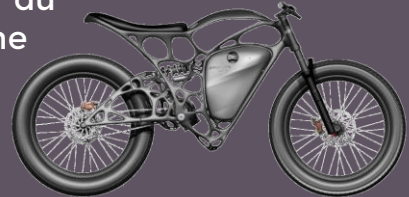


# L'EMERGENCE D'UNE FILIERE DE L'IMPRESSION 3D

L'année dernière le patron **d'Airbus**, Tom Enders, avait fait sensation en dévoilant, un des projets issus des travaux de R&D du groupe : la fabrication d'une moto par une imprimante 3D. Ce projet a soulevé un intérêt notable, parce qu'après avoir suscité un profond émerveillement un peu partout, l'impression 3D avait un peu laissé sa place dans l'actualité à d'autres technologies.



Elle avait un peu déçu parce que la pratique a montré que son déploiement n'était pas aussi simple qu'on pouvait le croire en lisant le premier article sensationnaliste venu. Et pour cause, les trois quarts des productions imprimées en 3D sont en fait de simples **prototypes** le reste en étant pour l'essentiel au stade de la R&D

Mais on voit petit à petit émerger les usages les plus intéressants et l'impression 3D gagne de plus en plus de terrain dans l'industrie. On commence enfin à pouvoir parler de concret, c'est-à-dire **d'optimisation, d'économie de matière et de masse.**

Là où pour l'instant, l'impression 3D restait largement moins fonctionnelle que des techniques plus classiques comme **l'usinage**, la **fonderie** ou **l'injection plastique**, il devient petit à petit possible d'engager des démarches de plus en plus intéressantes, en fabrication directe, mais également par la création de moules ou pour réparer des pièces.

Le marché de l'impression 3D industrielle devrait donc continuer sa progression dans les prochaines années.



L'idée est donc de saisir précisément de quoi nous traitons, notamment en décomposant les différentes activités qui peuvent se cacher derrière ce terme attractif. La diversité des types d'imprimantes et de matériaux, la diversité des étapes de production font que c'est un véritable écosystème qui tend à émerger du fait de cette technologie.

## UN CONCEPT, DES PROCÉDES

Le terme d'impression 3D est relativement vague et il peut largement porter à confusion. Il va sans dire qu'imprimer une figurine de Dragon Ball Z ou une maison ne se fait pas avec le même outil.

Pour être rigoureux, on préférera donc le terme de « **fabrication additive** » qui est utilisé dans l'industrie et surtout qui est défini dans le cadre de la norme **ISO17296-2:2014E**.

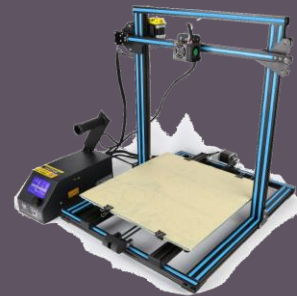
Ce cadre de référence permet de donner l'appellation fabrication additive à plusieurs procédés :

### Le dépôt de fil fondu (FDM)

Le plus commun est le dépôt de fil fondu ou FDM (pour *fused deposition modeling*). Cette technique a été développée par S. Scott Crump, fondateur de Stratasys à la fin des années 80.

Les imprimantes de bureau les plus utilisées comme la **Creality CR-10** ou la **Colido 1315** fonctionnent par ce procédé. Il a le très grand avantage d'être **très peu cher** (on peut trouver une bonne imprimante personnelle à dépôt de fil fondu pour environ 300 euros).

Globalement le principe de fonctionnement de cette technique est relativement simple. Une **buse** se déplace sur **3 axes (x,y,z)** et fait fondre un **filament de matière** selon un chemin prédéterminé à l'avance, les différentes couches de matières fondues donnent la forme à l'objet.



## La photopolymérisation en cuve et la stéréolithographie (SLA)

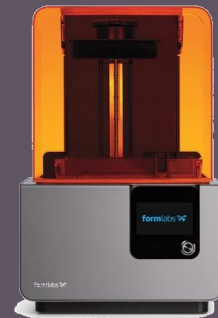
A l'instar du dépôt de fil fondu, la **stéréolithographie** (ou SLA) est une des premières techniques d'impression 3D. Elle a été inventée par Chuck Hull, le créateur de 3D Systems.



La stéréolithographie est un procédé de **photopolymérisation en cuve**, c'est-à-dire que ce système utilise des **résines photosensibles** qui sont durcies strates par strates en jouant sur leur réaction à la lumière à travers des rayons ultraviolets et laser.

Une fois que l'impression est réalisée, la résine qui n'a pas été polymérisée est dissoute avec du solvant et le projet imprimé peut nécessiter d'être consolidé par la cuisson.

Plus précise et plus rapide que le dépôt de fil fondu, le prix des imprimantes et la complexité de la mise en œuvre ont fait que la photopolymérisation en cuve est restée jusqu'à très récemment une technique à vocation industrielle et expérimentale. Mais avec le développement de la technologie, de nouveaux modèles tels que la FORM2, la XYZ Printing Nobel ou la Ember Autodesk ont contribué à rendre la technologie plus accessible



## La fabrication d'objets laminés (LOM)

De même la fabrication d'objets laminés (LOM), qu'on appelle également stratification de couches consiste à découper des plaques successivement liées entre elles par ultrason, laser ou plus simplement avec des matériaux adhésifs.

C'est l'entreprise Cubic Technologies qui est le principal fournisseur de ces technologies notamment à travers l'imprimante SD300.

En fonction du type de matériaux, ce procédé est également un procédé qui peut faire partie des procédés abordables.

## Projection de liant sur lit de poudre (ou binder jetting)

En ce qui concerne la production industrielle, le procédé de projection de liant (**Binder Jetting**) est lui utilisé pour sa rapidité et sa capacité à obtenir des impressions de pièces à plusieurs couleurs et surtout pour son coût de production relativement raisonnable.

Parmis les modèles les plus courants on peut citer les imprimantes Ex-one M-Flex et M-Lab, les ProJet 360 et 4500 ou encore les Voxeljet VX 1000 et VX 200.

La technique consiste en la mise en place d'un lit de poudre de matière (aussi divers que des alliages d'acier, du sable, de l'ABS ou du Nylon) sur lequel est appliquée couche par couche un liant liquide.



## La fusion sur lit de poudre

De manière relativement similaire, la technique de la fusion sur lit de poudre permet comme son nom l'indique de faire fusionner des éléments d'un lit de poudre mais cette fois-ci par réaction thermique. Le système d'énergie employé peut être un système de laser, ou un système de faisceau d'électrons, communément appelé EBM (pour Electron Beam Melting).

L'intérêt de la fusion sur lit de poudre, c'est qu'elle permet de réaliser des pièces complexes avec la résistance des techniques traditionnelles comme l'usinage ou la forge.

La technologie laser permet d'avoir une bonne finition de surface mais elle entraîne des risques de déformation de la pièce du fait des différences de température entre ces extrémités.

A ce titre, il est plus pratique de faire des grosses pièces avec l'EBM. En outre la technique de l'EBM permet d'atteindre une plus grande température de fusion et donc de réaliser des pièces plus solides. Le problème de la technique EBM, c'est qu'elle ne peut fonctionner qu'avec des matériaux conducteurs. Plus précisément, les machines d'Arcam, qui est en situation de monopole sur la technologie, ne sont garanties que sur certains alliages de métaux (des alliages de titane et de chrome-cobalt).



## Le dépôt de matière sous flux d'énergie dirigée

Moins précis que les deux autres techniques d'impression métal que nous venons de citer, le procédé de **dépôt de matière sous flux d'énergie dirigée, ou DED (pour *Directed Energy Deposition*)** consiste à déposer de la poudre métallique ou des fils métalliques et à les fondre par des sources d'énergie comme le laser, le plasma ou les faisceaux d'électron.

L'entreprise coréenne Insstek, très proche de Hyundai a mis en place cette technique pour son imprimante MX3. En France, BeAM est également en pointe sur la question.

Cette technique est très proche dans l'idée du dépôt de fil fondu et cela illustre bien le fait qu'au fond, la vraie différence entre les techniques d'impression 3D vient autant des procédés en eux-mêmes que des matériaux qui vont être employés. La fabrication additive métal est souvent plus complexe que la fabrication additive plastique, mais elle ouvre des perspectives incroyables.

## L'IMPORTANCE STRATEGIQUE DES MATERIAUX

Les polymères, les métaux, la céramique, les composites ou les matières organiques vont être modelés, transformés dans le cadre d'une impression 3D. Leur rôle va donc être structurant puisqu'ils détermineront le prix et la technique à employer. Quelques entreprises tel qu'Erasteel, Arkema, Hoganas ou encore LPW se partagent ce marché. Un petit tour d'horizon semble dès lors important pour comprendre les sous-jacent de leur stratégie commerciale.

### Un univers encore dominé par le plastique

En ce qui concerne les polymères, qui sont pour l'instant les principaux matériaux utilisés, ce sont le **PLA** (ou acide polylactique) et **l'ABS** (pour acrylonitrile butadiène styrène) qui sont les principales matières.



En bref, le PLA est un plastique biosourcé, issue de betterave sucrière qui est utilisé dans l'impression à dépôt de fil fondu parce qu'il est facile à manier. L'ABS, c'est le plastique utilisé pour les Légos, il est plus solide, mais plus complexe à utiliser, c'est pour ça que son usage est plutôt professionnel. En dehors de ces deux-là, une centaine d'autre plastiques sont utilisés pour le dépôt de fil fondu dont notamment le **nylon et le polycarbonate**.

Les efforts de R&D portent actuellement sur le développement de matériaux qui permettent d'obtenir **une bonne qualité de surface, une bonne flexibilité, une bonne résistance aux flammes et une bonne résistance aux chocs.**

Au-delà de ces facteurs, **l'environnement** est un critère de plus en plus important dans le choix des matériaux et des recherches se structurent autour des matériaux 100% renouvelables et autour du recyclage.

Parmi les polymères, pour lesquels l'intérêt est croissant, on peut citer le nylon thermosensible, qui change de couleur avec la température, les **thermoplastiques haute-température** comme le PEEK3 ou l'ULTEM qui ont une forte résistance à la chaleur et les **résines photosensibles**, utilisées dans la stéréolithographie et qui favorisent une grande précision.

### **Le monde émergent de la fabrication additive des métaux**

Mais si le marché du plastique est le premier marché de l'impression 3D. La fabrication additive métallique, pour l'instant dix fois moins importante, représente les plus grandes perspectives d'avenir. Par rapport à d'autres techniques comme le fraisage ou le moulage, l'impression 3D permet de créer des pièces aux formes plus complexes, plus légères et parfois plus résistantes que les pièces traditionnelles. D'où un intérêt marqué des industriels de l'aérospatial et de l'automobile pour ce type de technologies.

Il reste néanmoins plusieurs murs à abattre pour profiter pleinement d'une impression métal de qualité industrielle : les coûts restent élevés par rapport aux techniques plus traditionnelles et la vitesse de production, trop lente, notamment du fait du travail de post-production<sup>1</sup>

Le plus souvent les objets en métal sont imprimés à partir de poudres métalliques qui ont l'intérêt économique d'être recyclable (même si cela reste difficile en pratique) mais qui entraînent des complexités en termes d'hygiène et sécurité.

Le **titane et l'inox** sont les principaux métaux utilisés mais il existe des systèmes d'impression pour l'aluminium, le cobalt, le fer ou encore le bronze, l'argent et l'or.

---

<sup>1</sup> *nettoyage, l'enlèvement des supports, le polissage, le sablage, le grenailage, les traitements thermiques, la reprise d'usinage ou les traitements de surface*

Concrètement, pour le **titane** et les alliages de titane (comme le Ti6Al4V), l'impression 3D est d'ores et déjà moins coûteuse et plus fiable que les autres techniques puisqu'il s'agit d'un métal qui refroidit très rapidement. Son utilisation est courante sous forme de dépôt de matière sous flux d'énergie dirigée (DED). De nombreux acteurs de l'automobile, l'aéronautique et de la médecine ont donc investis sur la question.

Le **Cobalt-chrome** est également utilisé pour l'impression par DED, mais depuis peu il peut également être imprimé par fusion sur lit de poudre. A ce titre Arcam propose l'ASTM F75, un alliage ayant de bonnes performances mécaniques et de bonnes performances en termes de fatigue. Le CoCrMo est également utilisé dans le médical, pour faire des prothèses.

L'**inox** est également largement concerné par la fabrication additive. L'inox martensitique (ou MS1), le PH1 ou le StainlessSteel GP1 sont réputés pour leur grande capacité à résister à la corrosion et à se déformer sans rompre. Tous ne nécessitant pas forcément un traitement ultérieur. Néanmoins le MS1 fait l'objet d'un traitement thermique qui lui permet de renforcer sa solidité et sa dureté. L'inox permet la fabrication d'outillage rapide (découpage, extrusion...) et de moules dans les domaines de l'aéronautique, l'astronautique et l'automobile.

En ce qui concerne l'aluminium, l'impression 3D fait appel à la poudre d'alumide. C'est un mélange qui intègre la poudre polyamide et l'aluminium pour cumuler des bonnes performances en termes de solidité et de flexibilité. L'aspect est proche du métal et l'impression se fait par frittage laser.

### **Les autres matériaux : de la traditionnelle céramique...**

De manière plus anecdotique, le dépôt de matière, la projection de liant ou le frittage laser peuvent permettre de fabriquer des objets en **céramique**. Pour l'instant elle ne représente qu'une part marginale du marché de l'impression 3D mais cette matière est riche d'une très longue histoire (notamment dans l'industrie française) et elle est notamment utilisée pour ces capacités isolantes, sa résistance au frottement et à la chaleur ou sa stabilité chimique. A ce titre elle est employée sur les batteries, pour faire des roulements à bille ou encore des prothèses. Une fois imprimé, l'objet en céramique doit faire l'objet d'un travail de post production supplémentaire, il est durci et émaillé pour avoir sa forme lisse et définitive.



En France, c'est notamment l'entreprise 3D CERAM qui est positionnée sur cette niche.

### ... aux matériaux composites

Enfin les matériaux **composites** (tel que la **fibres de verre, la fibre de carbone ou le kevlar**) constituent également un marché naissant pour lequel des relais de croissance sont attendus dans les industries automobiles et aéronautiques.

Pour citer quelques exemples :

- L'entreprise américaine 3Dom a développé Glass Filled PLA, un fil de PLA renforcé par de la fibre de verre pour une plus grande résistance.
- L'entreprise bretonne Nanovia a développé des rouleaux des fils thermoplastiques biosourcés à base de fibres de lin, carbone et fibres d'aramide.
- Enfin le kevlar permet de renforcer l'ABS et d'améliorer la qualité des pièces



## LE MARCHÉ DE L'IMPRESSION 3D EST AUSSI UN MARCHÉ DE LA DIGITALISATION DE LA PRODUCTION

Au-delà des évolutions en termes de procédés et de matériaux, le phénomène de l'impression 3D est largement le corolaire d'évolutions en provenance du secteur du logiciel.

Le plus évident vient de la **conception assistée par ordinateur (CAO)**, qui a pris une place dont l'importance est de plus en plus centrale dans tous les segments d'activités productifs (industrie, BTP etc...). Les logiciels de conception peuvent fonctionner sous des licences propriétaires comme Solidworks, qui contribue d'année en année à renforcer l'activité de l'entreprise Dassault Systèmes. Mais une vraie tendance de fond émerge aussi autour de logiciels libres tel que Blender ou Sketch-up. Ces logiciels permettent de créer des pièces en 3D de manière de plus en plus précise et instinctive.

De même, la réalisation physique de la pièce nécessite la mise en place de logiciels qui permettent de découper l'objet en tranches d'impression (on appelle ça les **slicers**) et de guider la machine en tenant compte des contraintes physiques qui sont imposées à la pièce.

Ici ce sont plutôt les fabricants d'imprimantes qui vont fournir les solutions **propriétaires**. On peut citer des exemples de pilotes comme Makerware (Makerbot), Up (PP3DP), Cube (3DSYSTEMS) ou Z-suite.

Mais des solutions open source tel que Replicator G, Repetier ou **Cura** sont également très intéressantes. Sur le secteur du logiciel on sent donc concrètement les points de convergence entre le digital et la production physique.

D'un point de vue technique cela entraîne des évolutions intéressantes. Le **format de fichier .stl**, qui est un des types de fichier les plus utilisés en 3D a été conçu dans le cadre du développement de la stéréolithographie par 3D systems par exemple.

D'un point de vue commercial on voit clairement émerger deux types de leaders sur ce segment d'activité, avec d'une part les **éditeurs classiques** du monde de la CAO comme Dassault Systèmes ou Altair et d'une autre les éditeurs proposant des logiciels **spécialement conçus pour l'impression 3D**. ESI Group fait partie de cette catégorie.

De nombreuses coopérations et opérations de fusion se mettent actuellement en place entre ces deux types d'entreprises. Stratasys et Dassault ont par exemple travaillé ensemble sur la plateforme 3DEXPERIENCE, qui fait le lien entre les pièces 3D et leur impression.

## LA PRODUCTION ET LE CONTRÔLE DES PIÈCES

La conception d'une pièce en fabrication additive et sa production se fait souvent en **interne** dans les entreprises. Ainsi Airbus a commencé à employer des éléments fusionnés sur lit de poudre sur l'A350.

Elle peut néanmoins avoir vocation à être **externalisée**. La conception de la pièce peut avoir des niveaux variables de complexité. Des sociétés de conseil en ingénierie tel qu'Assystem ou Sogclair sont parfois amenées à apporter leur support dans les logiques de production.

Bien que nouveau, le segment de la fabrication additive se doit, à l'instar de nombreux autres procédés industriels, de respecter un certain nombre de **contrôles**.

Ces contrôles s'effectuent aussi bien au niveau des matières premières, que pendant le process ou après le traitement thermique.

En ce qui concerne le contrôle des pièces issues de la fabrication additive, deux entreprises sont particulièrement bien positionnées sur ce marché : Elements Material Technologies (suite au rachat **d'Exova**, leader dans le domaine) et **ELEMCA**, bras armé du CNES en la matière.

Le contrôle de la pièce terminée se fait en général par un **scann 3D optique** pour une analyse simple. Pour des analyses plus complexes d'autres technologies sont également employées comme la **métrologie, et la tomographie à rayon X**.

La première technique est réalisée notamment par des machines à mesurer tridimensionnelle (ou MMT) Ces machines vont obtenir les coordonnées de points mesurés (palpés) sur la pièce pour la caractériser.

La tomographie à rayon X consiste elle à analyser l'interaction entre les rayons X et l'objet pour générer une représentation « en coupe » de l'objet en 3D.

Le processus reste long et coûteux, mais il permet d'effectuer un contrôle dimensionnel et géométrique pour visualiser les différences entre le fichier numérique initial et la pièce effectivement réalisée. Les défauts internes (poudres non fusionnée, débris de supportage etc..) sont analysés et l'impact des différents défauts sur les propriétés mécaniques de la pièce sont quantifiés.

On le voit donc, l'impression 3D se structure et émerge petit à petit comme une composante pleine de la nouvelle donne industrielle. A ce titre les stratégies des entreprises sont très différentes, certaines vont chercher à faire le lien entre tous les domaines d'activité rattachés à l'impression 3D, d'autres vont adopter une stratégie de niche. Les opérations de fusions et acquisition ne manquent pas dans ce secteur en ébullition. On peut citer notamment Addup, la joint-venture créée entre Fives et Michelin ou encore le rachat de Prodways par Gorgé. Une nouvelle ère s'ouvre et nombreux sont ceux qui veulent partir en pole position.

