

# FABRICATION ADDITIVE : UN ENSEMBLE DE TECHNOLOGIES À FORT POTENTIEL

La fabrication additive a émergé dans les années 80 avec la stéréophotolithographie de matériaux polymères, utilisant des lasers pour transformer des résines. Ce procédé a permis de produire des pièces 3D à partir de modèles numériques discrétisés en tranches. Depuis, d'autres procédés et d'autres matériaux (métal, béton, ...) ont vu le jour, créant sept classes de procédés normalisés, telles que résumées dans la figure 1.

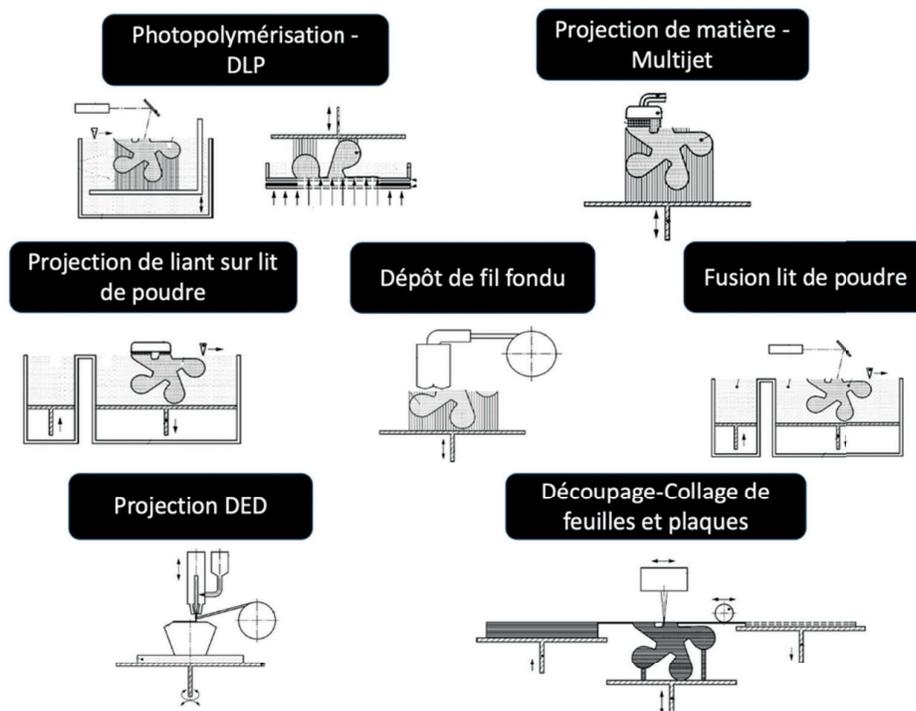


Figure 1 : Principaux principes d'impression 3D selon la norme ISO 17296-2:2014E

## 1. LES DOMAINES D'APPLICATION

Les techniques d'impression 3D ont été initialement développées dans l'objectif de fabriquer des pièces de formes complexes et sans outillages (moules, matrices, modèles, ...) avec des délais de réalisation très rapides. Avec la mise à disposition de ces techniques, les ingénieurs concepteurs ont vu s'ouvrir devant eux un vaste champ de créativité avec des approches comme le '*design for additive manufacturing*'<sup>(1)</sup>. Ainsi, l'industrie aéronautique, soucieuse de gagner de la masse, a su tirer parti d'une optimisation topologique de la géométrie des pièces (Figure 2). En parallèle, les acteurs des prothèses médicales valorisent également les structures légères, telles que les lattices, au service de la colonisation cellulaire (Figure 2) pour faciliter l'intégration dans le corps humain. Enfin, les concepteurs mobilisent également la capacité de ces nouvelles techniques pour fabriquer en une

seule fois des systèmes initialement composés de multiples composants (Figure 3) avec à la clef des gains de simplification et de fiabilisation.

Au-delà de la fabrication de composants, les industriels ont vu également la possibilité de créer des composants en ajoutant des formes à des pièces pré-existantes ou en réparant des composants anciens à très fortes valeurs intrinsèques et difficilement refabricables ex-nihilo (Figure 4). Cette approche est également fortement valorisée en combinant des matériaux différents qui apportent des fonctionnalités

(1) Mary Kathryn Thompson, Giovanni Moroni, Tom Vaneker, Georges Fadel, R. Ian Campbell, Ian Gibson, Alain Bernard, Joachim Schulz, Patricia Graf, Bhriju Ahuja, Filomeno Martina, *Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints*, CIRP Annals, Volume 65, Issue 2, 2016, Pages 737-760, ISSN 0007-8506, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.004>.



Figure 2 : à gauche : optimisation topologique d'un bracket sur AIRBUS A320 ; à droite : prothèse de hanche avec structure lattice<sup>(2)</sup>



Figure 3 : exemple d'un système d'injection de kérosène chez General Electric<sup>(3)</sup> reconçu via les possibilités offertes par l'impression sélective sur lit de poudre (Selective Laser Melting).

spécifiques à hautes valeurs ajoutées dans certaines zones de la pièce (anti-corrosion, conduction de chaleur, anti-abrasion, biocompatibilité, ...) alors que le reste de la pièce ne sert que de supports avec des coûts matières plus accessibles.

Ce contexte a largement évolué avec, à présent, la possibilité de fabriquer, non plus des pièces fonctionnelles dans des mécanismes, mais des outillages complexes. Cela va de la fabrication de noyaux en sables pour la fonderie de pièces complexes (Figure 5), à la fabrication de moules métalliques

pour l'injection de pièces plastiques (voir l'article sur l'impression 3D polymère) avec des canaux de refroidissement complexes qui permettent une solidification rapide des pièces et d'augmenter la productivité d'injection.

Pour autant, ces pièces imprimées en 3D sont souvent très rugueuses et de géométries grossières à l'instar de celles produites par fonderie. Elles nécessitent souvent des procédés de finition (usinage, polissage) et/ou des traitements thermiques afin de réduire les déformations et les contraintes résiduelles ou les porosités. De plus, elles possèdent systématiquement des porosités qui les rendent peu compatibles avec des conditions d'usage soumises à la fatigue.

## 2. UN SECTEUR EN ÉVOLUTION PERMANENTE

Les États-Unis ont été pionniers dans les procédés non métalliques, mais l'Europe a pris l'avantage avec les procédés pour pièces métalliques. La France, avec des entreprises telles Phenix System (depuis racheté par 3D Systems), fondée par

(1) <https://www.lociorthopaedics.com/osteanchor.php>  
 2() [https://www.google.com/search?q=leap+fuel+nozzle+tip&oq=leap+fuel+nozzle+tip&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYODlBCDU4ODBqMGo0qAlAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8#fpstate=ive&vld=cid:3973fc56,vid:rMzVsbNebCg,st:0](https://www.google.com/search?q=leap+fuel+nozzle+tip&oq=leap+fuel+nozzle+tip&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYODlBCDU4ODBqMGo0qAlAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8#fpstate=ive&vld=cid:3973fc56,vid:rMzVsbNebCg,st:0)

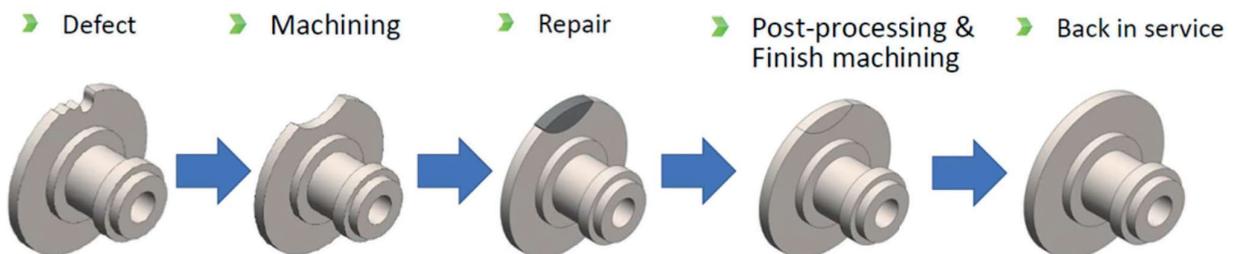


Figure 4 : en haut : exemple d'ajouts de fonctions sur une pièce ; en bas : exemple de réparation d'une pièce défectueuse.

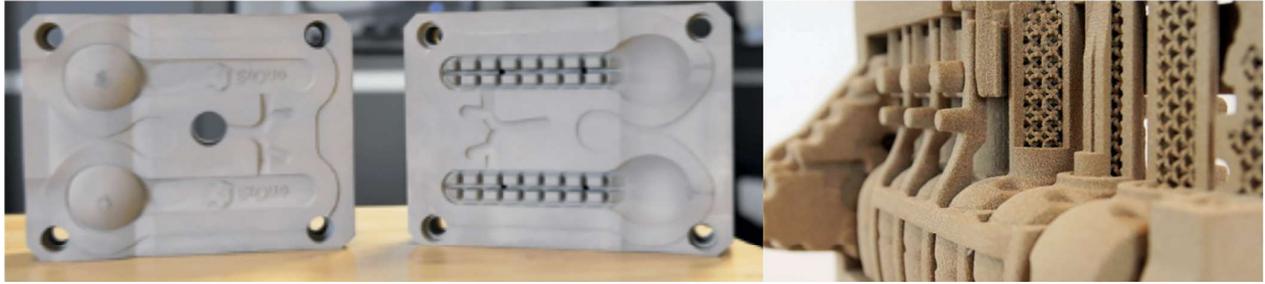


Figure 5 : à gauche : exemple d'un moule métallique imprimé en 3D ; à droite : exemple de noyaux en sable imprimés en 3D.

des anciens élèves de Centrale Lyon ENISE, ont développé la première machine française d'impression 3D par fusion sélective laser sur lit de poudre. On peut aussi citer d'autres belles réussites françaises, telles que AddUp, fondé par Michelin et Fives en 2016, ou BeAM créée par IREPA Laser en 2012.

En France, de nombreux acteurs internationaux sont présents sur le marché français, tels que EOS, SLM Solutions, Meltio, Renishaw, Concept Laser, Arcam, ... Pour autant, le marché de la fabrication additive est encore assez immature, avec des procédés en constante évolution. Il est important de ne pas voir la fabrication additive comme un remplacement des procédés traditionnels, mais comme un complément technologique. Certes elle permet de fabriquer des pièces sans outillage, des outillages complexes, et des pièces de topologies variées à faible coût. Elle permet également de produire à la demande, où et quand nécessaire dans des zones non facilement accessibles à la logistique, comme sur un bateau ou une plateforme offshore. Cette approche transforme la logistique physique en logistique numérique, réduisant les coûts et permettant de personnaliser les produits. La fabrication additive peut être utilisée tout au long du cycle de vie des produits, pour la validation des concepts, la production elle-même, jusqu'à la réparation et la réutilisation. Dans ce contexte, l'utilisation croissante de la robotique améliore la rentabilité et l'adaptabilité des applications.

### 3. QUELQUES REMARQUES CONCLUSIVES

La fabrication additive continue de se développer avec des investissements importants, mais rentabilisés rapidement

grâce à ses avantages croissants. Une compréhension approfondie des matériaux et de leur transformation est indispensable, tout comme une attention à toute la chaîne de valeur.

En France, l'association France Additive soutient l'industrialisation de ces technologies et vise à établir une trajectoire pour l'avenir, allant de la recherche de pointe aux transferts technologiques.

Il est essentiel d'intégrer la fabrication additive dans le système de formation, en combinant une approche pratique et une solide base théorique pour maîtriser les phénomènes physiques et l'organisation industrielle.

#### Pour quelques approfondissements :

Claude Barlier et Alain Bernard. Fabrication additive-2e éd.: Du prototypage rapide à l'impression 3D. 500 pages, Dunod, 2020.



#### Alain BERNARD

Alain BERNARD, membre de l'Académie des Technologies, était Professeur des Universités à l'École Centrale de Nantes. Il a été Directeur de la recherche et un des piliers du Laboratoire des Sciences Numériques de Nantes (UMR CNRS 6004). Il est actuellement président honoraire de l'association France Additive.