

# Industrialisation de l'AM – création de procédés prévisibles et productifs



La récente émergence du terme Fabrication additive (AM) témoigne de la transformation continue dans l'utilisation des technologies additives, s'éloignant de l'impression 3D à faible volume et allant vers une fabrication en série. Cet article de fond explore les moteurs de cette tendance vers la fabrication additive industrielle, ainsi que les développements techniques qui seront des facteurs critiques de succès dans cette transition.

Qu'entendons-nous par AM industrielle ? Il s'agit tout d'abord d'un procédé en usine plutôt que d'un procédé utilisé en laboratoire de recherche ou en atelier d'outillage, où l'accent est mis sur la fabrication de pièces pour la production en série plutôt que sur les prototypes ou l'outillage. Ici, notre objectif est d'utiliser les capacités uniques de l'AM pour maximiser les performances des produits, plutôt que de simplement comprimer les délais de fabrication.

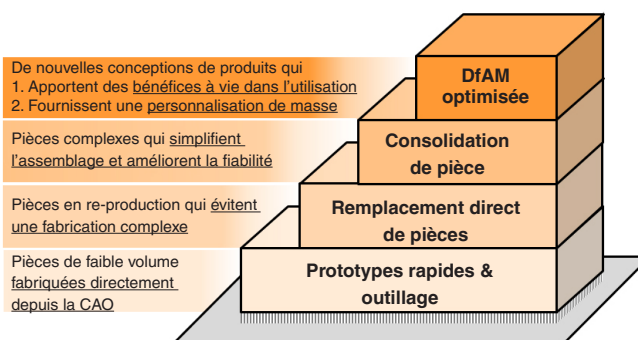
Les résultats d'un procédé d'AM industrielle sont des pièces homogènes et homologuées qui présentent une grande intégrité et qui sont adaptées à une longue durée de vie, plutôt que des formes pour la modélisation ou l'évaluation. Les matériaux sont choisis pour leur résistance et leur intégrité plutôt que pour leurs caractéristiques esthétiques ou leur facilité de traitement.

Enfin, nous devons considérer bien plus que le seul aspect de l'impression 3D d'un procédé d'AM industrielle, en élargissant notre réflexion pour inclure toute la chaîne de procédés nécessaire à la conception, la fabrication, la finition et la vérification des produits d'AM :

- du laboratoire de recherche à l'usine
- des prototypes et de l'outillage à la production en série
- de la compression des délais à de meilleures performances des produits
- des formes à des pièces homogènes et homologuées
- des plastiques à des alliages à hautes performances
- de l'impression 3D à un procédé de production intégré

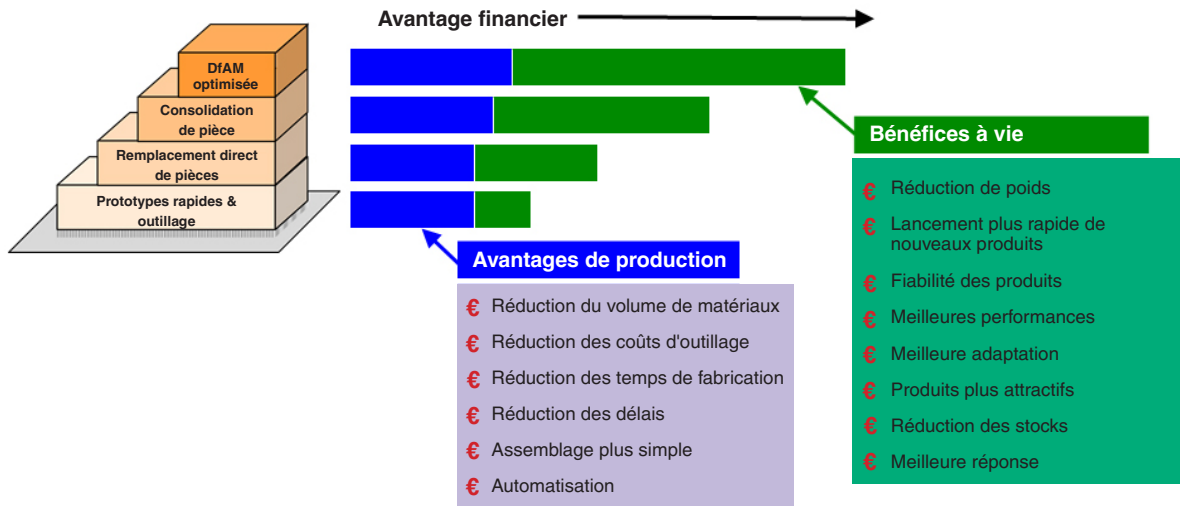
## Moteurs de l'industrialisation

Dans des articles précédents, nous avons présenté un modèle en escalier de déploiement de l'AM, qui montre la progression de nombreuses entreprises dans leur utilisation de l'AM. Plus les niveaux sont élevés, plus les méthodes de conception pour AM (DfAM) sont sophistiquées.



Au fur et à mesure de la progression, vous utilisez de plus en plus de capacités de l'AM pour créer des produits dont la valeur ajoutée augmente proportionnellement. Les niveaux inférieurs concernent principalement les avantages de la production tels que la compression des délais, l'élimination de l'outillage et un gaspillage minimal de matériaux. Au fur et à mesure que vous progressez dans la consolidation des pièces et dans l'optimisation des pièces de DfAM, votre attention se porte de plus en plus sur l'impact que peut avoir l'AM sur les performances des produits et les avantages qui en découlent pour la durée de vie.

Pour plus d'informations sur les capacités de l'AM et sur leur impact sur la conception des produits, reportez-vous aux articles de fond [Impact de la fabrication additive partie n°1](#) et [Impact de la fabrication additive partie n°2](#).



La valeur de l'AM industrielle réside davantage dans le produit que dans le procédé de production. Ce sont ces avantages en termes de performance des produits qui, en fin de compte, conduiront à l'industrialisation de l'AM. En créant des produits qui fonctionnent à la fois mieux et de façon innovante, ou en utilisant l'AM pour déployer de nouveaux modèles commerciaux qui offrent un meilleur service aux clients, nous créons la valeur ajoutée qui justifiera l'investissement dans les procédés et les usines d'AM.

Cette industrialisation s'appliquera dans de nombreux domaines, et pas seulement dans les secteurs qui ont parié très tôt sur l'AM, comme l'aérospatiale et les appareils médicaux. Guettez l'émergence de produits d'AM légers, efficaces, attrayants et personnalisés sur de nombreux autres marchés, y compris les produits de consommation.

### Chaînes intégrées de procédés de fabrication

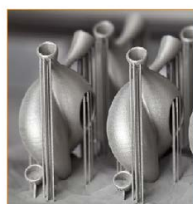
Comme indiqué précédemment, pour un procédé d'AM industrielle, nous devons considérer plus que la simple étape du procédé additif. Pour être utile, tout procédé de fabrication a besoin d'une chaîne efficace d'outils qui travaillent ensemble pour concevoir, préparer, produire, contrôler et vérifier le résultat.

AM ne fonctionne pas de manière isolée : la production de pièces quasi-définitives est loin d'être suffisante quand on regarde dans un contexte de production. Personne ne peut affirmer que l'AM permet de fabriquer tout ce que vous voulez : peu de pièces sur les stands d'exposition sont dans l'état tel qu'elles sont sorties de la machine d'AM.

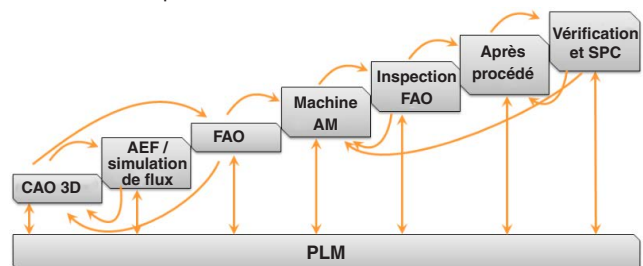
La promesse annoncée



La réalité



L'AM doit donc être étayée par une chaîne de procédés efficace avec des outils de conception conviviaux et une série d'activités de post-traitement et de métrologie avant que les pièces fabriquées ne soient utilisées avec emportement. Les informations doivent circuler en amont et en aval de la chaîne pour relier les procédés entre eux, des boucles de régulation étant utilisées pour minimiser les variations du procédé :



Des chaînes de procédé de ce type sont en train d'émerger, bien que les outils intervenants ne soient pas encore intégrés et matures. On peut citer à cet égard le travail que Renishaw a effectué avec Land Rover Ben Ainslie Racing pour développer un composant de collecteur pour le voilier de l'America's Cup de 80 millions de livres sterling. L'article de fond [Course à l'innovation](#) explique la conception du collecteur, ainsi que la chaîne de procédés nécessaires à sa fabrication, à calibration, sa finition et son inspection.

### Chaînes de procédés futures

La chaîne de procédés idéale pour l'AM industrielle commencera par des outils de CAO optimisés pour la conception de pièces d'AM, ce qui constitue actuellement un domaine d'intérêt majeur pour le secteur de la CAO. Les pièces seront dès le départ conçues pour l'AM, au lieu de faire l'objet d'une adaptation à partir d'une conception classique, comme s'il s'agissait d'une réflexion après coup.

Nous avons également besoin de liens étroits entre la CAO et le monde de la préparation des fichiers de fabrication AM et du développement après procédé. Notre réflexion sur le développement des procédés doit inclure l'optimisation

de toutes les étapes de la chaîne de procédés, afin que nous ne minimisions pas les coûts de fabrication pour les voir augmenter à nouveau dans des procédés de finition complexes ou manuels.

Comme dans tous les procédés de fabrication, la métrologie est le « fil d'or » de ce procédé, en transférant des données, en fournissant un retour d'information et en vérifiant la conformité. À chaque maillon de la chaîne, des contrôles de procédé agissent pour minimiser les variations et fournir des résultats prévisibles :

- Outils de CAO optimisés pour la conception de pièces AM
- Préparation intégrée des fichiers de fabrication et développement après procédé
- Métrologie, en guise de « fil d'or » dans tout le procédé
- Contrôles des procédés pour minimiser les variations à chaque maillon de la chaîne

## Procédés d'AM productifs

Les procédés industriels réussis sont productifs et prévisibles. La variation est l'ennemi de la productivité, mais elle peut être éliminée par un contrôle rigoureux de l'environnement, des entrées et de la mise en place et du fonctionnement de chaque étape du procédé.



Il est courant d'adopter cette approche avec les procédés de fabrication conventionnels tels que l'usinage. Cette rigueur est à la base des usines automatisées qui produisent tout, du téléphone élégant que vous avez dans votre poche à l'avion fiable dans lequel vous volez en passant par la voiture économique que vous conduisez.

Renishaw utilise un cadre qu'elle appelle le Productive Process Pyramid™ pour identifier et contrôler la variation des procédés de fabrication. Bien éprouvé dans le domaine de la découpe des métaux, il s'applique également à l'AM industrielle. Il comprend quatre niveaux :

### Fondements du procédé

Contrôles préventifs appliqués d'avance pour assurer la cohérence entre les entrées du procédé et l'environnement d'exploitation

### Réglages du procédé

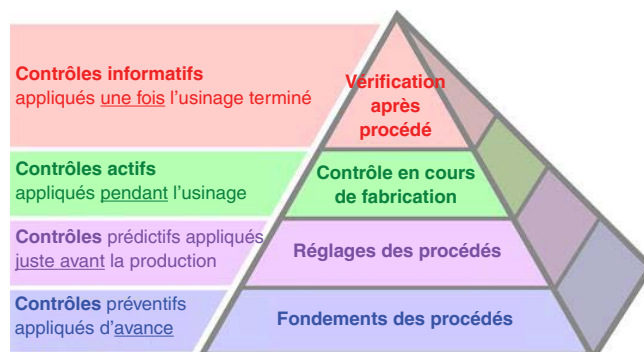
Contrôles prédictifs appliqués juste avant le traitement pour s'assurer que la machine est prête à fabriquer des pièces de bonne qualité

### Contrôles en cours de fabrication

Contrôles actifs appliqués pendant le procédé lui-même pour surveiller et répondre aux dérives et aux erreurs inattendues

### Vérification après procédé

Contrôles informatifs appliqués une fois la fabrication terminée pour vérifier l'intégrité de la production



Comment cela s'applique-t-il à l'AM ? Tout d'abord, il est important de noter que l'AM est relativement immature par rapport aux méthodes de fabrication conventionnelles et que, par conséquent, certains des contrôles nécessaires sont encore en cours d'élaboration. Il s'agit d'un domaine de grand intérêt pour les fabricants de systèmes et les principaux utilisateurs d'AM, et développements sont donc attendus dans les domaines suivants :

## Fondements du procédé

Les fondements servent à s'assurer que l'environnement opérationnel est optimisé et stable. Les contrôles des fondements comprennent des méthodes pour calibrer les systèmes optiques et mouvements de la machine AM et des contrôles d'intégrité rapides et périodiques des performances du système laser. Une approche cohérente du développement du procédé de fabrication, en utilisant des paramètres laser et des stratégies de fabrication éprouvés, est également essentielle. De même, le contrôle des entrées du procédé, tels que l'état de la poudre par l'échantillonnage et l'analyse des pièces à tester, renforce notre confiance en nos capacités à fabriquer des pièces de bonne qualité.

## Réglages du procédé

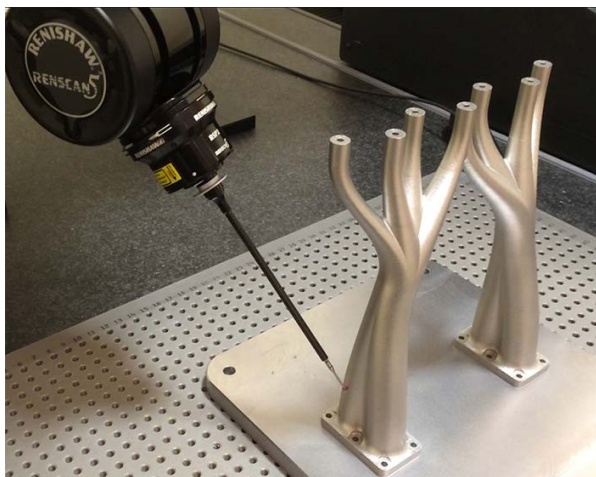
Ce sont les vérifications et les contrôles que nous effectuons juste avant le premier déclenchement du laser. Les contrôles de réglage consistent notamment à s'assurer que nous avons chargé le bon fichier de fabrication et que nous avons chargé notre machine avec la bonne quantité de poudre. Nous devons vérifier l'état des systèmes critiques comme les filtres d'échappement, ainsi que la position et l'alignement de notre « racleur » de dosage. Et, bien évidemment, nous devons nous assurer que nous avons retiré l'oxygène de la chambre de fabrication et que la température de fonctionnement est correcte.

## Contrôles en cours de fabrication

Nous sommes maintenant opérationnels et devons à présent mettre l'accent sur le contrôle du procédé de fabrication en soi. Nous devons être sûrs que chaque couche est correctement dosée et que la couche précédente est recouverte de poudre fraîche. Nous pouvons également surveiller la température et la taille du bain de fusion pour être sûrs que nous traitons la poudre de manière homogène, et nous pouvons vérifier que nous avons obtenu un chevauchement correct des pistes de soudure sur les surfaces des composants critiques. La filtration du flux de gaz et le tamisage de la poudre pour éliminer les particules trop grandes et trop petites et maintenir la qualité de la poudre sont essentiels. Nous voulons également contrôler la température et les niveaux d'oxygène dans toute la chambre afin de garantir des conditions de traitement homogènes.

## Suivi après procédé

Maintenant que notre fabrication est terminée, nous devons vérifier que nos pièces sont conformes aux spécifications. À ce stade, les contrôles comprennent l'inspection des dimensions et de la finition de surface des pièces sur une machine de mesure tridimensionnelle ou un système de comparaison, en utilisant une combinaison de capteurs de contact et à caméra. L'inspection interne de la pièce à l'aide de rayons X et d'ultrasons peut ajouter des détails essentiels, et un régime d'essai destructif de la pièce de test sera également nécessaire dans certaines applications.



*Système d'inspection 5 axes REVO mesurant un composant AM à topologie optimisée*

## Résumé

Le développement de la fabrication additive, à partir d'une technologie de prototypage dans un procédé de production de produits courants, sera stimulé par des applications qui utilisent la capacité de l'AM à produire des produits à hautes performances qui ne peuvent être fabriqués autrement.

Les procédés de production performants seront soutenus par des chaînes d'outils qui couvrent l'ensemble du procédé de production, de la conception à la vérification, et pas seulement l'étape du procédé d'AM.

Et les procédés d'AM industrielle seront étayés par des couches de contrôle qui minimisent les variations et certifient la qualité de production par AM.

Avec tout cela en place, l'AM peut occuper le rang qui lui revient dans la famille des technologies de fabrication avancées utilisées pour la production en série.

## À propos de l'auteur

### Marc Saunders, Directeur des Applications AM

Marc Saunders affiche une expérience de plus de 25 ans dans la fabrication high tech. Lors de ses postes précédents chez Renishaw, il a joué un rôle clé dans le développement de la plate-forme primée d'usinage automatisé RAMTIC de l'entreprise et a apporté des solutions de métrologie clé en main aux clients dans le secteur de l'aérospatiale.

Marc dirige le réseau mondial Renishaw de Centres de solutions de fabrication additive, permettant aux clients qui envisagent de déployer cette technologie comme procédé de production d'acquérir une expérience pratique dans ce domaine avant de s'engager envers une nouvelle installation.

[www.renishaw.fr/additive](http://www.renishaw.fr/additive)