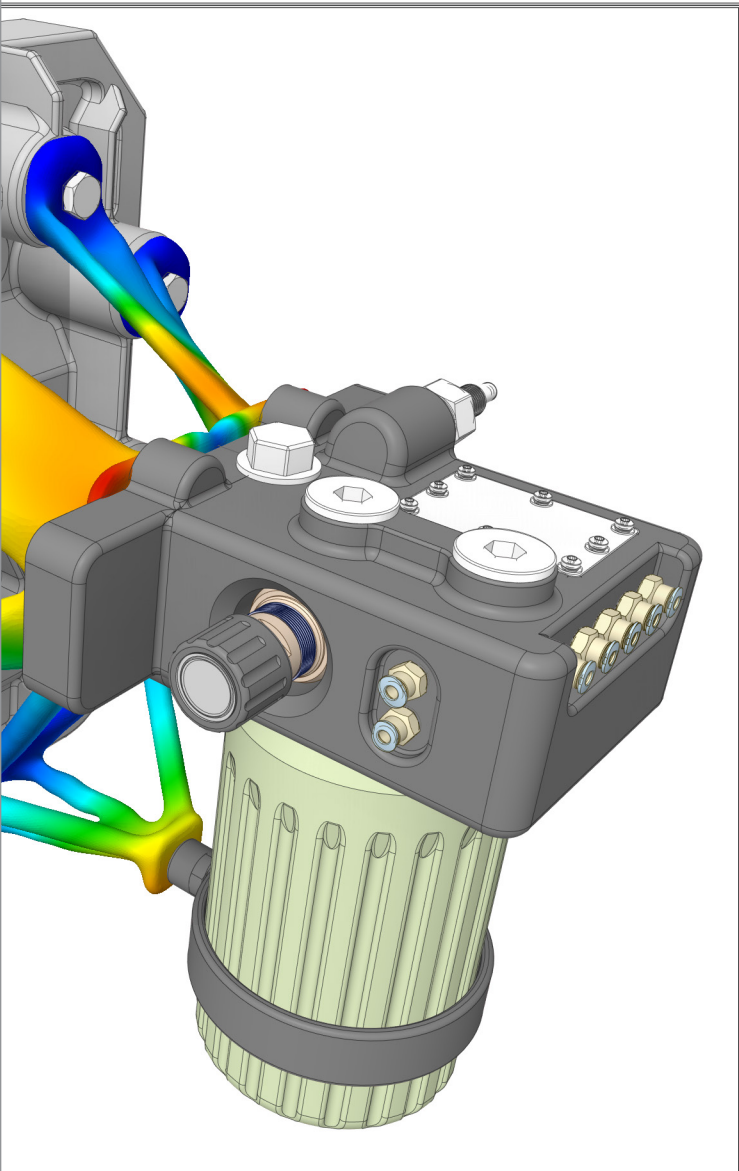
attendez de moi que je creuse un peu plus et pour ce faire, j'ai invité le fournisseur de logiciels [ANSYS](#) et le service de fabrication à la demande [Xometry](#) à partager leur expertise sur le sujet.

Cet article a pour but de :

- Mettre en lumière les principales utilisations de l'AEF dans un environnement de production de fabrication additive et comment la théorie peut différer de son aspect pratique ;
- Présenter ses avantages et ses complexités dans un processus de FA donné : les cas spécifiques de la FA métal et de l'impression 3D FDM seront pris en compte ici ;
- Fournir des conseils ou astuces pratiques à ceux qui utiliseront cet outil dans leur travail.

Analyse par éléments finis : Quoi ? Qui ? Pourquoi ?

L'analyse par éléments finis est un processus développé comme moyen de résoudre les problèmes de mécanique structurelle en ingénierie. Les recherches montrent que le mathématicien Euler a été l'un des



premiers à exploiter le concept au 16^e siècle, mais une définition plus compréhensible a été présentée dans les travaux de [Schellbach](#) en 1851.

Selon **Brent Stucker**, ingénieur distingué en fabrication additive chez **Ansys**, il y a plusieurs décennies, lorsque les ingénieurs ont découvert le potentiel de cette méthode dans la conception, pour l'appliquer, ils devaient absolument passer par le processus fastidieux d'écriture d'équations pour chaque élément ou par l'algèbre matricielle nécessaire pour obtenir la solution souhaitée. La raison en est que la méthode exigeait de l'ingénieur qu'il divise une structure en éléments discrets reliés à des points communs appelés nœuds. L'écriture d'équations permet donc de décrire le comportement de chaque élément, de sorte que la méthode applique des charges et des conditions aux limites, assemble une matrice de rigidité globale et résout l'ensemble des équations simultanées qui en résultent.

Avec le progrès des outils logiciels, la méthode FEA est aujourd'hui plus « automatisée ». « L'utilisateur peut ne pas avoir besoin de tels calculs car les outils de simulation sont beaucoup plus intuitifs. Ils peuvent utiliser l'apprentissage machine. Ainsi, un non-expert peut tout de même obtenir de bons résultats », note Stucker.

À l'aide de codes informatiques, l'ingénieur peut générer des modèles solides d'une pièce, discrétiser le modèle en éléments, appliquer des charges et des conditions aux limites, puis attendre que l'ordinateur effectue l'analyse et déchiffre les résultats.

Quoi ?

Cependant, la compréhension et les principales utilisations de cette méthode restent assez confuses pour la plupart des professionnels aujourd'hui. Pour Stucker, les professionnels doivent faire une distinction claire entre deux utilisations différentes de l'analyse par éléments finis, en particulier lorsqu'il s'agit du processus de FA :

« Il est essentiel de faire la distinction entre l'utilisation de l'analyse par éléments finis pour la conception du composant et la prévision de ce qui va arriver à cette conception pendant sa construction dans le processus de FA. Ce sont les deux utilisations distinctes du processus d'analyse par éléments finis que les gens confondent parfois ; et on utilise deux types d'analyse par éléments finis complètement différents pour ces deux problèmes. »

Cela signifie que les premières questions que les professionnels doivent se poser sont les suivantes : **est-ce que je prédis la conception de la pièce ? Ou est-ce que je prédis ce qui se passe dans le processus ?** En effet, lorsque l'analyse par éléments finis est utilisée pour la conception de la pièce, l'accent est mis sur les géométries de la pièce. Dans ce cas, il est important de réduire les risques et d'optimiser les conceptions avant qu'elles n'entrent en production, alors que lorsqu'elle est utilisée comme outil de simulation de processus, l'accent est mis sur la fabrication elle-même, sur ce qui se passe dans la physique de la machine, sur ce qui va arriver au matériau utilisé dans la machine, etc.



Brent Stucker, cofondateur de 3DSIM LLC, une entreprise axée sur la commercialisation d'algorithmes de modélisation prédictive des processus de fabrication additive. L'entreprise société a été acquise par ANSYS en 2017

En combinant ces deux principales utilisations de l'AEF, **Greg Paulsen**, Directeur de l'ingénierie d'application chez **Xometry**, explique :

« L'analyse par éléments finis permet de prouver que votre conception fera ce que vous dites qu'elle fera dans un espace numérique. L'analyse par éléments finis est un outil qui permet de prévoir les résultats des performances d'une conception avant la fabrication de toute pièce physique. Elle présente l'avantage de vous permettre de simuler, d'itérer et de valider le « jumeau numérique » de votre conception sans consacrer de temps et d'argent à la fabrication et aux essais mécaniques. L'analyse par éléments finis fonctionne en attribuant des propriétés matérielles à un modèle 3D ainsi que des conditions environnementales et des charges. La simulation tient compte de tous ces éléments pour prédire si ces conditions affectent l'intégrité de la structure de la pièce, et prévoit même la déformation ou les points de contrainte critiques. En fonction des résultats de l'analyse par éléments finis, vous pouvez modifier votre conception pour atténuer ces effets ou augmenter un facteur de sécurité. Dans l'idéal, l'analyse par éléments finis contribuera à créer le résultat et les performances escomptés de votre conception, de sorte que lorsque vous construisez la pièce, vous et votre équipe avez la certitude, fondée sur des données, qu'elle fonctionnera ».

C'est certainement la raison pour laquelle l'AEF est considérée par la plupart des professionnels comme un outil de justification des coûts et de simulation.

Qui (peut l'utiliser) et pourquoi ?

Écouter ce qu'est la méthode d'analyse par éléments finis pourrait donner l'illusion que le processus n'est destiné qu'aux concepteurs, mais Stucker d'Ansys souligne qu'en fin de compte, « les principaux objectifs de l'utilisation de l'analyse par éléments finis dépendent de votre description de poste ». En d'autres termes, que vous soyez un concepteur, un opérateur, un spécialiste des matériaux ou un ingénieur qualité, vous pouvez être amené à utiliser une méthode d'analyse par éléments finis dans l'une de vos tâches.

« En tant que concepteur, c'est pour réaliser une conception optimale qui fonctionne réellement comme prévu. En tant qu'opérateur de machine, il s'agit d'éviter les défauts de fabrication, de minimiser les coûts de post-traitement, de maximiser la productivité de la machine et de respecter les tolérances des pièces. En tant que spécialiste des matériaux, il s'agit de s'assurer que la microstructure du matériau est correcte, etc. De nombreuses personnes peuvent utiliser l'analyse par éléments finis pour améliorer leurs opérations de FA », note Stucker.

Quelle que soit la description de votre travail, l'expert assure que « l'exécution d'une analyse par éléments finis peut être aussi simple que l'utilisation d'une feuille de calcul Excel ». « Pour de nombreux types de simulations en FA, le flux de travail a été normalisé et simplifié de telle sorte qu'un utilisateur sans formation spécialisée en FEA peut mettre en place une simulation en quelques minutes ».

L'AEF, quelques-unes des complexités expliquées pendant le cycle de développement du produit

Tout d'abord, notons pour les néophytes que les programmes d'analyse par éléments finis sont généralement intégrés dans les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO), afin que les ingénieurs puissent facilement passer de la conception à l'analyse structurelle complexe.

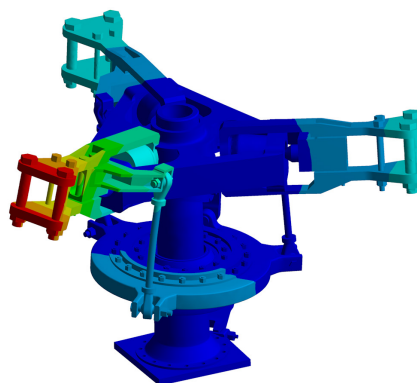
Mais comme l'utilisation de l'analyse par éléments finis dépend largement de la description de poste du professionnel, nous nous sommes rendu compte que la complexité de l'analyse peut varier considérablement

d'une personne à l'autre et même d'une application à l'autre.

En effet, alors que l'analyse structurelle, le transfert de chaleur et l'écoulement des fluides sont souvent considérés comme les problèmes les plus courants dans l'analyse par éléments finis, il s'avère qu'ils ne peuvent être que les principaux défis pour ceux qui conçoivent un composant.

Un examen plus approfondi du transfert de chaleur, par exemple, révèle que l'analyse par éléments finis peut être particulièrement utile lorsqu'on cherche à contrôler les problèmes thermiques d'une machine. Selon l'expert d'Ansys, la première chose à noter est qu'on peut ne pas vouloir que les caractéristiques thermiques soient les mêmes pour chaque région d'une pièce.

« Il peut être avantageux de modifier les caractéristiques thermiques localement, produisant ainsi des microstructures et des propriétés variables dans différentes régions d'une pièce afin d'optimiser les performances de celle-ci. Pour gérer les problèmes thermiques, vous devez contrôler à la fois l'apport de chaleur et la sortie de chaleur. L'apport de chaleur peut être contrôlé en modifiant les entrées d'énergie de la machine, comme la puissance du laser, la vitesse de numérisation, la température des éléments chauffants, etc.. En général, la chaleur dégagée est modifiée en ajoutant des délais pour augmenter le temps de refroidissement, en ajoutant des supports thermiques et des dissipateurs de chaleur, en utilisant un refroidissement actif dans la chambre, etc. », il continue.



Légende : Ansys Mechanical présente le meilleur solveur d'éléments finis de sa catégorie. Avec des capacités structurelles, thermiques, acoustiques, transitoires et non linéaires pour améliorer votre modélisation. Crédit : ANSYS.

Ce n'est qu'un exemple parmi une myriade de complexités rencontrées. Et même ici, si l'on s'intéresse de près à ces problèmes les plus couramment mentionnés, les progrès récents de cette méthode pourraient révéler des améliorations de la méthodologie et de l'adaptabilité du maillage, ainsi que des techniques permettant d'améliorer l'efficacité et d'estimer les limites d'erreur.

Comme le fait remarquer Stucker, l'analyse par éléments finis peut aider à résoudre de nombreux autres problèmes, comme la conception de puces à semi-conducteurs, l'optimisation des processus de fabrication, etc. La question est la suivante : si vous êtes nouveau dans le domaine et que vous ne disposez pas de certains des « nouveaux progiciels FEA, comme Ansys Discovery, qui rendent l'analyse par éléments finis facile, intuitive et presque instantanée », cette **méthode peut-elle ralentir le cycle de développement du produit** ? Nous avons posé cette question à Xometry :

« Décider des entrées critiques pour le succès de votre conception peut souvent prendre du temps car il peut s'agir de conditions hors de votre contrôle et nécessitant des recherches. La plupart des concepteurs travaillent avec une compréhension générale du processus et des matériaux qu'ils utilisent afin de prendre un bon départ dans l'approche de la conception. Avec la fabrication additive, vous avez accès à des services de prototypage

rapide à moindre coût et dans des délais courts. Vous pouvez travailler en parallèle en construisant des produits physiques et en définissant la simulation pour aider à valider d'autres caractéristiques de conception en dehors de l'objectif de l'analyse par éléments finis.

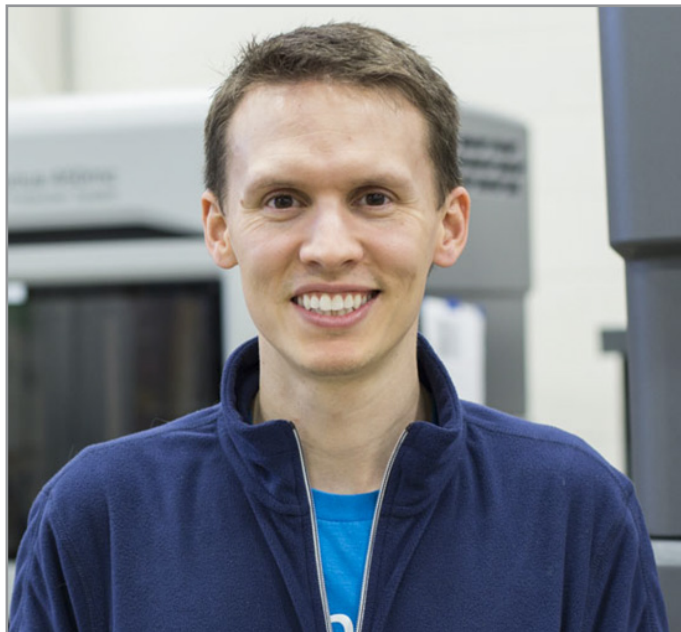
Ce qui est très convaincant, c'est la façon dont les logiciels de conception 3D associent la conception et l'analyse par éléments finis grâce à un processus de conception générative. La conception générative tire parti du niveau de complexité d'une pièce imprimée en 3D et construit des caractéristiques autour de contraintes similaires à celles utilisées dans l'analyse par éléments finis, sans que la pièce doive être conçue de manière traditionnelle. Les caractéristiques de la pièce se forment et se connectent numériquement en fonction des données de l'analyse par éléments finis. Comparée à une approche de conception générative, l'analyse par éléments finis traditionnelle peut être comparée à l'utilisation d'un atlas routier pour la conduite par rapport à une application de navigation – il s'agit d'un changement radical de fonctionnalité. Les résultats des simulations de conception générative peuvent devenir la pièce réelle utilisée ou un modèle utilisé par le concepteur pour optimiser le résultat de fabrication prévu.

D'après notre expérience, l'analyse par éléments finis ne ralentit pas le cycle de développement de la production, mais permet aux équipes d'ingénieurs d'envisager et d'approfondir les problèmes/expérimentations de défaillance avant de lancer le produit final. Elles ne sont plus confrontées aux défaillances de surface des traditionnels it1, it2 ou it3, car l'analyse par éléments finis fournit un retour d'information rapide sur la situation. L'équipe d'ingénierie dispose ainsi de plus de temps pour repousser les limites de la capacité du produit. »

FEA, un regard sur les procédés de fabrication : les cas spécifiques de la FA métal et du FDM

Parfois, même lorsque votre intention première n'est pas de comparer les procédés de FA et les procédés de fabrication conventionnels, vous vous rendez compte que les principes de fabrication conventionnels continuent d'influencer la production par fabrication additive.

Dans cette veine, l'AEF a été fondamentalement



Greg Paulsen, directeur de l'ingénierie des applications chez Xometry

développée en tenant compte des propriétés isotropes des pièces, ce qui signifie que toutes les caractéristiques physiques des pièces sont similaires dans toutes les directions. Dans la fabrication additive, le matériau est toujours ajouté de manière continue pendant la fabrication, en construisant la pièce dans une direction verticale et en créant ainsi des pièces orthotropes, dont les propriétés sont généralement plus faibles.

C'est pourquoi, que vous fabriquiez à l'aide d'un procédé de FA métal ou FDM, vous pouvez être amené à prendre en compte la taille minimale des éléments de fabrication, les effets d'orientation, la nécessité de supports et d'autres caractéristiques spécifiques à la machine et au matériau.

Une analyse de l'utilisation de l'AEF pour la production d'une pièce imprimée en 3D en métal et la production d'une pièce imprimée en 3D par FDM révèle certaines similitudes et différences. – (L'analyse est basée sur les réponses de nos invités à nos questions).

	Impression 3D métal	Impression 3D FDM	Remarques
FEA method of the design	L'utilisation de l'analyse par éléments finis est à peu près la même que pour une pièce imprimée en 3D par FDM.	L'utilisation de l'analyse par éléments finis est à peu près la même que pour une pièce imprimée 3D en métal	Les propriétés des matériaux doivent être mises à jour. Des changements spectaculaires dans les propriétés telles que la résistance à la traction et à la flexion peuvent être observés dans la production FDM.
FEA method of the manufacturing process	Processus AEF différent : L'utilisation de l'analyse par éléments finis standard pour les pièces métalliques est globalement satisfaisante si les valeurs utilisées sont basées sur la direction la plus faible.	Processus d'analyse par éléments finis différent : il convient d'examiner attentivement les données utilisées.	Les deux tâches d'analyse par éléments finis sont similaires en ce sens qu'elles impliquent toutes deux une source de chaleur mobile où une pièce est créée, numérisée couche par couche, pour constituer l'objet 3D. La déformation se produit au fil du temps et doit être suivie dans les deux types de tâches FEA (conception & fabrication). Tout type de compensation de la déformation que vous pourriez souhaiter effectuer serait similaire pour les deux processus (FDM & FA métal).

Aussi clair que soit ce tableau, certaines des complexités cachées dans l'utilisation de l'AEF pour un processus donné peuvent souvent se révéler lorsque l'ingénieur se retrouve confronté à un cas de production réel.

Selon l'expérience de Paulsen, « la conception de pièces métalliques imprimées en 3D favorise souvent les moteurs opposés à la conception pour l'usinage. Par exemple, les pièces à commande numérique conservent souvent des caractéristiques épaisses et volumineuses, alors qu'une pièce en métal fritté directement au laser (DMLS) est mieux conçue avec des caractéristiques plus fines et plus organiques. Certaines de ces caractéristiques peuvent même être impossibles à produire de manière traditionnelle, comme les structures en treillis et les canaux internes incurvés. La simulation d'une pièce conçue pour le DMLS peut s'avérer difficile lors de la configuration et plus longue lors du calcul, en raison des nombreuses données de maillage associées aux pièces très complexes.

D'autre part, les pièces FDM peuvent être nettement plus faibles dans une direction en raison de l'orientation de construction utilisée. La FDM peut être mieux représentée comme une série de tranches, l'épaisseur de la hauteur de la couche ayant les propriétés planes (plus fortes) avec un lien adhésif entre chaque couche représentant les propriétés verticales (plus faibles). C'est facile à écrire mais cela peut être difficile à réaliser dans la pratique.

Dans de nombreux cas, les pièces imprimées en 3D par FDM peuvent être destinées à se déformer, contrairement à de nombreuses structures métalliques qui peuvent nécessiter une certaine stabilité. Certaines applications méta-matérielles peuvent être réalisées avec des treillis polymères flexibles. Un excellent exemple est la création de mousses numériques, où un élastomère est construit en utilisant différentes densités de treillis pour créer un comportement plus souple ou plus ferme sous pression. »



Image: pièce imprimée 3D avec la technologie MJF

Alors, quoi d'autre ?

À première vue, l'analyse par éléments finis semble très complexe à comprendre et donc à exploiter, mais lorsque vous commencez à gratter la surface, vous ressentez le besoin de creuser de plus en plus profondément et vous réalisez que les mises à jour de l'analyse par éléments finis ainsi que les dernières avancées dans le domaine des fournisseurs de logiciels pourraient remplir un magazine entier.

Il est intéressant de noter que, pendant de nombreuses années, l'utilisation de l'analyse par éléments finis était principalement réservée aux ingénieurs spécialisés qui avaient reçu une formation adéquate à cet effet. Aujourd'hui, avec le développement des outils d'apprentissage automatique, presque tout concepteur ou ingénieur peut trouver des progiciels d'analyse par éléments finis faciles à utiliser qui rendront son travail plus facile et plus productif. En effet, les fournisseurs de



Image: Tuiles Xometry – Crédit : Xometry.

logiciels tels qu'Ansys proposent divers outils pour aider les concepteurs à créer de meilleures conceptions, pour aider les opérateurs de machines à optimiser leur processus et à mettre en place leurs constructions de manière efficace, les ingénieurs qualité à certifier leurs pièces de manière plus efficace, les spécialistes des matériaux à contrôler la microstructure, etc.

Toutefois, en ce qui concerne l'analyse par éléments finis, Ansys cherche spécifiquement à « simplifier considérablement nos flux de travail et à étendre les types de machines et de matériaux qu'on peut simuler ».

Du point de vue de l'utilisateur, l'analyse par éléments finis n'est que l'un des nombreux outils pouvant être utilisés par les ingénieurs des industries verticales qui adoptent les technologies et les bureaux de service de FA. De ce point de vue, Paulsen de Xometry met l'accent sur le fait que les outils de fabrication additive pour les logiciels de CAO, d'analyse par éléments finis et de conception générative sont toujours absents ou difficiles d'accès, malgré les améliorations significatives.

« La création d'outils permettant de définir l'orientation, la mise à disposition d'une bibliothèque actualisée avec les propriétés reconnues par l'industrie des différents matériaux et procédés d'impression 3D et la simplification du processus sont autant d'éléments utiles. Il est important de noter que la fabrication additive permet de produire des pièces à la demande avec un devis instantané à tout moment. L'analyse par éléments finis et les outils similaires peuvent souvent aider les ingénieurs à tirer le meilleur parti du processus en termes de hautes performances, de réduction du poids, de consolidation des pièces et autres », ajoute-t-il.

Enfin, « toutes les pièces ne nécessitent pas une analyse par éléments finis ou une simulation numérique complexe. Lorsqu'elles en ont besoin, elles sont réalisées par le concepteur ou l'ingénieur qui utilise les méthodes de « jumeau numérique » pour produire et itérer sans production physique. »

Au final, ceux qui ne veulent pas se creuser la tête avec toutes ces contraintes de conception et de fabrication peuvent simplement télécharger leur fichier pour obtenir des prix et des délais instantanés auprès du service de fabrication à la demande de leur choix, le configurer en fonction de leurs besoins et attendre qu'il soit fabriqué.

Références:

OpenLearn, Introduction to finite element analysis, <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/introduction-finite-element-analysis/content-section-1.1#>

Interviews avec **Xometry & ANSYS**

Full Series Debinding and Sintering Furnace

for Additive Manufacturing(AM)



- Debinding and sintering for Metal **Binder Jet** and **FDM**
- Heat treatment for Laser Printing
- Graphite hot zone and Moly hot zone available
- High vacuum acceptable



Hiper is the leading AM furnace manufacturer in the world

- Graphite/Metal hot zone debinding and sintering furnace
- Tailormade furnace acceptable

E : xiangwei.zou@hiper.cn/W: www.hiper.cn
NO.521,Haitong Road,Cixi City,Zhejiang,China

HYPERGANIC

ALGORITHMES ET INTELLIGENCE
ARTIFICIELLE, LES PIÈCES MANQUANTES
DU PUZZLE DE LA FABRICATION ADDITIVE



Les entreprises technologiques qui sortent de l'anonymat le font souvent avec fracas : en organisant un grand événement de lancement pour capter l'attention du public ou en annonçant une levée de fonds, mais je crois fermement que la clé pour susciter l'intérêt réside dans la façon dont une entreprise explique comment elle peut transformer les industries. La dernière société qui a décidé de sortir du mode furtif est Hyperganic et j'ai rencontré son CEO et fondateur, Lin Kayser, pour comprendre la transformation qu'elle ambitionne d'apporter au secteur de la FA.

Basée à Munich, en Allemagne, **Hyperganic** développe et fournit une plateforme logicielle pour la conception et l'ingénierie avancées de pièces, de structures et de machines entières d'une extrême complexité. Qu'est-ce qui les rend exceptionnels ? **L'intelligence artificielle (IA) et les algorithmes.** Selon les mots de Kayser, ils « créent la conception d'objets physiques en utilisant l'IA et les algorithmes. » « Nous permettons la production en masse d'objets physiques dans des usines numériques qui ont en leur sein la FA comme méthode principale de fabrication. Notre objectif est d'accélérer radicalement l'innovation et tout commence au niveau de la conception avec les ingénieurs qui veulent créer de nouveaux objets. La vérité, c'est que le travail des concepteurs comporte beaucoup de travail manuel. Ils doivent faire correspondre des choses dans leur tête et les mettre sur leur écran. Le processus revient à construire chaque façade de l'immeuble que vous voulez construire. Chez Hyperganic, nous prenons le processus de pensée de l'ingénieur qui doit répondre à la question « comment construire un objet ? », nous le mettons dans des algorithmes et ensuite, les algorithmes peuvent recréer automatiquement les parties que l'ingénieur concepteur aurait créées autrement. Les algorithmes l'amènent au niveau supérieur pour l'aider à produire les choses qu'il aimerait voir et c'est le principal moteur de la FA », ajoute-t-il.

Selon Kayser, un grand nombre de fabricants ne voient pas l'utilisation de la FA au-delà du prototypage ou des petites séries. Par conséquent, lorsqu'il s'agit de production de masse, ils pensent souvent à un autre processus de fabrication. L'équipe d'Hyperganic veut permettre cette production de masse et veut le faire en particulier pour les pièces les plus complexes qui peuvent absolument nécessiter la FA. Selon Kayser, ce type de pièces est tellement « adapté à la FA, tellement avancé que la FA n'a pas seulement du sens en termes de fonctionnalités, mais aussi financièrement et pour la production de masse ».



*Lin Kayser, fondateur et CEO de
Hyperganic, société de logiciels*

Comment tout a commencé...

Kayser ne s'est pas réveillé un matin en décidant de créer une entreprise dédiée à l'industrie de la fabrication additive. En fait, son parcours entrepreneurial a commencé il y a trente ans. L'entreprise précédente de cet expert en logiciels était spécialisée dans le traitement des images numériques pour l'industrie hollywoodienne. Au fil du temps, il est devenu insatisfait de ce qu'il faisait. Le point culminant est arrivé lorsqu'il a écouté le discours d'Al Gore sur le « changement climatique » intitulé « Une vérité qui dérange ». Comme tout le monde (ou presque) le fait au quotidien, il faisait sa part, – trier ses déchets – mais n'était pas conscient des défis mondiaux bien plus importants.

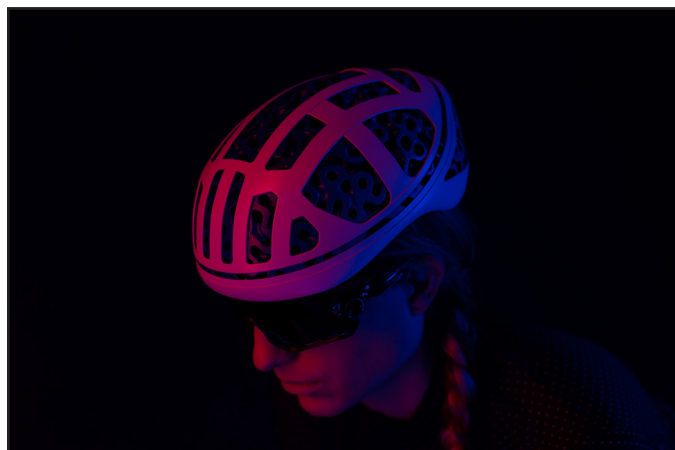
Il a décidé de vendre son entreprise en 2011 et a commencé à réfléchir à la manière dont il pourrait apporter une contribution significative.

« Pour moi, l'innovation est quelque chose qui se produit rapidement, mais seulement dans des domaines très spécifiques comme l'informatique ou les technologies de l'information, mais quand on regarde les objets physiques, rien n'a tellement changé depuis des décennies. Je ne peux m'empêcher de penser que c'était l'un des problèmes à résoudre, afin d'être plus durable, d'avancer plus vite et de résoudre certains des problèmes auxquels nous étions confrontés au niveau mondial. Heureusement, en 2012, je suis tombé sur l'impression 3D et j'ai été séduit », se souvient-il. Le problème, c'est que l'informaticien en lui savait que le codage et le développement de logiciels étaient l'une des choses les plus créatives qu'une personne ayant sa formation pouvait faire, car « vous imaginez quelque chose dans votre tête et vous lui donnez vie. Mais c'est difficile de le faire physiquement parce que les logiciels sont virtuels. » « Lorsque j'ai découvert l'impression 3D [les imprimantes 3D pour makers], j'ai réalisé que c'est une machine qui peut essentiellement imprimer des codes », note-t-il.

Inutile de dire que sa courbe d'apprentissage l'a amené à l'impression 3D industrielle qui peut traiter presque tous les matériaux, mais le processus a été freiné par les modèles que nous envoyons aux imprimantes 3D. Souvenez-vous de cette étude qui révèle que **« 44 % des pièces qui arrivent dans les bureaux de services de fabrication numérique n'ont pas de modèle 3D »** ?

« Nous concevons ces modèles de manière traditionnelle, en créant des modèles CAO pour des objets physiques. C'est ce que nous faisons depuis une quinzaine d'années. J'ai commencé à me demander si nous pouvions utiliser des codes informatiques pour construire des objets physiques. Au lieu de modéliser quelque chose visuellement, pouvons-nous utiliser l'IA et les algorithmes pour créer des objets physiques, des structures et peut-être des machines entières ? C'était en 2014 et c'est ainsi que l'idée d'Hyperganic est née », explique-t-il.

Avec **Michael Gallo**, Directeur technique de sa précédente entreprise et actuel Directeur technique d'Hyperganic, ils se sont assis, ont discuté de cette idée et ont hésité. Ils ont finalement commencé à développer une plateforme logicielle permettant de stocker chaque molécule d'une pièce ; en d'autres termes, « un flux de travail qui créera diverses variations de différentes pièces afin d'automatiser le travail de l'ingénieur concepteur, de sorte que la conception devienne la recherche de l'objet donné dans ces variantes ». Cela signifie que dans les systèmes d'exploitation qu'ils créent, on pourrait concevoir automatiquement des objets d'un type similaire. Par conséquent, l'aspect final de la pièce finale dépendra de l'environnement et des paramètres que l'ingénieur concepteur aurait introduits dans l'algorithme. C'était en 2017. Hyperganic a été officiellement fondée



Casque de vélo imprimé en 3D et conçu par l'IA - Crédit de Hyperganic

Comment ça se passe aujourd'hui...

Hyperganic a pris son envol et, en quelques années, a construit une base croissante de clients en Europe, aux États-Unis, en Chine et en Asie du Sud-Est. Au début de cette année, la société a levé 7,8 millions de dollars pour agrandir l'équipe et poursuivre le développement de sa plateforme logicielle.

Les fonds allemands HV Capital et VSquared Ventures ont mené ce premier tour de table de capital-risque pour Hyperganic, et les co-investisseurs comprenaient la société américaine Converge, le partenaire industriel Swarovski et le pionnier du PC Hermann Hauser, co-fondateur de ARM.

Au cœur des développements de l'entreprise, on trouve les plateformes **« Hyperganic Core »** et **« Hyperganic Print Framework »**.

Selon Kayser, le premier produit est une plateforme de géométrie basée sur les voxels pour la conception algorithmique et basée sur l'IA. Cela signifie que les voxels aident à définir la géométrie, que ce soit à la résolution normale ou supérieure de l'imprimante. Elle est disponible sur le bureau et en tant que plateforme d'application en nuage évolutive. Le second produit, quant à lui, vise à prendre en charge la préparation de l'impression et le contrôle très précis du processus.

Il est intéressant de noter que pour ceux qui aiment classer les fournisseurs de logiciels dans l'industrie de la FA – en supposant que la conception (CAO), la simulation (IAO), le traitement (FAO), le flux de travail (ERP/MES), ainsi que l'assurance qualité et la sécurité sont **les cinq catégories clés** qui pourraient aider les fabricants à comprendre ce que fait un logiciel, il serait difficile de ne cocher qu'une case (dans ce cas la catégorie « Conception ») pour Hyperganic.

« Nous faisons beaucoup plus que la partie « conception ». Nous pouvons assurer la réparation du maillage, le tranchage, la génération de supports, l'imbrication, l'empilement, le contrôle du processus au niveau du voxel et même le support multi-matériaux », explique Kayser.



Partie d'un moteur de fusée – conçu par l'IA et imprimé en 3D – Crédit de Hyperganic

Comment la plateforme Hyperganic fait-elle ce qu'elle fait...

L'entreprise munichoise a développé une plateforme logicielle compatible avec n'importe quelle plateforme d'impression 3D industrielle.

« Nous travaillons avec des imprimantes 3D en polymère, des technologies de FA métal, des systèmes à base de résine. Nous soutenons même les fabricants qui impriment avec du béton. Nous couvrons tout le spectre des matériaux sur le marché », souligne le CEO.

Les utilisateurs de la plateforme **Hyperganic Core** peuvent explorer et créer une grande variété d'applications, notamment dans l'aérospatial, les biens de consommation et les produits médicaux. Ce qu'il est intéressant de garder à l'esprit, c'est que ces produits doivent **absolument être personnalisés**, qu'ils peuvent être **super complexes** puisqu'ils nécessitent la création de voxels ou qu'ils doivent être **des objets hautement optimisés**.

Parmi les objets basés sur la conception par IA que la plateforme Hyperganic a déjà permis de créer, on trouve par exemple un casque de vélo imprimé en 3D ou encore un moteur de fusée imprimé en 3D. Toutefois, il convient de noter que l'entreprise se concentre actuellement sur les applications aérospatiales.

En ce qui concerne le moteur de fusée, l'équipe a décidé d'explorer une approche entièrement algorithmique pour sa création.

« Nous avons décidé de donner aux algorithmes un seul point de départ géométrique, une courbe spline qui décrit l'intérieur de la chambre de combustion, stockée dans une feuille de calcul Excel. Il n'y avait pas de fichiers CAO, pas de modèles existants, juste des données, stockées dans une feuille de calcul, plus les algorithmes qui



Moteur de fusée - conçu par l'IA et imprimé en 3D - Crédit de Hyperganic

interprètent les données pour générer les parties fonctionnelles du moteur. Avec ce point de départ minimal, nous avons construit l'algorithme qui génère la géométrie réelle. Le moteur est créé de haut en bas, en disposant des canaux qui transportent l'oxydant cryogénique d'abord vers le bas autour de la chambre, en refroidissant la paroi interne qui est exposée au combustible en combustion, puis vers le haut dans une couche externe de canaux, pour une injection ultérieure dans la chambre elle-même. Nous avons utilisé la capacité d'Hyperganic à contrôler précisément les paramètres du processus pour chaque point de l'espace afin de modifier la structure du métal lui-même. L'intérieur de la chambre est imprimé de manière très dense, à l'aide d'une puissance laser élevée, tandis que l'extérieur devient presque poreux pour maintenir le poids à un niveau bas », peut-on lire dans un rapport de la société.

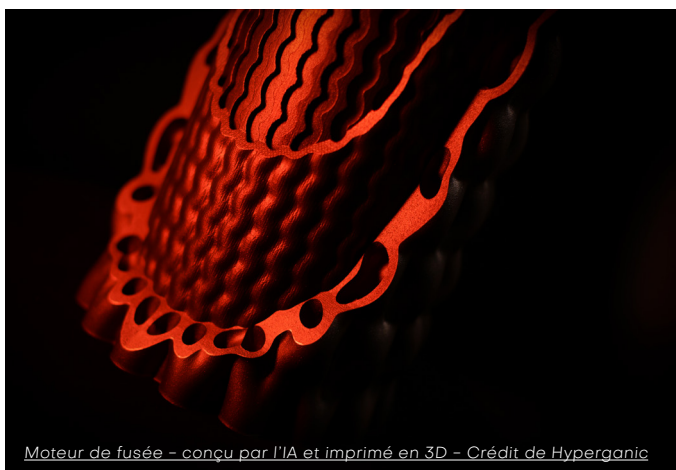
La différence avec l'ingénierie traditionnelle est qu'ici, l'ingénieur ne conçoit pas une pièce de manière linéaire ; il crée plutôt un processus qui mène à la pièce souhaitée.

« Traditionnellement, vous commencez avec une solution existante et vous apportez des modifications incrémentielles. Dans l'ingénierie d'Hyperganic, vous régénérez les objets à partir de zéro en permanence. Vous générez des centaines ou des milliers de variantes qui peuvent être évaluées. Dans l'ingénierie traditionnelle, les re-conceptions sont coûteuses et doivent être évitées ; dans l'ingénierie d'Hyperganic, c'est la norme et la clé pour parvenir à un optimum global », souligne le rapport.

Quelles sont les prochaines étapes pour l'entreprise ?

D'un point de vue commercial, la société est en train d'élargir sa clientèle au-delà des simples utilisateurs (ingénieurs d'études) pour atteindre des tiers qui souhaiteraient utiliser la plateforme pour créer leurs propres applications.

Pour ce qui est du futur, Kayser est convaincu que la FA ne restera pas éternellement une niche. Au contraire, pour lui, la technologie deviendra l'un des domaines les plus importants de la fabrication dans quelques années. « En faisant entrer les algorithmes dans ce jeu, nous créons un nouveau type de fabrication qui n'a jamais été fait auparavant. Nous fournissons la pièce manquante qui amènera la FA à un autre niveau », conclut-il.



Moteur de fusée - conçu par l'IA et imprimé en 3D - Crédit de Hyperganic

BRIGHT LASER TECHNOLOGIES

Metal 3D Printing Specialist

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

BIGGER THAN BIGGER

BLT-S500: 400X400X1500mm (Forming Size)

BLT-S600: 600X600X600mm (Forming Size)



Irregular Shaped Tube
1100mm



Fan Blade Bordure
1200mm



Wheel
φ485X210mm



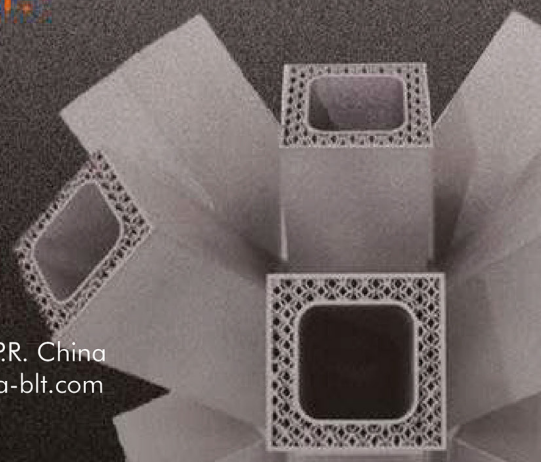
BLT Brand Metal AM Equipment

Supporting Materials:

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

Powder Production:

BLT-TA1, BLT-TA15, BLT-TC4



CHRONIQUE DE L'INVITÉ



Pertinence des nouveaux développements de la FA pour la chaîne d'approvisionnement des poudres

Mots de **Kenan Boz**, Directeur technique de [l'Association européenne de la métallurgie des poudres](#). Il présente certaines des recherches entreprises dans le cadre du [projet SAM](#) de l'UE.

La fabrication additive crée actuellement un tout nouveau marché pour les fournisseurs de poudre, même si elle exige des qualifications plus strictes de l'approvisionnement en matériaux pour les poudres métalliques. D'autre part, l'expansion croissante du marché numérique au-delà des modèles commerciaux de détail traditionnels modifie la manière dont les professionnels de la chaîne d'approvisionnement doivent travailler, et dont les commandes sont traitées et exécutées. L'article ci-dessous examine de plus près la chaîne d'approvisionnement en poudres, ainsi que les variables qui peuvent influencer la production de poudres métalliques de FA par rapport aux poudres produites pour les processus de fabrication conventionnels.

Une chaîne d'approvisionnement est un système d'organisations, de personnes, d'activités, d'informations et de ressources impliquées dans la fourniture d'un produit ou d'un service à un consommateur. Les activités de la chaîne d'approvisionnement impliquent la transformation de matières premières, de ressources et de composants en un produit fini qui est livré au client final [1]. Dans les systèmes de chaîne d'approvisionnement sophistiqués, les produits usagés peuvent réintégrer la chaîne d'approvisionnement en tout point où la valeur résiduelle est recyclable. Les consommateurs modernes s'attendent à recevoir leurs commandes plus rapidement que jamais. Le marché numérique continue de s'étendre chaque jour au-delà du modèle commercial traditionnel de la vente au détail et, par conséquent, les attentes des clients augmentent. Cela a changé la façon dont les professionnels de la chaîne d'approvisionnement doivent travailler pour assurer le traitement et l'exécution des commandes.

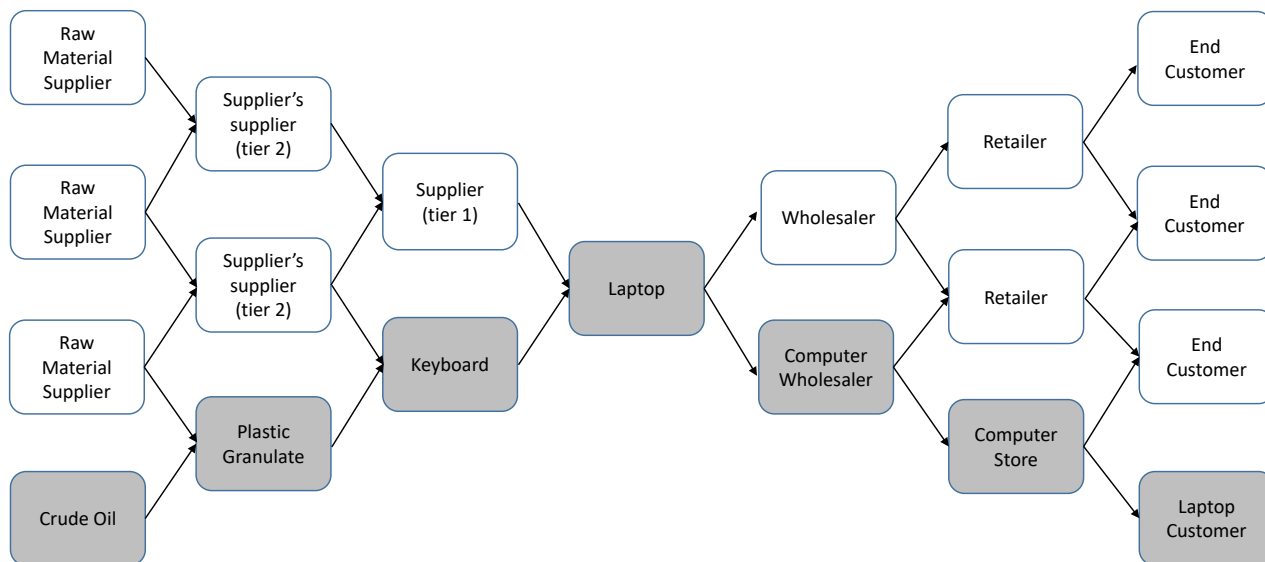


Figure 1 : Un exemple typique de chaîne d'approvisionnement pour un ordinateur portable [2]. – Graphique en anglais

Une chaîne d'approvisionnement typique (figure 1) commence par la réglementation écologique, biologique et politique des ressources naturelles, suivie de l'extraction de la matière première, et comprend plusieurs maillons de production (par exemple, la construction, l'assemblage et la fusion de composants) avant de passer à plusieurs couches d'installations de stockage de taille décroissante et de lieux géographiques de plus en plus éloignés, pour finalement atteindre le consommateur. De nombreux échanges rencontrés dans la chaîne d'approvisionnement se font donc entre différentes entreprises qui cherchent à maximiser leurs revenus dans leur domaine d'intérêt, mais qui peuvent avoir peu ou pas de connaissances ou d'intérêt pour les autres acteurs de la chaîne d'approvisionnement. En résumé, **une chaîne est en fait un réseau complexe et**

dynamique d'offre et de demande.

La fabrication additive est considérée comme une technologie perturbatrice pour la gestion de la chaîne d'approvisionnement en raison de ses caractéristiques. Holmström et al. [4] soulignent les avantages suivants des méthodes de fabrication additive par rapport aux méthodes de fabrication conventionnelles :

- Aucun outillage requis
- Possibilité de produire de petits lots de production de manière économique
- Possibilité de modifier rapidement la conception
- Optimisation de la fonctionnalité du produit
- Fabrication plus économique de produits personnalisés avec la possibilité de produire des géométries

complexes.

- possibilité de simplifier les chaînes d'approvisionnement en réduisant les délais et les stocks.

En plus des avantages ci-dessus, il est possible de **réduire les déchets de matériaux jusqu'à 90 % selon un rapport de Markillie [5] sur la FA**. Traditionnellement, les matières premières ou les composants sont fournis par les fournisseurs, assemblés par les fabricants et expédiés aux clients par l'intermédiaire de détaillants ou de centres de distribution. Au contraire, la technologie de fabrication additive permet aux organisations de contourner la chaîne d'approvisionnement traditionnelle et de fabriquer elles-mêmes un produit à partir d'une conception numérique (figure 2).

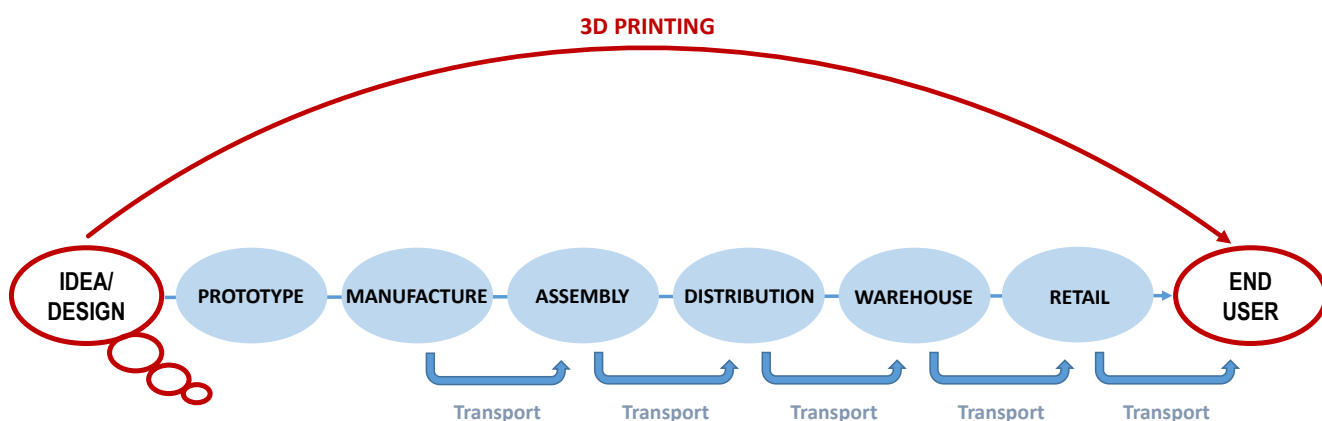


Figure 2 : Chaîne d'approvisionnement traditionnelle et chaîne d'approvisionnement en AM [3]. – Graphique en anglais

Aujourd'hui, de nombreuses entreprises intègrent la technologie de FA dans leurs chaînes d'approvisionnement. Le taux de croissance annuel moyen des revenus mondiaux produits par tous les produits et services au cours des 30 dernières années de la fabrication additive est de 26,7%, où la croissance dans les quatre années de 2016 à 2019 est de plus de 23%. Selon le rapport de Wohler, l'ensemble de l'industrie de la FA a atteint une taille de 12,7 milliards de dollars à la fin de 2020. Selon Lux Research de Boston-USA, la valeur des pièces fabriquées de manière additive va augmenter à un taux de croissance annuel composé (CAGR) de 15%, passant de 12 milliards de dollars en 2020 à 51 milliards de dollars en 2030. La fabrication additive est un moyen en plein essor de produire à la fois des prototypes et des produits.

Chaîne d'approvisionnement en poudres

Il existe un certain nombre de méthodes pour produire des poudres métalliques, notamment la réduction à l'état solide, l'électrolyse, divers procédés chimiques, l'atomisation et le broyage. Historiquement, pour des raisons plutôt commerciales, l'atomisation a été identifiée comme la meilleure façon de former des poudres métalliques pour la FA au vu des propriétés géométriques de la poudre qu'elle produit. Le **tableau 1** résume les caractéristiques des poudres obtenues par les différents procédés de fabrication.

La production de poudres métalliques pour la FA comprend généralement trois étapes principales, comme le montre le diagramme de flux de la figure 3. En bref, la première étape consiste à extraire le minerai pour former un produit métallique pur ou allié (lingot, billette et fil) approprié à la production de poudre ; la deuxième étape est la production de la poudre et la dernière étape est la classification et la validation. La chaîne d'approvisionnement consistant à prendre le minerai et à extraire un métal est bien établie et fournit une vaste gamme de métaux purs et d'alliages spécifiques aux marchés mondiaux.

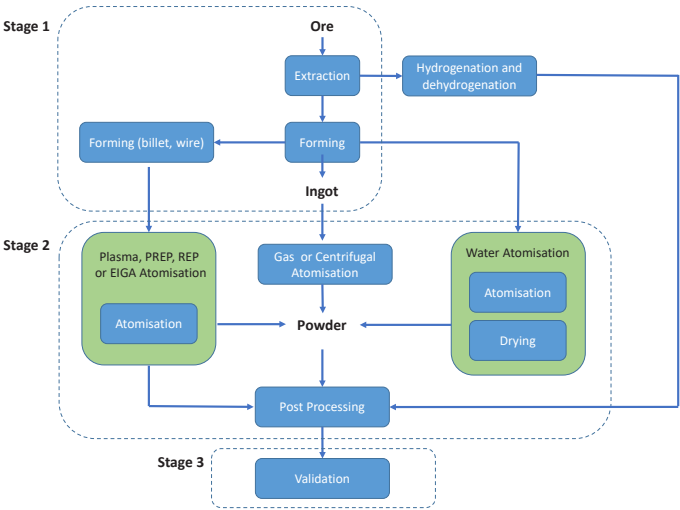


Figure 3. Diagramme des étapes de production de la poudre, du minerai à la poudre AM validée [6] – Graphique en anglais

Une fois qu'un lingot de métal ou d'alliage a été formé, un certain nombre d'étapes de traitement supplémentaires peuvent être nécessaires pour rendre la matière première adaptée au procédé d'atomisation choisi. Par exemple, l'atomisation au plasma exige que la matière première soit sous forme de fil ou de poudre, ce qui ajoute un travail supplémentaire de laminage et d'étirage ou une première étape dans la phase de production.

Processus de fabrication	Taille des particules, µm	Avantages	Inconvénients	Utilisations courantes
Atomisation de l'eau	0–500	Débit élevé Gamme de tailles de particules Ne nécessite que des matières premières sous forme de lingots	Post-traitement nécessaire pour éliminer l'eau Morphologie irrégulière des particules Présence de satellites Large PSD Faible rendement de la poudre pour 20–150 µm	Cu, Al (non réactifs)
Atomisation du gaz	0–500	Large gamme d'alliages disponibles Convient aux alliages réactifs Ne nécessite que des matières premières sous forme de lingots Débit élevé Gamme de tailles de particules	Satellites présents Large PSD Faible rendement de la poudre entre 20–150 µm	Ni, Co, Fe, Ti, Al
Atomisation par plasma	0–200	Particules extrêmement sphériques	La matière première doit être sous forme de fil ou de poudre. Coût élevé	Ti (Ti64 le plus courant)
Procédé d'électrode rotative à plasma	0–100	Poudres de haute pureté Poudre hautement sphérique	Faible productivité Coût élevé	Ti
Atomisation centrifuge	0–600	Large gamme de tailles de particules avec un PSD très étroit	Il est difficile de produire une poudre extrêmement fine, à moins d'atteindre une vitesse très élevée.	Pâtes à souder, Zinc des piles alcalines,
Procédé de déshydratation des hydrures	45–500	Option à faible coût	Morphologie irrégulière des particules Contenu interstitiel élevé (H, O)	Ti6/4

Tableau 1 : Caractéristiques des poudres selon les procédés de fabrication [6].

Deux variables principales peuvent influencer l'utilisation et la production de poudres métalliques de FA.

Taille et morphologie des particules

La morphologie des particules a un impact significatif sur les propriétés d'emballage et d'écoulement d'un lot de poudre. Les particules sphériques, régulières et équiaxes sont susceptibles de s'agencer et de se tasser plus efficacement que les particules irrégulières. La recherche sur l'effet de la morphologie des particules sur le processus de FA a montré que la morphologie peut avoir une influence significative sur la densité de tassement du lit de poudre et, par conséquent, sur la densité du composant final. Aussi, plus la morphologie des particules est irrégulière, plus la densité finale est faible. Plus la morphologie des particules est irrégulière, plus la densité finale est faible. Par conséquent, les particules hautement sphériques ont tendance à être privilégiées dans le processus de FA. La figure 4 montre diverses morphologies de poudre de fer obtenues par différentes méthodes de production.

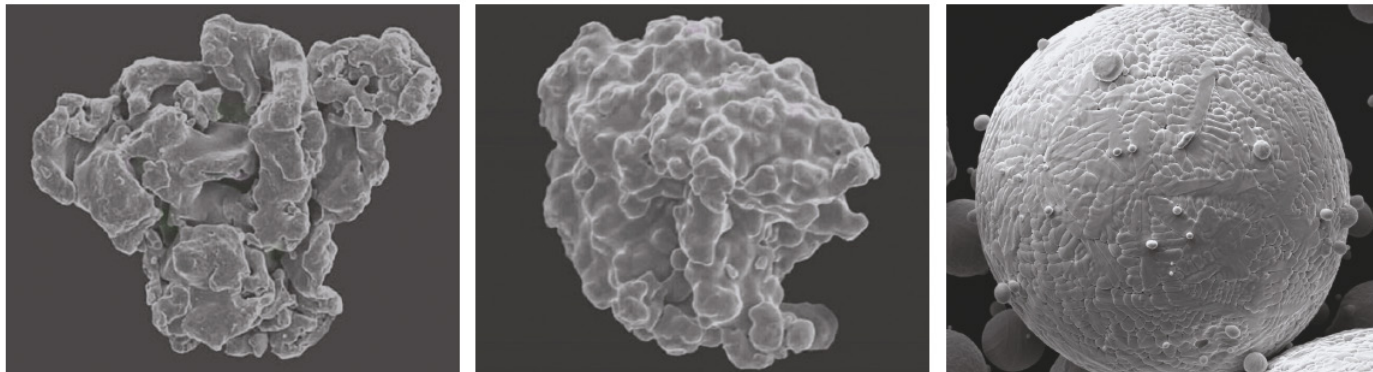


Figure 4 : Exemples de poudres présentant des morphologies différentes. [8]

La **distribution granulométrique (PSD = particle-size distribution)** est une liste de valeurs ou une fonction mathématique qui définit la quantité relative de particules présentes en fonction de leur taille. Elle peut offrir des informations concernant la largeur de l'étendue de la taille des particules, et D10, D50 et D90 (aussi connue sous le nom de valeur D ou spécification à trois points) sont les valeurs les plus largement utilisées dans l'analyse PSD. Ces valeurs indiquent le diamètre des particules à 10%, 50% et 90% de la distribution cumulative. La caractérisation de la distribution de la taille des particules (PSD) dans un lot de poudre garantit que la gamme optimale de particules, par taille, est utilisée dans chaque processus.

En général, la fusion par faisceau d'électrons utilise un PSD nominal compris entre 45 et 106 μm , tandis que le procédé de fusion sur lit de poudre - L-PBF utilise une plage plus fine comprise entre 15 et 45 μm , et le **Binder Jetting** entre 5 et 30 μm . La distribution granulométrique aura un impact évident à la fois sur l'épaisseur minimale de la couche et sur la résolution des détails les plus fins du composant.

Une combinaison inappropriée de distribution granulométrique et d'épaisseur de couche peut potentiellement conduire à **une ségrégation in situ** en raison de la ré-encapsulation mécanique qui pousse les particules les plus grossières loin du lit, la ségrégation dans ce sens pourrait conduire à une variation de la qualité de construction dans la direction verticale. Il est généralement bien connu que l'utilisation de poudres avec une distribution granulométrique large et un contenu fin élevé produit des composants avec une densité fractionnelle plus élevée. Cependant, l'utilisation de matériaux fins augmente le risque de problèmes de santé et de sécurité. Cela est particulièrement vrai lors du traitement de matériaux réactifs tels que le titane, où les particules plus fines sont susceptibles d'être plus inflammables et explosives. En 2011, un **terrible accident a eu lieu dans l'usine de Hoeganaes à Gallatin**, aux États-Unis, faisant 3 blessés et 5 morts, en raison d'une explosion de fines poussières métalliques à l'échelle nanométrique qui étaient entassées dans diverses zones de production [7].

L'écoulement des poudres

La **fluidité de la poudre** est une exigence technologique importante pour les poudres utilisées en FA. L'homogénéité de la densité de la pièce finale dépend de la fusion couche par couche effectuée sur des couches fines et uniformes

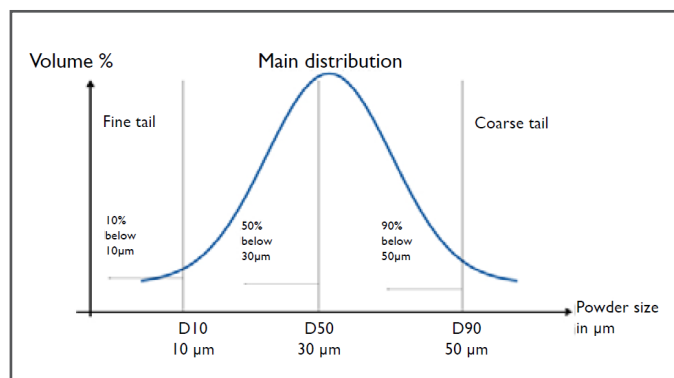


Figure 5 : Exemple de D10, D50 et D90 sur une courbe PSD pour une poudre de 10-50 microns - [Graphique en anglais](#)

déposées avec précision par le dispositif d'alimentation. Les poudres cohésives qui présentent des propriétés d'écoulement médiocres risquent d'être plus problématiques en termes d'obtention de couches de densité homogène tout au long de la construction que les poudres qui sont comparativement plus fluides. L'écoulement de la poudre est difficile à relier à un paramètre donné de la poudre, mais il existe **quelques règles générales** qui peuvent être appliquées :

- Les particules sphériques s'écoulent généralement mieux que les particules irrégulières ou angulaires.
- La taille des particules a une influence significative sur l'écoulement. Les particules plus grandes s'écoulent généralement mieux que les particules plus petites.
- La teneur en humidité des poudres peut réduire l'écoulement en raison des forces capillaires agissant entre les particules.
- Les propriétés d'écoulement dépendent souvent de la densité de tassement au moment de la mesure - les poudres dont la densité de tassement est plus élevée s'écoulent moins bien que les poudres dont la densité de tassement est plus faible.
- Les forces d'attraction à courte portée, telles que les forces de **van der Waals**, les forces électrostatiques et l'humidité, peuvent nuire à l'écoulement de la poudre et provoquer l'agglomération des particules (les forces à courte portée ont un impact plus important sur les particules plus fines).

Même si les **particules sphériques présentant une bonne fluidité sont considérées comme les plus efficaces pour la FA**, les différentes technologies de FA ayant évolué au cours des dernières années, chacune d'entre elles a défini des **exigences différentes en matière de distribution granulométrique**, comme indiqué ci-dessus.

Conclusions

L'utilisation de la fabrication additive dans la chaîne d'approvisionnement présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes de fabrication conventionnelles. **La FA laisse moins de place aux erreurs humaines dans la chaîne d'approvisionnement.** Il en résulte une production «du premier coup» avec un délai d'exécution plus court. L'expédition directe devient une option dans la chaîne d'approvisionnement avec la FA, et les fabricants peuvent réduire leur dépendance à l'égard de différents fournisseurs.

La FA conduit à une fabrication décentralisée, où les entreprises de logistique n'auront plus à transporter les produits finis à travers le monde. Cependant, la livraison des produits sur le dernier kilomètre va augmenter. Les entreprises doivent être suffisamment agiles pour contrer des perturbations de cette ampleur. Le fournisseur de logistique devient en fait un fabricant dans ce nouveau monde.

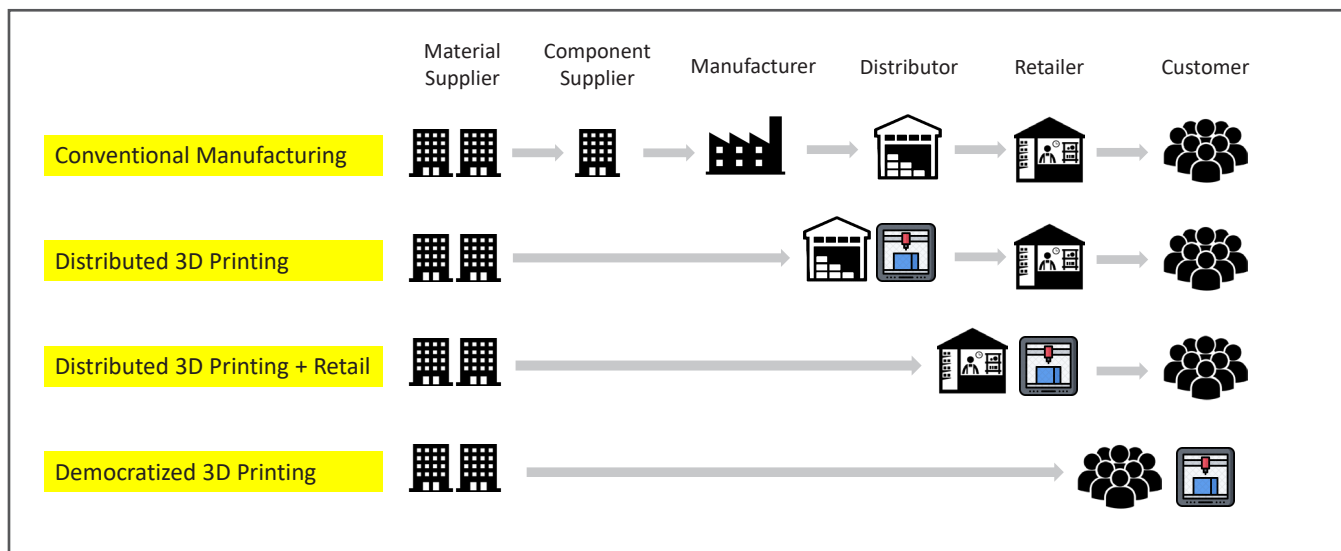


Figure 6 : La FA à différents niveaux de la chaîne d'approvisionnement [9].- *Graphique en anglais*

La FA crée sans aucun doute un tout nouveau marché pour les fournisseurs de poudre, même si elle exige des qualifications plus strictes de l'approvisionnement en matériaux pour les poudres métalliques. Cela réduit la bande de poudre utilisable dans une production de poudre ordinaire, ce qui fait que l'efficacité diminue par rapport à la production de poudres utilisées dans des méthodes conventionnelles

telles que **Press & Sinter**. Pour cette raison, **le prix par kilo de poudre pour le marché de la FA** est beaucoup plus élevé que le prix pour le marché traditionnel de la métallurgie des poudres. Selon un rapport passé de Roland Berger, la concurrence accrue pour l'approvisionnement en poudre réduit les majorations actuelles et l'augmentation du volume de production réduit les coûts. À

titre d'exemple, le prix de la poudre d'acier pour la FA en 2013, qui était de plus de 90 euros/kg en moyenne, est tombé à moins de 50 euros/kg en 2021, ce qui reste encore cher, plus de deux fois le prix de la poudre d'acier traditionnelle. À mesure que l'industrie de la FA arrivera à maturité, les prix des matériaux se stabiliseront à des valeurs raisonnables sur le marché.

Ressources

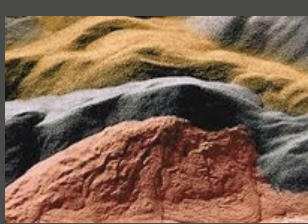
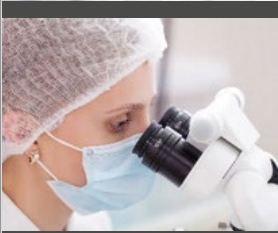
1. Kozlenkova, Irina; et al. (2015). «The Role of Marketing Channels in Supply Chain Management». Journal of Retailing.
2. Wieland, Andreas; Wallenburg, Carl Marcus (2011). Supply-Chain-Management in stürmischen Zeiten (in German). Berlin: Universitätsverlag der TU.
3. Eren Özceylan, Cihan Çetinkaya, Neslihan Demirel, Ozan Sabirlioglu (2017). Impacts of Additive Manufacturing on Supply ChainFlow: A Simulation Approach in Healthcare Industry.
4. Holmström, J.; Partanen, J.; Tuomi, J.; Walter, M. (2017). Rapid manufacturing in the spare parts supply chain: Alternative approaches to capacity deployment. J. Manuf. Technol. Manag.
5. [A Third Industrial Revolution \(2012\)](#).
6. Jason Dawes, Robert Bowerman, Ross Trepleton (2015). Introduction to the Additive Manufacturing Powder Metallurgy Supply Chain, Johnson Matthey Technology Review
7. [CSB: Dust Control, Housekeeping Failures Led to Fatal Hoeganaes Explosions \(2012\)](#)
8. Introduction to Press and Sinter Technology (2018). EPMA publications Online: [European Powder Metallurgy Association \(EPMA\) - Introduction to Press & Sinter Technology](#)
9. [Baby, Alan Sam \(2017\). 3D Printing and Supply chain : To be or not to be Disrupted.](#)



Kymera[®]

INTERNATIONAL

Pioneers in Material Science[™]



**Technology Leaders in Aluminum, Copper
and Titanium for Additive Manufacturing**

www.kymerainternational.com



ACuPowder

eckagranules[®]
Metal-Powder-Technologies



INNOBRAZE GmbH
für Löt- und Verschleißtechnik



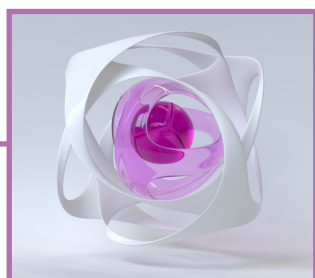
ReadingAlloys
advanced engineered materials[®]

SCM

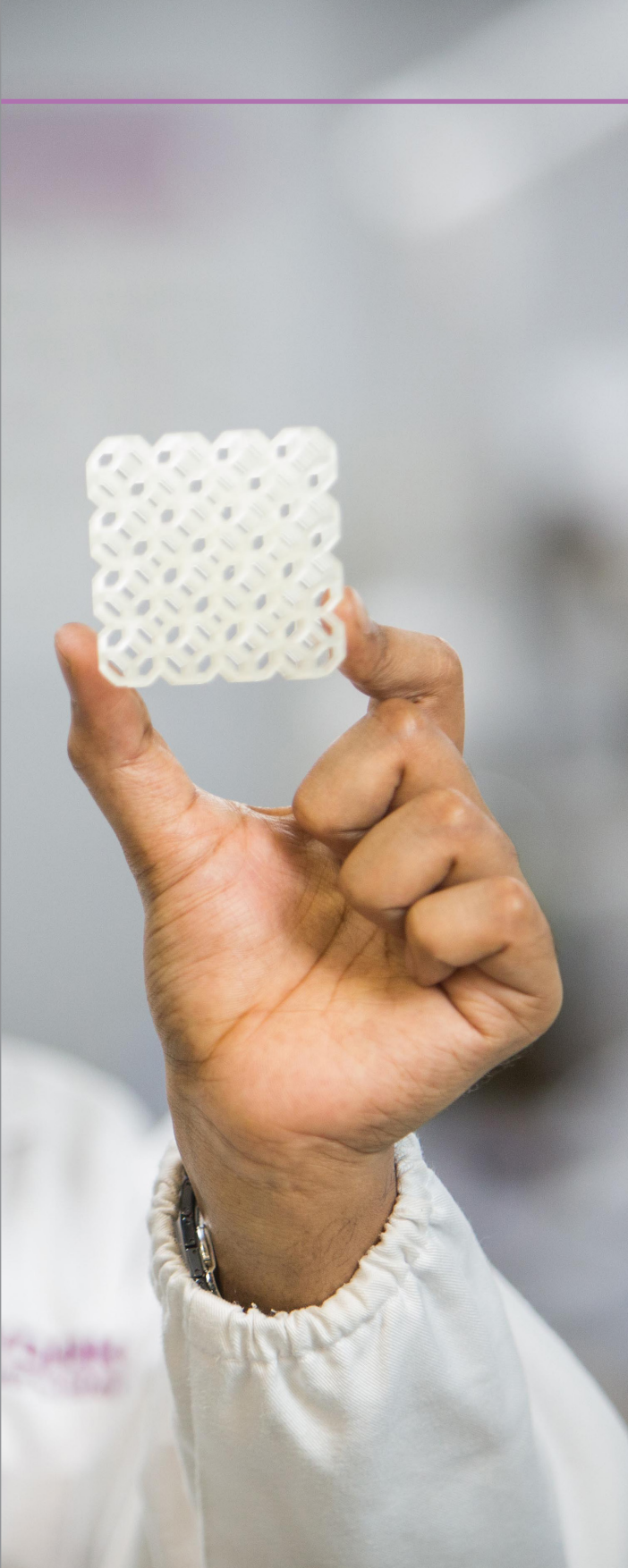
EVONIK LANCE UNE NOUVELLE LIGNE DE PRODUITS DE PHOTOPOLYMÈRES POUR L'IMPRESSION 3D



Capture: Evonik strengthens its market position in the long term by entry into photopolymer 3D printing technologies (©Evonik) Légende : Evonik renforce sa position sur le marché à long terme en entrant dans les technologies d'impression 3D (©Evonik)



Evonik poursuit l'expansion de ses activités dans le domaine de la fabrication additive. L'entreprise de chimie de spécialité a développé deux photopolymères pour les applications industrielles d'impression 3D et les présente sous les noms de marque INFINAM® TI 3100 L et INFINAM® ST 6100 L. Les deux matériaux prêts à l'emploi marquent le début d'une nouvelle ligne de produits de résines polymères adaptées aux technologies courantes de polymérisation en cuve telles que SLA ou DLP



« Avec cette nouvelle ligne de produits, nous entrons dans le courant des technologies photopolymères pertinentes pour le marché, renforçant ainsi notre position à long terme sur le marché en tant qu'experts en matériaux pour toutes les principales technologies d'impression 3D à base de polymères », déclare le **Dr Dominic Störkle**, Responsable du domaine de croissance de l'innovation en fabrication additive chez Evonik. « Avec les nouvelles formulations prêtes à l'emploi, nous poursuivons également notre campagne sur les matériaux et encourageons l'impression 3D à l'échelle industrielle en tant que technologie de fabrication tout au long de la chaîne de valeur. »

Nouvelle gamme de produits photopolymères

Le premier matériau haute performance de la famille de produits photopolymères d'Evonik conduit à une grande ténacité et à des pièces 3D résistantes aux impacts. La combinaison de ces propriétés fait de l'**INFINAM® TI 3100 L** la nouvelle norme pour la fabrication additive de composants industriels utilisant les technologies de polymérisation VAT telles que la SLA et le DLP. La ténacité des composants imprimés est de 30 J/m³ avec un allongement à la rupture élevé de 120 %. Le nouveau matériau peut donc résister à des chocs importants ou à des effets mécaniques permanents tels que la pression ou l'impact. La gamme d'applications possibles s'étend de l'industrie aux pièces automobiles et aux applications individuelles dans le secteur des biens de consommation, qui, outre des formes sans design, nécessitent de fortes charges mécaniques lors de l'utilisation des objets.

La deuxième formulation portant le nom de marque **INFINAM® ST 6100 L** établit une nouvelle référence dans la catégorie des résines polymères à haute résistance. Elle combine une résistance à la traction de 89 MPa, une contrainte de flexion de 145 MPa et une HDT de 120 °C, ce qui comble le vide matériel des photopolymères à ultra-haute résistance. Ces propriétés particulières font d'INFINAM® ST 6100 L le matériau de choix pour les applications qui nécessitent une résistance à haute température combinée à une résistance mécanique élevée.

« Avec INFINAM® TI 3100 L et INFINAM® ST 6100 L, nous avons amené les premiers matériaux photopolymères du groupe pour la fabrication additive à maturité sur le marché. Ce faisant, nous nous appuyons sur l'énorme expertise chimique de nos chercheurs en matière de développement et de formulation de composants. Sur cette base, nous pouvons offrir au marché un produit unique aux excellentes propriétés et aider nos clients à conquérir de nouveaux domaines d'application », explique le Dr **Rainer Hahn**, Responsable du segment de marché des photopolymères d'Evonik dans le domaine de croissance de l'innovation de la fabrication additive.



Photopolymères INFINAM® pour SLA et DLP

Les nouveaux photopolymères sont des formulations haute performance prêtes à l'emploi qui peuvent être traitées sur une large gamme de machines SLA et DLP courantes disponibles sur le marché.

Evonik regroupe son expertise en matière d'impression 3D dans le domaine de croissance de l'innovation de la fabrication additive du groupe. L'accent stratégique est mis ici sur le développement et la fabrication de matériaux de haute performance «prêts à l'emploi» avec des technologies communes. Dans ce contexte, Evonik a récemment réorganisé sa gamme de matériaux d'impression 3D prêts à l'emploi sous la nouvelle **marque INFINAM®**. Les collaborations avec les clients et les partenaires sont un important moteur d'innovation.

Pour donner un exemple, Evonik a acquis une participation minoritaire dans la société chinoise **UnionTech** au moyen de son unité de capital-risque fin 2020 afin d'obtenir un accès accéléré au marché pour les nouveaux produits photopolymères. Cette société basée à Shanghai est le leader du marché asiatique des imprimantes industrielles de très grande taille. Elle développe et fabrique des imprimantes, fournit des matériaux d'impression grâce à des filiales et propose la fabrication additive en tant que prestataire de services.

« Nous puisons dans les ressources nécessaires pour développer constamment de nouveaux matériaux, étendre nos capacités de production et apporter des compétences externes en interne. Toutes ces mesures créent le cadre général qui nous permet d'être à l'avant-garde. Nos années d'expertise dans la chimie des polymères sont la condition de base de notre succès. En outre, nous avons constitué au fil des ans un solide réseau de partenaires industriels. Au sein de ces réseaux, nous façonnons activement le marché et définissons les tendances afin d'avoir toujours une longueur d'avance », conclut **Störkle**.



Evonik regroupe son expertise en matière d'impression 3D. (©Evonik)

New photopolymer resins for impact-resistant 3D parts

We boost the chemistry of high-performance polymers and additives into ready-to-use 3D printing materials. Introducing INFINAM®, Evonik brings together more than 20 years of experience, highest quality standards and innovative strength to develop and manufacture custom-designed formulations for infinite 3D applications. INFINAM®—wherever infinity meets reality.

www.evonik.com/additive-manufacturing

INFINAM®  TI



 **EVONIK**
Leading Beyond Chemistry

2021
↓

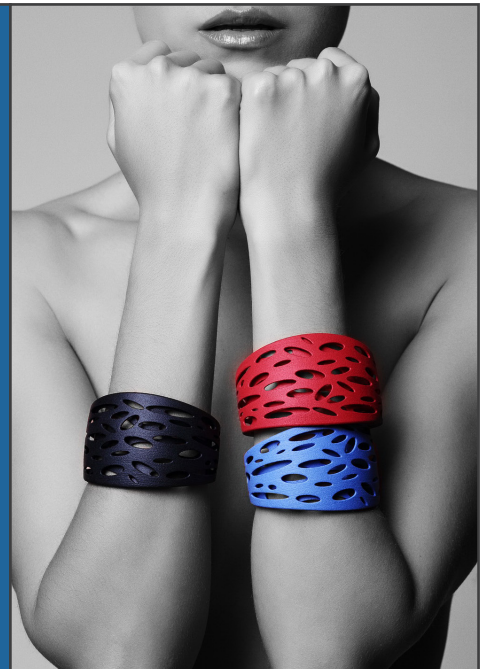
RECEVEZ LE MAG CHEZ-VOUS !

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/SUBSCRIPTION/

ANALYSE DU PROCESSUS DE TEINTURE AUTOMATISÉ POUR LES PIÈCES IMPRIMÉES EN 3D



Bracelets imprimés en 3D – colorés par CIPRES GmbH – Credit : CIPRES GmbH

Dans l'industrie textile, la teinture est reconnue comme un processus essentiel qui donne de la couleur aux tissus. Dans l'industrie de la fabrication additive, l'objectif ultime reste le même : donner de la couleur aux produits imprimés en 3D, mais le processus technologique qui permet de livrer ces produits finis n'est pas toujours bien décrit.

En vérité, pendant plusieurs décennies, la teinture en pot a été la norme pour les fabricants qui souhaitaient donner une certaine couleur aux pièces. Elle nécessite que l'opérateur dispose d'une marmite, d'un colorant textile et d'eau. Le colorant textile est mélangé à de l'eau préchauffée, puis les pièces sont immergées dans le bain de teinture pendant un certain temps avant d'être rincées. Malgré sa simplicité, le procédé a commencé à susciter quelques inquiétudes et questions :

- Le fait qu'il s'agisse d'une opération manuelle signifie que les opérateurs ont souvent besoin de plus de temps et de beaucoup de pots s'ils doivent produire en volume, sans compter que cela peut entraîner une augmentation du coût du produit final ;
- Reproductibilité incertaine. La géométrie complexe des pièces, l'épaisseur des parois ou la vitesse de brassage sont autant d'éléments qui peuvent affecter la façon dont les colorants pénètrent dans les pièces imprimées en 3D ;
- Que se passe-t-il si la couleur s'estompe lorsqu'elle est exposée à la lumière UV et à la chaleur ?
- Jusqu'à présent, nous n'avons vu aucune source confirmant que le colorant textile utilisé pour la teinture en pot convient effectivement aux pièces imprimées en 3D. Nous n'avons pas encore vu de certification ISO qui garantisse la sécurité des opérateurs qui utilisent ce procédé.

En mettant l'accent sur les processus automatisés qui ont été certifiés par des normes européennes et américaines, cet article vise à **faire la lumière sur les différentes technologies de FA** où il peut être exploité, à **décrire l'étape de teinture du post-traitement**, ainsi que quelques **exemples d'applications** dans l'industrie.

Quelle(s) technologie(s) de FA pour les colorants ?

En fonction du procédé de FA utilisé et de l'objectif de fabrication d'une pièce donnée, certaines tâches de post-traitement peuvent être privilégiées par rapport à d'autres.

En ce qui concerne la teinture, le processus de coloration a toujours été considéré comme étant problématique pour les pièces fabriquées par un procédé de frittage (**frittage laser sélectif, fusion sur lit de poudre**). C'est pourquoi les pièces imprimées en 3D qui ont été produites par frittage sont souvent mentionnées comme étant les principales pièces pouvant nécessiter une teinture.

Associer la teinture exclusivement au SLS peut s'expliquer par le fait que ce procédé de fabrication est l'un des procédés les plus couramment utilisés pour les applications industrielles, les composants structuraux en particulier. L'autre raison peut être le fait que **les colorants sont généralement limités à leur objectif esthétique ou à leur capacité à améliorer la résolution des objets**, alors que les développements récents dans le domaine révèlent qu'ils pourraient également conférer des **propriétés fonctionnelles aux composants imprimés en 3D**.

« Modifier les modules élastiques sous l'effet d'une irradiation lumineuse, induire des propriétés optiques et émissives dans les matrices ou conférer une sensibilité à la température ne sont que quelques exemples de matériaux stimuli-réactifs innovants qui peuvent être produits en combinant des colorants bien conçus avec les matrices imprimées 3D appropriées », peut-on lire dans une [recherche](#) intitulée «Functional Dyes in Polymeric 3D Printing».

Dans cette optique, les colorants peuvent offrir des propriétés spécifiques telles que la modification du comportement mécanique, l'émission de lumière, la perméabilité accordable, la mouillabilité contrôlée ou les caractéristiques mécanochromiques, selon la manière dont ils sont utilisés avec les techniques de photopolymérisation (SLA, DLP), d'écriture directe à l'encre, SLS ou FFF. Pour obtenir ces propriétés, ils sont généralement utilisés pendant le processus d'impression, ce qui signifie qu'ils ne peuvent pas être considérés comme une étape de post-traitement.

DyeMansion, le plus jeune de cette liste, a été fondé en 2013 et a commencé ses activités sous le nom de Trindo, une agence d'impression 3D qui vendait des coques de smartphones imprimées en 3D dans le corporate design de grandes entreprises. En 2015, lorsque l'équipe a développé sa première solution de coloration industrielle – mettant fin à leur aventure dans les smartphones –, Trindo est devenue DyeMansion et depuis, la société consacre son cœur de métier aux solutions de post-traitement des pièces imprimées en 3D.



Légende : Supports
imprimés en 3D roulement,
vis fileté et assemblage
de la maille – matériaux
: Rigid Clear, M2R-CL,
M2G-CL Armor et
M2G-DUR ProFlex ; Bague
extérieure, M2R-CL teintée
avec une concentration de
1% (60C et 30 minutes) –
Image via 3D Systems.



DYEMANSION DM60 – Solution de coloration pour l'industrie de la FA. Image via DyeMansion.

En 2004, lors de sa création, CIPRES était un fabricant de prototypes de frittage laser. En 2006, l'entreprise a décidé de se lancer dans la production en série de pièces imprimées en 3D et, depuis lors, elle concentre également ses activités au développement de techniques de coloration, d'unités de coloration et de solutions de finition de surface.



Image: Unité de coloration – Crédit: CIRPES GmbH

Girbau est l'entreprise qui suscite le plus notre intérêt dans cette courte liste. Très peu de communication est effectuée sur ses activités dans l'impression 3D. L'entreprise est reconnue pour la fabrication et la vente d'équipements de blanchisserie industrielle ainsi que pour son expertise dans la gestion de l'eau et le contrôle de la température. Basée à Vic, en Espagne, l'entreprise a été fondée en 1960 et est toujours dirigée par la famille Girbau. Avec un chiffre d'affaires annuel de 185 millions d'euros, Girbau emploie aujourd'hui plus de 1 000 collaborateurs, détient 15 filiales à travers le monde et est soutenue par 80 revendeurs.

Un échange avec **José Maria Maristany**, Responsable du programme Girbau dans l'industrie de la FA, nous a permis de découvrir que l'entreprise a commencé le développement d'une solution de teinture pour la FA en 2018, grâce à un projet de partenariat entre **Girbau lab** (plateforme d'innovation ouverte de Girbau) et **Hewlett Packard** (HP).

Le projet a donné vie à **DY130**, principalement destinée aux solutions d'impression 3D HP Jet Fusion 4210/4200 et seule solution de teinture automatisée



dédiée à la FA dans le portefeuille de l'entreprise. « Nous avons décidé de nous concentrer sur une solution de teinture en raison des synergies entre le savoir-faire traditionnel de Girbau en matière de [gestion de l'eau et contrôle de la température]. Nous travaillons actuellement sur des produits et services adjacents pour compléter notre solution de teinture et améliorer notre proposition de valeur », a déclaré Maristany à 3D ADEPT Media.

L'étape de teinture automatisée

de l'étape de post-traitement

Comme nous le mentionnons souvent dans nos dossiers, l'étape de post-traitement est une longue phase qui comprend de nombreuses tâches différentes que les opérateurs peuvent effectuer pour livrer le produit final souhaité.

Si vous êtes très familier avec l'impression 3D, alors vous savez probablement que la première étape du flux de post-traitement de l'impression 3D est le **nettoyage**. Elle intervient juste après le refroidissement et le décochage de la pièce. Cette étape reste primordiale avant d'effectuer la teinture pour éviter les tâches que pourrait laisser la poudre blanche et obtenir une pièce très fonctionnelle.

(Néanmoins, si des tâches apparaissent après le processus de teinture, un post-traitement de microbillage ou de grenaillage doit être effectué ; dans le cas où les pièces esthétiques doivent être fournies, un grenaillage après le processus de teinture est recommandé pour améliorer l'aspect esthétique des pièces).

Donc, normalement, juste après la phase de nettoyage, le processus de teinture est relativement simple à réaliser et se compose de deux phases principales. « Dans la première phase, les pièces sont immergées dans un bain de teinture avec des conditions de température spécifiques pendant une période de temps prescrite. Dans la deuxième phase, [l'opérateur] rince les pièces à l'eau », explique Maristany.



Production workflow

Production workflow					Process
	Place into laundry bags	Dyeing process	Drying	Sandblasting / shot peening (optional)	Prepare dyeing solution
Operation time	5 min/batch	0 min/bath	10 min/batch	30 sec-5 min per piece	5 min/per 5 batch
Process time	5 min/batch	2.5 hr/batch*	2-3 hr/batch	30 sec-5 min per piece	40 min/per 5 batch

S'il y a une installation d'eau chaude, les temps de traitement indiqués ici seront plus rapides, réduisant le temps de traitement à environ 45 minutes. Source : Girbau. – **Tableau en anglais**

Les équipes de Girbau et HP qui ont travaillé sur le développement de la solution Girbau **DY130** ont expliqué dans un rapport que, pour obtenir l'uniformité de la couleur des pièces par ce procédé, tous les détails et cavités des pièces sont atteints. Non seulement le processus est répétable, mais l'opérateur n'est pas limité par la taille d'un petit pot comme c'est le cas avec la teinture en pot. Par conséquent, de nombreuses pièces peuvent être teintées en même temps.

Toutefois, deux recommandations principales sont à noter :

La première est que « pour éviter les marques physiques produites par le mouvement des pièces pendant le processus de séchage, l'utilisation de sacs à linge pour séparer les pièces (de poids différents) d'un même lot est fortement recommandée. » Et, « comme le processus se déroule dans l'eau, il est important de garder à l'esprit que, comme les pièces absorbent de l'eau pendant le processus, leurs propriétés dimensionnelles et mécaniques peuvent changer légèrement. Le gauchissement des pièces fines et flexibles pourrait

être affecté. »

Un examen plus approfondi de la solution de coloration DY130 de Girbau révèle que les **programmes prédéfinis** de la solution comprennent le mélange du bain de teinture, le conditionnement du bain de teinture, la teinture à 60° C, l'élimination du bain de teinture et le nettoyage.

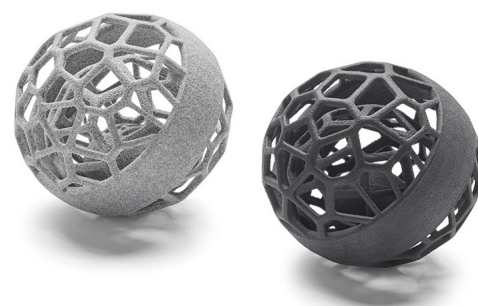
En ce qui concerne les matériaux que leur solution peut traiter, l'expert de Girbau déclare que « HP a validé [leur] solution pour les matériaux PA11 et PA12. La solution DY130 pourrait être utilisée pour teindre des pièces produites avec des solutions d'impression 3D industrielles similaires, comme le SLS. » Même si l'information n'a pas encore été confirmée, la solution pourrait également être compatible avec la **technologie SAF** récemment lancée par Stratasys.

Enfin, les opérateurs pourraient avoir besoin d'une machine dédiée par couleur, mais le changement de couleur reste faisable en utilisant un détergent recommandé et certaines activités opérationnelles.

Applications and Outlooks

Les teintures pour pièces imprimées en 3D ont prouvé leur pertinence dans les applications où un aspect plaisant à voir est crucial. Les produits de consommation comme les lunettes, les montres ou les figurines, certaines pièces médicales utilisées pour la formation, ainsi que certaines pièces automobiles et industrielles sont quelques exemples d'applications qui peuvent nécessiter ce processus (facultatif) de l'étape de post-traitement.

Même si la teinture automatisée semble présenter de nombreux avantages, les opérateurs doivent toujours être prudents lorsqu'il s'agit de l'utiliser pour des pièces qui nécessitent un contact à long terme avec la peau. Enfin, ceux qui étaient habitués à la teinture en pot conventionnelle dépeignent souvent le fait qu'avec de telles avancées technologiques, une certaine touche humaine se perd. Que ce soit vrai ou non, en fin de compte, ils ne doivent pas oublier que c'est à eux de décider s'ils veulent opter pour un processus de teinture automatisé ou continuer avec un processus traditionnel de teinture en pot.



*Pièces imprimées en 3D produites sur MJF
- Coloured par Girbau - Avec l'aimable
autorisation de Girbau*

New Challenge Best Quality



Gas-Atomized Titanium Powder

TILOP

Titanium Low Oxygen Powder

OTC has been producing titanium powder since 1991.

The manufacturing process employs the gas atomization method, which is the most suitable for mass production.

As one of the largest manufacturers of aerospace grade titanium sponge, we provide a stable supply high quality titanium powder that meets all your requirements.

Possible powder for production

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

Markets & Applications

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



Appearance



OSAKA Titanium technologies Co.,Ltd.

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

Contact Address High-performance Materials Sales and Marketing Group

Tokyo Office / Sumitomo Hamamatsucho Building 8F, 1-18-16 Hamamatsucho, Minato-ku, Tokyo 105-0013, Japan
Tel:+81-3-5776-3103, Fax:+81-3-5776-3111 E-mail: TILOP@osaka-ti.co.jp

“COUNTRY FOCUS”: LES PAYS-BAS

Les Pays-Bas sont-ils la plaque tournante de l'impression 3D pour la construction ?

Dans le cadre de nos efforts continus pour fournir aux entreprises des informations qui les aideront à faire le saut sur un nouveau marché, ce volume de 3D ADEPT Mag se concentre sur les «Pays-Bas». Pour rappel, le numéro de janvier/février de 3D ADEPT Mag dressait un état des lieux du marché de la fabrication additive dans ce pays tandis que le numéro de mars/avril de 3D ADEPT Mag abordait la réalité actuelle de «l'électronique imprimée pour les applications automobiles». Le présent article met en lumière cinq choses que vous devriez savoir sur l'impression 3D pour la construction aux Pays-Bas.

Dans l'état des lieux du marché de l'impression 3D aux Pays-Bas, des recherches ont révélé qu'avant la création d'entreprises d'impression 3D dans tout le pays, le royaume a d'abord vu des entreprises orientées vers le grand public tenter de réaliser certaines applications avec l'impression 3D, ainsi qu'un accent particulier sur l'impression 3D de construction. En réalité, les premières tentatives de construction par impression 3D de béton sont apparues au milieu des années 90 dans les installations de Weber Beamix, mais le marché n'était tout simplement pas prêt pour cela, à des fins de commercialisation.

Au fil du temps, des organisations et des entreprises du monde entier ont commencé à explorer les possibilités offertes par l'impression 3D pour la construction, ce qui n'est pas passé inaperçu auprès des leaders néerlandais dans ce domaine. Afin de rester compétitifs, un groupe de ces géants qui comprend Ballast Nedam, BAM, Bekaert, Concrete Valley, CRH, CyBe, SGS Intron, Verhoeven Timmerfabriek Nederland, Weber Beamix, Van Wijnen, Witteveen+Bos et stichting SKKB a décidé d'unir leurs forces pour créer un pavillon qui présentera une imprimante 3D massive robotisée pour béton à l'Université de technologie d'Eindhoven (TU/e). C'était en 2015. Depuis, ces entreprises soutenues par le gouvernement et les universités se sont fixé pour objectif de faire des Pays-Bas le leader de l'impression 3D de la construction.

Aujourd'hui, plusieurs entreprises, conscientes du potentiel de l'impression 3D pour le secteur de l'architecture et de la

construction ont émergé. Lorsqu'on observe le marché néerlandais de l'impression 3D aujourd'hui, on ne peut s'empêcher de se demander si l'impression 3D pour la construction n'est pas en train de devenir un facteur de différenciation clé permettant au pays de se démarquer sur le marché mondial de l'impression 3D.

Voici 5 choses que nous avons remarquées à propos de l'impression 3D dans la construction aux Pays-Bas et que nous n'avons pas (encore) vues dans d'autres pays européens.

1- Eindhoven accueille la première installation industrielle européenne d'impression 3D de béton

Il y a deux ans, un groupe de partenaires comprenant Saint-Gobain Weber Beamix, BAM Infra, Bekaert, Witteveen+Bos, l'Université de technologie d'Eindhoven et Van Wijnen ont décidé d'unir leurs forces pour ouvrir la première installation industrielle d'impression 3D de béton en

Europe. Comme vous pouvez le voir, certaines de ces entreprises ont pris part au «projet de pavillon» à TU/e.

L'usine d'impression 3D était située à Eindhoven, une ville considérée comme la «capitale technologique» du pays. Pour les partenaires, cet «emplacement industriel commercial pour l'impression 3D d'éléments en béton pour la construction» est censé servir de lieu de recherche, d'endroit où ils peuvent imprimer en 3D de manière commercialement durable, et de point de départ pour de nombreux projets, dont le «Projet Milestone» que vous verrez ci-dessous.

Au cours du dernier trimestre de l'année dernière, une autre entreprise néerlandaise, Vertico, a ouvert son installation d'impression 3D de béton dans la ville. Ce qui fait la particularité de Vertico, c'est qu'elle se concentre sur les détails fins et les applications architecturales, par opposition aux applications d'impression plus épaisses dans les grandes structures.

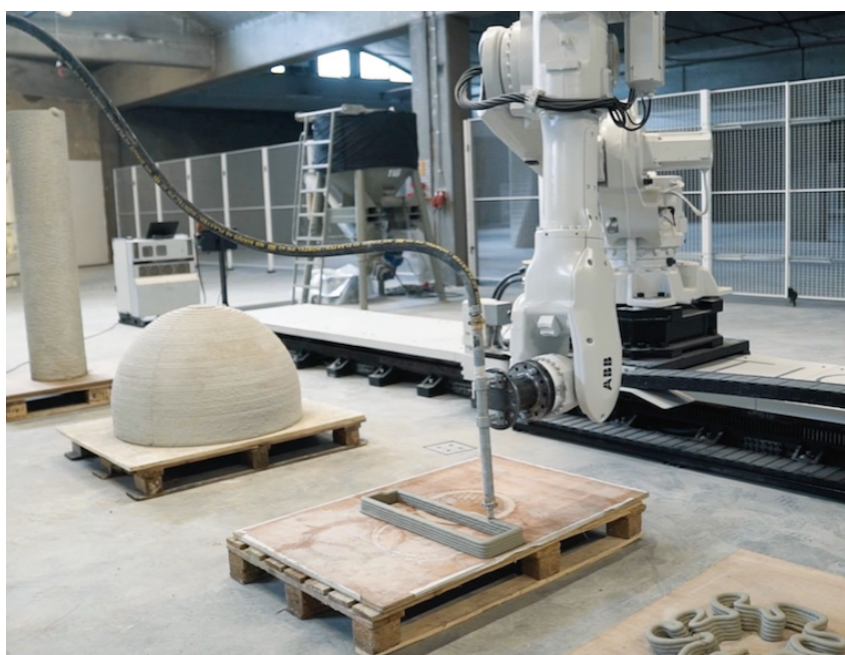


Image : Usine de Vertico à Eindhoven

2- Projet Milestone

Dans ce secteur, vous savez que les entreprises joignent le geste à la parole lorsque vous voyez leurs promesses se concrétiser. Et quand elles tiennent leurs promesses, ce n'est pas seulement un jalon pour elles, c'est une illustration/un exemple de ce que la technologie peut faire pour une industrie verticale spécifique.

En 2018, un an avant d'annoncer l'ouverture de l'usine d'impression 3D, le projet Milestone a été annoncé. Son objectif ? Imprimer en 3D cinq maisons qui seront mises en location à Eindhoven. Au cœur du projet, on retrouve l'Université technologique d'Eindhoven, l'entrepreneur Van Wijnen, Vesteda (gestionnaire immobilier), Saint Gobain Weber Beamix (entreprise de matériaux) et Witteveen+Bos, une société d'ingénierie. Vesteda, l'acheteur de ces maisons, les louera à ceux qui seront intéressés. Les architectes Houben & Van Mierlo ont conçu le projet et se sont inspirés de «blocs erratiques dans un paysage vert».

Le 30 avril 2021, les partenaires ont terminé l'une des maisons imprimées en 3D. Les premiers locataires, un couple néerlandais, ont reçu la clé et expérimentent actuellement la vie dans cette maison nouvellement construite.



Image : Maison imprimée 3D – crédit : projet Milestone

3- Le projet Bridge

Un autre projet qui prend actuellement forme aux Pays-Bas et qui mérite d'être mentionné est le projet Bridge. Présenté pour la première fois lors de la «Journée de l'innovation» à RWS en octobre 2018, il s'agit d'une initiative du Rijkswaterstaat, des Pays-Bas et du Studio Michiel van der Kley en collaboration avec l'Université technique d'Eindhoven. Elle consiste à appliquer de nouvelles techniques d'impression 3D en béton dans l'environnement du bâtiment.

L'idée originale était d'imprimer un tunnel et Nijmegen avait été choisie pour la construction. L'idée était tout à fait opportune car la ville – située à l'est du pays – souhaitait construire quelque chose d'accrocheur et d'émblématique après sa nomination en tant que

capitale verte de l'Europe en 2018. Cependant, lorsque les partenaires ont trouvé l'emplacement exact de la construction, «il est devenu évident qu'un tunnel ne serait pas si facile, un pont serait cependant le bienvenu».

En avril 2021, de nouvelles photos ont été partagées par les partenaires du projet. Le projet n'est pas encore terminé, mais ce qu'ils ont construit jusqu'à présent mesure déjà 29,5 mètres de long. Jusqu'à présent. À ce jour, le plus long pont en béton imprimé en 3D qui a été certifié par le Guinness World Records a été construit en Chine et mesure 26,3 mètres de long. Nous n'en sommes qu'à la phase d'impression du «projet de pont» et il a déjà battu ce record.



Image via Bridge Project

4- Le plus grand nombre d'entreprises d'impression 3D de construction en Europe – et probablement dans le monde

La liste actuelle des entreprises pionnières en matière de maisons imprimées en 3D et de construction automatisée est exhaustive. Entre celles qui sont nées pendant la pandémie et celles qui ont fait faillite, nos dernières recherches montrent que les Pays-Bas abritent actuellement le plus grand nombre d'entreprises d'impression 3D qui se concentrent partiellement ou entièrement sur la construction.

Le pays accueille actuellement 10 entreprises qui ouvrent la voie à la construction durable grâce à l'impression 3D : Twente Additive Manufacturing, CyBe Construction, Vertico, BAM et Weber Beamix, Coconstruction, CONCR3DE, Rohaco, DUS Architects, MX3D et Aectual.

5- Le «climat économique actuel» semble favorable au secteur de la construction

Il est un peu difficile de se pencher sur l'impression 3D dans le domaine de la construction sans jeter un coup d'œil à « l'état général du secteur de la construction dans une région donnée ». Nous ne nous sommes pas plongés dans le cadre juridique et la juridiction connexe – nous vous laissons cette partie du travail – ; mais selon Lexology, une source complète de mises à jour, d'analyses et de perspectives juridiques internationales, « le climat économique actuel a été favorable au secteur de la construction. Les tendances intéressantes comprennent le réaménagement des bâtiments existants, la durabilité/circularité et l'innovation. La demande de logements, de centres de logistique et de données et de concepts de bureaux flexibles est également élevée et les investisseurs ont montré un appétit pour les projets financés par anticipation. En outre, les nouvelles règles fiscales conduiront probablement à différentes manières de structurer les projets, ce qui aura une incidence sur le nombre d'entités utilisées, le financement et le moment du transfert juridique ». Vous pouvez en savoir plus sur le cadre juridique en consultant leur article consacré à la construction aux Pays-Bas.

Sur la base de ces cinq points, pouvons-nous légitimement affirmer que l'industrie de l'impression 3D pour la construction en Europe avance à un bon rythme et que les Pays-Bas font définitivement partie des pays qui marquent l'histoire ?



Image: CyBe Construction



Image: Agoria

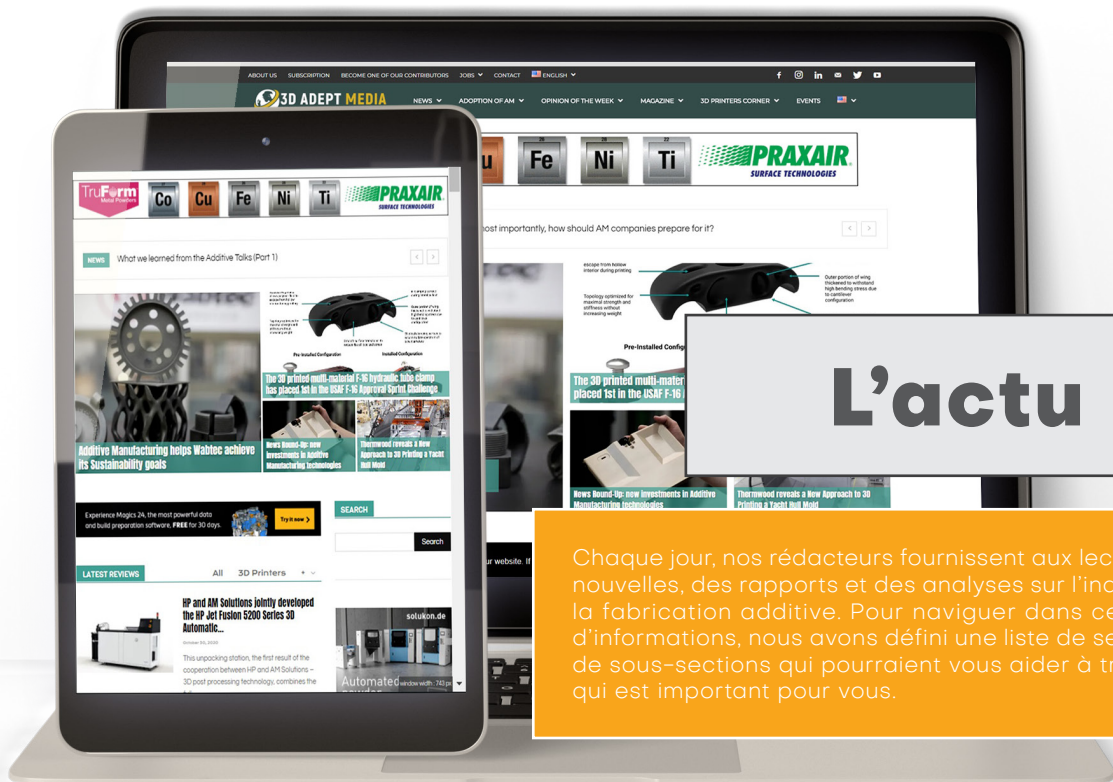
TÉLÉCHARGEZ VOTRE COPIE GRATUITE DU DERNIER NUMÉRO



SCAN ME



WWW.3DADEPT.COM



L'actu FA

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

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

Envoyez un email à contact@3dadept.com



NEWS



RAPPORTS



PROMOTIONS



COLLABORATION



3D ADEPT MEDIA
All about Additive Manufacturing

contact@3dadept.com

www.3dadept.com

+32 (0)4 86 74 58 87

Rue Borrens 51, 1050 Bruxelles - BELGIQUE

SPORT & FABRICATION ADDITIVE: UNE QUESTION DE PERFORMANCE

Il existe environ 8 000 sports et jeux sportifs autochtones. Dans cette liste, plus de 800 sports seraient actuellement pratiqués régulièrement dans le monde et environ 200 sports sont reconnus par des fédérations nationales et internationales. Cependant, les technologies de FA n'ont déjà joué un rôle clé que pour 12 disciplines sur ces 200. Quelles sont ces applications de la FA ? Quelles sont les technologies de FA qui les rendent possibles ? Quels sont les défis et les solutions possibles qui peuvent aider les entreprises du secteur du sport – et, à terme, les fournisseurs de technologies de FA – à aller de l'avant ?

«**Rendre le sport meilleur**» a été le credo direct ou indirect de la plupart des professionnels travaillant ou aspirant à travailler dans l'industrie du sport, et ce, quelle que soit l'activité sportive. Pour les professionnels chargés de cette mission, le moyen d'arriver à leurs fins a souvent été de s'appuyer sur les capacités des technologies ; et croyez-moi, il y en a beaucoup. L'une des premières solutions technologiques destinées à l'industrie du sport a été inventée dans les années 1950 : un traceur du temps de course. Au fil du temps, plusieurs solutions technologiques conçues pour améliorer les performances dans un large éventail de disciplines ont vu le jour. Malgré le fait que la fabrication additive a été inventée dans les années 1900, les premières applications qui montrent le potentiel de cette technologie pour l'industrie du sport sont apparues en 2010. Il s'agissait d'abord des applications pour les sports automobiles, suivies par les chaussures.

Depuis lors, les entreprises et les professionnels de la fabrication additive, ainsi que les entreprises sportives et les chercheurs, continuent d'explorer les possibilités offertes par cette technologie dans divers domaines de l'industrie du sport.

Au fil du temps, un large éventail d'applications est révélé, pour diverses technologies, mais une discussion récente avec un fan de sport et de technologie soulève quelques questions sur les défis que toutes les parties prenantes pourraient rencontrer lorsqu'il s'agit d'adopter la FA dans le sport.



Cette discussion est d'une importance capitale maintenant, car le marché actuel est encore confronté à une faible intégration de la FA dans la recherche sportive. Selon **Erika Berg**, Directrice générale du développement commercial chez **Carbon**, la raison en est peut-être que « la recherche sportive s'est largement concentrée sur la collecte de données pour comprendre les performances, la réactivité et les capacités des athlètes. La fabrication additive a généralement été utilisée pour le prototypage de pièces représentatives (et non finales) et les petites séries, tout en manquant de l'intégration logicielle et des outils de conception numérique qui sont nécessaires pour créer ou modifier des pièces sur la base de données de recherche empiriques – jusqu'à présent. »

Cet article vise à faire la lumière sur certaines applications industrielles qui ont été rendues possibles grâce aux technologies de FA, à révéler les principales technologies de FA utilisées dans le domaine et à discuter des défis pour les entreprises et les fabricants (ou ingénieurs) du secteur du sport qui explorent l'utilisation de la FA pour de meilleures applications sportives.

Quelles applications de la fabrication additive pour quelle discipline sportive ?

Il existe environ 8 000 sports et jeux sportifs indigènes. Dans cette liste, plus de 800 sports sont actuellement pratiqués dans le monde de manière régulière et environ 200 sports sont des sports reconnus par des fédérations nationales et internationales. Dans cette courte liste de 200 sports reconnus, les technologies de fabrication additive ont déjà joué un rôle clé dans 12 disciplines.

Les technologies de FA englobent tout ce qui va de la conception à l'étape de post-traitement de la fabrication. Même si toutes ces disciplines nécessitent l'utilisation d'imprimantes 3D industrielles ou professionnelles pour leurs applications, il est juste de noter que les équipes d'ingénieurs derrière chacune de ces applications peuvent également avoir utilisé des outils logiciels dédiés, et d'autres équipements nécessaires à la réalisation du produit final.



Disciplines	Applications
1. Course/marche	Semelles, semelles intermédiaires et chaussures imprimées en 3D
2. Cyclisme	Selles, cadres et supports de vélos
3. Badminton	Racket
4. Sports mécaniques	Voitures ou moteurs de course, moteurs
5. Hockey	Casques et vêtements
6. Ski	Lunettes de protection, casque ou snowboards
7. Golf	Clubs de golf et des marqueurs de départ de blocs
8. Surf	Planches de surf
9. Ballet	Paire de ballerines; vêtements
10. Sports nautiques tels que la voile	Scooter sous-marin, éléments clés des bateaux et lunettes de plongée
11. Sports de combat tels que la boxe	Protège-dents ou protège-tibias
12. Football	Chaussures ou protège-tibias



Selle imprimée en 3D produite par Carbon. Image via Carbon



Projet Puma - Semelles intérieures imprimées en 3D - Image via Nolan KIM



Casque Riddell - produit en utilisant la technologie DLS de Carbon - Avec l'aimable autorisation de Carbon



Chaussures de ballet imprimées en 3D - Image : Hadar Neeman

Il est intéressant de noter que James Novak et Andrew R. Novak, chercheurs à l'Université Deakin et à l'Université de technologie de Sydney en Australie, ont publié une étude intitulée «*is AM improving performance in Sports ?*» dans le Journal of Sports Engineering and Technology. Ensemble, ils ont identifié douze sports dans lesquels la FA a déjà prouvé qu'elle jouait un rôle clé.

Dans leur résumé, les deux chercheurs expliquent que le sport est une industrie qui peut bénéficier des possibilités offertes par la fabrication additive (FA) et ils reconnaissent le rôle important des médias dans la présentation de l'adoption croissante de la technologie dans les produits sportifs.

Même si nous ne pouvons pas confirmer que les douze sports évoqués dans le paragraphe ci-dessus sont les mêmes que ceux que les chercheurs ont identifiés, il est intéressant de noter qu'à travers la littérature, le domaine de la course/marche est celui qui a vu le plus grand nombre d'applications de la FA, suivi du cyclisme et du badminton.

Néanmoins, sur la base de notre couverture médiatique des applications de la FA dans l'industrie du sport, nous nous sommes rendu compte que les sports motorisés restent le domaine qui offre le plus d'applications de la FA, suivi de la course/marche, et du cyclisme.

Ces représentations contrastées de la FA dans le sport sont compréhensibles étant donné que l'analyse et l'examen des chercheurs ont été effectués sur quatre bases de données différentes, et «*conformément au protocole PRISMA-P (Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols) 2015*». De plus, leurs résultats se sont limités aux recherches et articles publiés entre janvier 1984 et mai 2019, exclusivement rédigés en anglais alors que nos recherches ont couvert les applications de la FA jusqu'à aujourd'hui.

Néanmoins, nos questions restent les mêmes. Le sport peut être une industrie verticale clé qui pourrait voir une adoption croissante des technologies de FA, mais quelles sont les technologies de FA qui peuvent permettre des applications dans ces disciplines ? Plus important encore, quels sont les indicateurs de performance clés à prendre en compte pour évaluer les capacités des technologies

de FA dans ces disciplines ?

Quelles technologies de fabrication additive pour quelle application ?

D'un point de vue technologique, les chercheurs et les couvertures médiatiques mettent souvent l'accent sur l'impact des technologies de numérisation 3D, des outils logiciels de conception et des imprimantes 3D pour réaliser les applications souhaitées. Nous avons rarement vu le type d'équipement de post-traitement mentionné, même si nous pensons qu'il joue également un rôle important dans la réalisation du produit final.

En ce qui concerne les imprimantes 3D, on note une utilisation flagrante des technologies de fusion à lit de poudre comme le frittage laser sélectif (SLS) ou la fusion laser sélective (SLM), l'impression 3D FFF comme c'est le cas pour les vêtements de hockey d'Athletic Knit ou les protège-dents, ainsi que les technologies à base de liquide comme la Digital Light Synthesis™ de Carbon.

La **Digital Light Synthesis™** de Carbon a été au cœur de plusieurs produits sportifs, notamment plusieurs chaussures adidas (les semelles intermédiaires sont imprimées en 3D pour les chaussures adidas), les selles de vélo Specialized® ou le revêtement de casque de hockey certifié NHL imprimé en 3D. En bref, la technologie de l'entreprise permet de fournir des « **produits sportifs à usage final [qui] intègrent les avancées technologiques et les conceptions basées sur les données** ».

Selon **Erika Berg**, Directrice générale du développement commercial chez Carbon, la Digital Light Synthesis™ de l'entreprise, alias Carbon DLSTM, utilise « *la projection de lumière numérique, des optiques perméables à l'oxygène et des résines liquides programmables pour produire des pièces aux propriétés mécaniques, à la résolution et à la finition de surface exceptionnelles* ». La technologie Carbon DLSTM permet aux ingénieurs et aux concepteurs d'itérer plus rapidement, de livrer des projets avec moins de risques et de réimaginer radicalement leurs produits en consolidant les pièces, en réduisant le poids, en introduisant des géométries impossibles ou des produits numérisés personnalisés à l'échelle. »



Erika Berg – Directrice générale du développement business chez Carbon

Pour que cette technologie soit efficace, Berg a déclaré qu'elle devait être combinée à des solutions dédiées qui comprennent des matériaux et des logiciels de conception.

Quelles que soient les technologies de FA utilisées, la première chose à savoir est probablement comment identifier une application de FA dans une discipline sportive. Il va sans dire qu'identifier où et quand la FA peut jouer un rôle clé varie souvent d'un expert à l'autre, et d'une industrie à l'autre.

Parfois, l'identification de ces applications commence au niveau de la recherche, comme nous l'avons vu avec **Nolan Kim**, ingénieur d'application chez **Desktop Metal**, qui a axé son projet de thèse sur l'amélioration des performances de course à pied grâce à la conception de treillis imprimés en 3D.

Une grande partie du travail de Kim a été consacrée à la semelle intermédiaire, une section épaisse de mousse située entre la semelle intérieure et la semelle extérieure. Cette partie suscite souvent beaucoup d'intérêt dans la recherche sur les performances en course à pied.

En effet, « tout comme les hanches jouent un rôle essentiel dans le transfert d'énergie entre les parties supérieures et inférieures de notre corps, la semelle intermédiaire sert de médiateur à l'énergie et aux forces produites entre chaque pas de course. Son grand volume par rapport au reste de la chaussure crée un espace propice à la mise en œuvre d'une technologie réactive et renforce l'impact des propriétés mécaniques d'un matériau », explique Kim.

« Avant l'impression 3D, la nature du moulage par injection interdisait l'intervention de toute modification interne – le contrôle était limité au périmètre extérieur de la semelle intermédiaire et, par conséquent, une grande partie des avantages en termes de performances dépendaient fortement de la mousse elle-même. Aujourd'hui, grâce à la technologie additive, l'anatomie interne de la semelle intermédiaire peut être considérée comme un vide à remplir avec des liens de structures géométriques très variées qui peuvent offrir des caractéristiques bénéfiques telles qu'un retour d'énergie et

une stabilité élevés. Si l'on examine les développements récents, toutes les innovations perturbatrices dans le domaine des chaussures de course proviennent de composants intégrés tels que des plaques de fibre de carbone, des coussins d'air et des fils de tension. Cette situation incite incontestablement à l'utilisation de méthodologies additives dont l'objectif même réside dans une liberté de conception illimitée et une contrôlabilité structurelle inégalée. La capacité d'avancement s'accroît avec une plus grande fluidité dans la construction de la conception », ajoute-t-il.

D'autre part, du point de vue des équipementiers, les technologies sont évaluées en permanence par des experts internes afin de découvrir comment elles peuvent fournir les meilleurs produits possibles. Une conversation avec **Mike Yagley**, Vice-Président de l'innovation et de l'Intelligence Artificielle chez COBRA Golf, fabricant de clubs et d'équipements de golf, a révélé qu'avant de se tourner vers les technologies de FA, les moulages à cire perdue et le forgeage sont généralement les principaux processus de fabrication conventionnels envisagés pour la fabrication de clubs de golf.

Seulement voilà, pour un objet relativement simple qui se compose d'une tête, d'un manche et d'un grip, le processus de fabrication est loin d'être simple.

« La tête de club à elle seule nécessite environ 400 personnes pour être effectivement réalisée ». Prenant l'exemple de la tête de club seule, il ajoute : « le fait est que ce qu'il advient de la pièce de métal après le moulage se complique car elle nécessite de nombreux processus avant d'obtenir le produit final : meulage, polissage, finition, découpe de rainures, travail à la main, parfois chromage ou peinture, [pour ne citer que quelques tâches] ». Certaines têtes de club fabriquées en fibre de carbone, par exemple, nécessitent beaucoup de travail manuel. La préparation de la surface et la pose du bleu sont des opérations manuelles. La forme de la tête est très complexe, il n'y a pas de surfaces planes, ce qui signifie qu'il est très difficile d'automatiser ce processus ou même la phase de post-traitement de la fabrication. »

Par conséquent, afin de réduire le cycle de développement du produit, l'équipe COBRA a décidé de se tourner vers la FA, et dans cette démarche, elle a décidé de s'appuyer sur la technologie HP Multi-Jet Fusion.



Mike Yagley, VP de l'Innovation et de l'IA chez COBRA Golf

Les défis que les entreprises sportives peuvent rencontrer lorsqu'elles utilisent les technologies de FA : le cas de COBRA Golf.

Lorsque vous avez décidé que la FA est la voie que vous souhaitez suivre dans votre parcours de fabrication, l'étape suivante peut être assez intimidante. En effet, pour un marché de niche comme la FA, trouver 12 disciplines sportives où la FA peut potentiellement perturber le marché est un bon début, mais ce n'est pas suffisant.

Il convient de faire la différence entre les applications qui résultent d'une collaboration ponctuelle pour explorer certaines technologies, ou pour des actions ad hoc, et les applications qui peuvent conduire à des développements commerciaux. En fin de compte, c'est ce dernier argument qui compte le plus et qui amène les équipementiers à se poser la question suivante : « Compte tenu de l'évolution rapide des demandes des clients et des exigences croissantes en matière de performance des produits, comment puis-je améliorer mes produits pour rester compétitif ? »

« Comme les améliorations sont visibles à chaque itération et que des compromis infinis peuvent

être étudiés grâce aux simulations numériques, il peut être difficile pour les clients de savoir quand verrouiller une conception et commercialiser un produit. Il y a un équilibre à prendre en considération lorsqu'il s'agit d'établir une nouvelle norme ou un nouveau niveau de performance sur un marché donné, tout en établissant un précédent et en obtenant un avantage commercial en tant que premier arrivé », déclare Erika Berg de Carbon.

Dans le cas de COBRA Golf par exemple, Yagley nous a dit qu'ils avaient besoin de fabriquer un produit viable mais aussi de mettre en œuvre un processus ; et seulement après, voir si et comment il était possible de livrer une collection de produits imprimés en 3D qui pourraient être commercialisés.

C'est la raison pour laquelle 2020 a d'abord vu un **putter** avec une tête imprimée en 3D et fabriquée à l'aide de la technologie **HP Metal Jet**. Ce produit les a aidés à évaluer réellement les capacités de la technologie, et ce qu'ils aimeraient améliorer. Selon l'expert, ce qui fait une différence essentielle avec ce qu'ils avaient l'habitude de faire avec les seuls procédés de fabrication conventionnels, c'est l'étape du post-traitement. Cette fois, « les

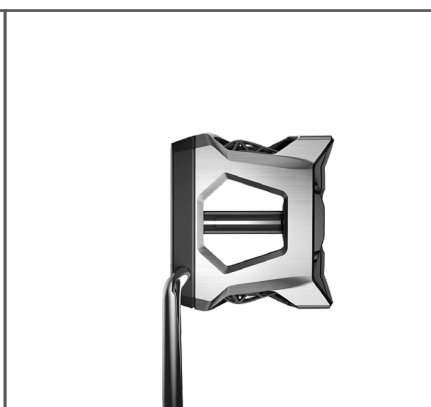
surfaces de la tête imprimée en 3D sont usinées par CNC pour appliquer la finition cosmétique finale, et garantir le produit fonctionnel le plus précis. »

En outre, au niveau de la conception, le nombre d'itérations de conception que l'équipe Cobra peut réaliser via la FA est nettement inférieur aux itérations qui peuvent être réalisées via les processus de fabrication conventionnels. La conception finale d'une pièce, par exemple, peut nécessiter **environ 50 itérations** qui peuvent être réalisées sur une période d'un an, alors qu'en utilisant des pièces moulées et forgées comme auparavant, l'équipe pourrait passer plusieurs années sur une seule conception.

Néanmoins, les leçons tirées de ce cycle de développement de produit et de la mise en œuvre du processus – y compris le fait que tous les composants ne peuvent pas être fabriqués par des procédés traditionnels – aident l'équipe Cobra à envisager une collection de produits imprimés en 3D. En fait, le 20 mai 2021, l'équipementier est officiellement entré sur le marché des putters avec **la série imprimée 3D KING**, sa première ligne complète de putters multi-matériaux imprimés en 3D.



AGERA Model – Face – Crédit: Cobra PUMA GOLF



AGERA Model – Putter – Crédit: Cobra PUMA GOLF



AGERA Model – vue de derrière – Crédit: Cobra PUMA GOLF

Quels Indicateurs clé de performance (ICP) faut-il prendre en compte pour analyser la performance d'un produit imprimé en 3D ?

La dernière évaluation qu'effectuera quiconque exploite les technologies de FA, consistera à déterminer si la FA était un meilleur candidat à la production par rapport aux processus de fabrication conventionnels. Les questions auxquelles l'équipementier tentera de répondre ici sont les suivantes : est-ce que j'ai un meilleur produit, fonctionnel et esthétique, lorsque j'utilise la FA et comment puis-je le savoir ?

« La performance peut dépendre du poids, de la quantité de ventilation, de la sécurité ou d'une réponse structurelle finement ajustée pour augmenter le retour d'énergie ou dissiper les forces de rotation. Les disciplines sportives et les résultats de performance souhaités sont basés sur des années de données sur les athlètes, les profils des consommateurs et les paramètres cibles définis par

l'équipe produit de chaque équipementier.

Les améliorations sont mesurées dans de nombreux aspects différents du produit, en fonction de la discipline sportive et des exigences de conception. Nous avons constaté des améliorations considérables en pourcentage pour l'amortissement ou le retour d'énergie dans les applications en treillis, qui remplacent la mousse ou les couches multiples de mousse dans une pièce. Les clients ont utilisé des souffleries pour tester les performances aérodynamiques et quantifier la réduction de la chaleur, des chambres acoustiques pour mesurer et régler avec précision les fréquences d'impact souhaitées, et des tests d'usure extrême pour la durabilité des matériaux et la stabilité aux UV, où DLS a satisfait ou dépassé les exigences des matériaux existants fabriqués avec des méthodes de fabrication traditionnelles », souligne l'expert de Carbon.

En parlant d'applications de treillis, dans l'industrie du golf, l'étape de fabrication de la gamme de putters multi-matériaux imprimés en 3D de COBRA Gold a nécessité la combinaison de la technologie d'impression 3D exclusive de HP avec la technologie Descending Loft (DLT) brevetée de SIK Golf. Cette dernière intègre quatre lofts descendants sur la face pour fabriquer un angle de lancement et un roulement cohérents pour différents styles de putts et de coups. En d'autres termes, la DLT de SIK permet de réaliser des économies de poids et d'obtenir des sensations douces mais nettes à l'impact.

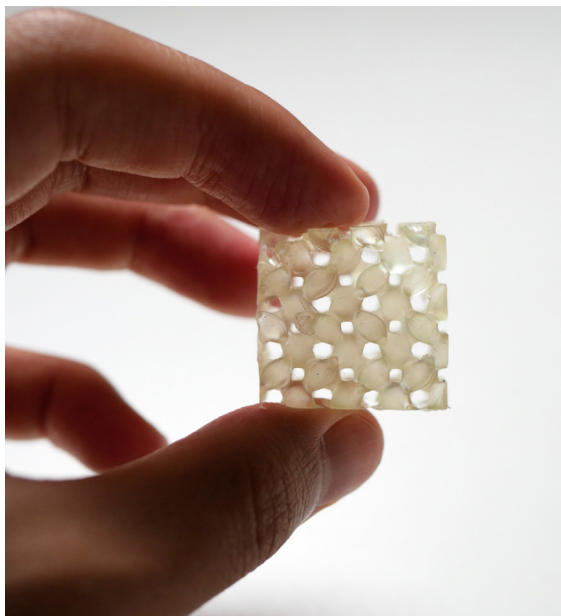
En ce qui concerne la FA, cette collection met en évidence les cartouches en treillis imprimées en 3D comme un composant clé qui a nécessité l'utilisation de la FA. Les cartouches sont essentielles pour créer un poids discrétionnaire et obtenir le MOI le plus élevé possible dans chaque modèle de putter, ce qui, dans ce cas, est l'indicateur clé de performance le plus tangible à examiner pour apprécier le potentiel de la FA.

(MOI signifie «moment d'inertie». Cette mesure (grammes par centimètre carré) indique la résistance de la tête d'un club à la torsion).

Outre l'optimisation du poids, la cartouche en treillis sert également de structure de soutien au corps, amortit les vibrations et affine le son. La structure en treillis imprimée en 3D offre donc un MOI élevé pour une stabilité et des performances de roulement améliorées dans trois modèles distincts – le **GrandSport-35 (OS Blade)**, le **SuperNova (OS Fang)** et l'**Agera (OS Mallet)**. La société révèle que chaque modèle est doté d'un châssis en acier, d'une couronne en aluminium forgé, de poids en tungstène et d'un insert frontal SIK pour offrir une stabilité et une régularité de roulement inégalées sur chaque putt.

Même si aucun chiffre n'a été donné pour cette dernière collection, nous avons appris que pour le produit précédent, le design a permis une plus grande répartition du poids de la tête sur son périmètre, augmentant ainsi le MOI du club de 20% par rapport à une forme comparable réalisée traditionnellement ; cela pourrait conduire à une meilleure régularité du putting lorsque le golfeur utilisera le club.

Prenons l'exemple des semelles intermédiaires dans l'industrie de la chaussure. Dans ce cas précis, le poids de la chaussure et la répartition de l'énergie pendant l'activité sont deux des indicateurs clés de performance



UnitCell – Image via Nolan KIM

qui seront évalués ici pour déterminer si l'AM était une bonne option.

« Il est important de reconnaître que le matériau imprimé ne se comportera jamais exactement comme une mousse injectée. Tenter d'imiter chaque caractéristique intrinsèque de la mousse dans un modèle imprimé est une approche futile et peu judicieuse. Il serait plutôt utile d'identifier certaines propriétés et résultats qui ont le plus d'importance par rapport à l'objectif de performance particulier. Par exemple, il me semble que les facteurs les plus puissants de la performance en course à pied sont le poids et le rendement énergétique. Pour être plus précis, il a été démontré que chaque 100 g de poids en moins dans une chaussure améliore le temps d'arrivée au marathon d'environ 1 % et que la plus grande quantité d'énergie restituée au coureur allège la dépense physiologique accumulée lors du maintien d'un rythme de course intense », souligne Kim.

Domaines à améliorer et perspectives d'avenir

À l'avenir, il ne fait aucun doute que le nombre de disciplines sportives susceptibles de tirer parti de la fabrication additive augmentera grâce au dévouement et à la collaboration continue entre les équipementiers et les experts de la fabrication additive.

À l'heure actuelle, avec les applications actuellement disponibles, les équipementiers comme COBRA Golf reconnaissent que, malgré les grandes capacités de l'AM et sa capacité à fournir un produit fonctionnel et de meilleure qualité, le coût du produit final reste assez élevé.

Yagley estime que cela est certainement dû au fait **que les matériaux de FA exacts pour certaines applications font encore défaut**. Cela peut expliquer pourquoi le coût du produit final reste un peu plus élevé que celui du produit fabriqué en série. Néanmoins, il reste confiant qu'avec le temps, à mesure que la technologie mûrit, le prix du produit final imprimé en 3D sera accessible à un plus grand nombre de consommateurs finaux.

Le point de vue de Kim sur les coûts nuance un peu l'opinion de Yagley sur les coûts en recentrant le débat sur les «améliorations rapides» des technologies de FA. Même s'il reconnaît que la FA est souvent une méthode de production coûteuse, il pense que l'hésitation à adopter la technologie additive est peut-être moins due à des inconvénients réels qu'à un manque d'informations appropriées.



Nolan KIM

En ce qui concerne l'industrie de la chaussure, il a appris que « l'observation la plus intrigante est la capacité de construire des pièces très complexes à un coût inférieur à celui des processus traditionnels ». À juste titre, la préoccupation liée à l'adoption des méthodes additives est que le coût de production d'une pièce individuelle est toujours le même, qu'il y ait cinq ou mille modèles fabriqués, alors que pour les méthodes traditionnelles, le coût unitaire diminue à mesure que le nombre total d'unités fabriquées augmente. Cependant, ce n'est pas tout, car lorsque la complexité d'une pièce augmente, il y a un point d'inflexion où le coût de fabrication devient comparativement moins élevé pour la fabrication additive. Désormais, non seulement la complexité de la conception ouvre de nouvelles voies à l'innovation, mais elle pourrait aussi être moins coûteuse.

D'un point de vue technologique, comme le dit l'expert de Carbon, les technologies de FA aident les fabricants à

envisager la «flexibilité de la fabrication sans le fardeau du réoutillage». Toutefois, pour les équipementiers qui ne sont pas prêts à investir dans des technologies de FA coûteuses, il existe et existera toujours la possibilité de s'appuyer sur des bureaux de services de FA pour fabriquer des produits qui améliorent le confort et les niveaux de performance.

S'agissant des processus, l'industrie doit encore se concentrer sur les matériaux et les structures, du moins pour les applications de semelles intermédiaires rendues possibles par la FA.

Kim met l'accent sur la nécessité de formuler des matériaux responsables, durables et légers. Quant aux structures, il estime qu'un large éventail de possibilités est actuellement offert aux professionnels. « Avec l'expansion des outils de conception générative et algorithmique, des discussions sérieuses sur la personnalisation raffinée, la personnalisation et les modèles axés sur les données ont fait surface. Aujourd'hui, non seulement il reste la recherche incessante de la

structure la plus performante, mais il y a aussi la toile de fond de la préparation systématique de ces modèles d'une manière qui peut être modulée de façon transparente aux demandes et caractéristiques uniques de l'utilisateur. Dans le même temps, la grandeur de ces ambitions doit, idéalement, respecter la plus haute forme de pratique durable. Il y a de nombreuses considérations à prendre en compte et des complications à clarifier, mais le potentiel de la conception additive pour surpasser les mousses conventionnelles existe certainement et doit encore être réalisé », conclut-il.

À court terme, malgré l'accent mis dans cet article sur la FA, il faut reconnaître que la possibilité de fabriquer de meilleurs produits sportifs et, dans une certaine mesure, de créer de nouveaux modèles commerciaux, peut également dépendre de l'interaction entre la FA et les progrès réalisés dans d'autres domaines tels que l'intelligence artificielle, la technologie des capteurs et la robotique.

À propos des contributeurs

Nolan Kim travaille actuellement chez Desktop Metal en tant qu'ingénieur d'application pour les projets spéciaux. Il a obtenu son diplôme d'ingénieur biomédical à l'Université de Boston il y a deux ans et a consacré son projet de thèse à l'amélioration des performances de course à pied grâce à la conception de treillis imprimés en 3D. Depuis l'obtention de son diplôme, il s'est progressivement investi dans le domaine de l'innovation additive et n'envisage pas d'aller voir ailleurs. Ce qu'il a appris dans le cadre de son projet de thèse a été utile pour révéler ce que l'on peut attendre des technologies AM lorsqu'il s'agit de fabriquer des semelles intermédiaires pour l'industrie de la chaussure.

Fondée en 1973, **Cobra Golf** est un fabricant de clubs et d'équipements de golf. La société a été rachetée par la marque de vêtements de sport Puma en 2010. Puma Gold collabore avec HP depuis plusieurs années, une collaboration qui facilite l'utilisation de la technologie AM par la société et la sortie récente de la série imprimée 3D KING, sa première ligne complète de putters multi-matériaux imprimés en 3D. Pour une telle approche des «applications», il est essentiel d'avoir le point de vue des équipementiers qui ont déjà adopté les technologies de la FA, afin de donner des informations plus neutres à ceux qui cherchent à faire leurs premiers pas dans ce domaine.

Qu'il s'agisse de selles de vélo haut de gamme destinées à l'élite du cyclisme sur route ou de casques produits en masse achetés dans les magasins de détail, la technologie Carbon DLSTM permet aux athlètes de pousser leurs performances grâce à de meilleurs produits. Le fabricant d'impression 3D et numérique s'associe en permanence avec des équipementiers et des sous-traitants mondiaux pour créer de meilleurs produits dans des cycles de développement plus rapides, permettant ainsi aux athlètes de tous niveaux d'améliorer leur performance.

Ressources:

Hire Intelligence, [the Evolution of Technology in Sport](#)

Is additive manufacturing improving performance in Sports? A systematic review, [The Journal of Sports Engineering and Technology](#).

Insights from Carbon, Nolan Kim & Cobra Golf

Media coverage on www.3dadept.com

3D ADEPT MEDIA



Toute l'actualité de l'industrie de la Fabrication Additive



Imprimantes 3D



Matériaux



Post-traitement



**Rapports &
Recherches**



Logiciel

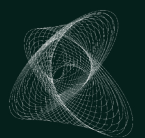


**Études de cas &
Applications**

Retrouvez notre magazine spécialisé dans les grands
événements de la Fabrication Additive

CONTACT@3DADEPT.COM

Nous faisons en sorte que les marques comptent



3DA SOLUTIONS

Nous faisons en sorte que les marques comptent

AM Solutions Catalogue 2022

AM SOLUTIONS

INTERNATIONAL
CATALOGUE
2022

INDUSTRIAL
3D PRINTERS &
POST-PROCESSING
SOLUTIONS

Published by 3D ADEPT Media

Edited by 3D ADEPT MEDIA

Ready for the 2022 International Catalogue of Additive Manufacturing Solutions ?