

Fabrication additive : où en sommes-nous ?

Par Pascal MORAND

Président exécutif de la Fédération de la couture, du prêt-à-porter, des couturiers et des créateurs de mode, membre de l'Académie des Technologies

Joël ROSENBERG

Responsable Innovation à la direction de la Stratégie du ministère de la Défense

et Dominique TURCQ

Président-fondateur de l'Institut Boostzone

Révolution lente et profonde donnant lieu à une innovation technologique continue, la fabrication additive représente une partie importante de l'industrie du futur. Elle va impacter non seulement l'écosystème de pratiquement toutes les industries (savoir-faire nécessaires, logistique, conception de produits, vente, etc.), mais également l'écosystème économique global (emploi, offre, demande).

Prenant acte de ce vaste enjeu aux multiples conséquences et du retard de la France dans ce domaine, le Conseil général de l'Armement a lancé, en 2014, une initiative en vue de clarifier la situation et de formuler des recommandations. Il s'est rapproché, pour ce faire, de la Chambre de Commerce et d'Industrie Paris Île-de-France afin de réaliser un rapport conjoint. Un institut de réflexion et de prospective, Boostzone, a également été associé à cette réflexion partagée. Cela a conduit à la rédaction d'un rapport dressant un panorama des différentes technologies utilisées et de leurs points clés, réalisant un *benchmark* international et présentant les industriels qui maîtrisaient à l'époque une partie de la chaîne de l'impression 3D. Ce rapport a également traité du phénomène des *makers* et de son écosystème de *start-ups*, de la mutation des modèles économiques et des applications dans des secteurs aussi divers que l'aéronautique, le médical, la construction et la mode ⁽¹⁾. Les trois auteurs de ce rapport s'appuient ici sur celui-ci, tout en faisant état des développements récents tant dans les technologies et leurs applications qu'en matière d'initiatives publiques.

Quel constat ?

En France, nous avons, certes, de fortes compétences en matière de fabrication additive, mais elles étaient diffuses, ou alors concentrées dans des endroits relativement secrets. Ensuite, la mode des *makers* et l'engouement pour les *fab labs* (fort louable en soi, car il s'agit souvent de la première étape pour passer de la conception en numérique vers la réalisation directe de petits objets) ont accompagné un mouvement sociétal. Même si cette popularisation de l'impression 3D est importante pour la compréhension par tous de ce qu'elle permet de réaliser, les enjeux de cette technologie sont plus dans les produits qui seront mis à disposition des individus et des entreprises que dans la possibilité, pour tout un chacun, d'avoir une imprimante 3D chez soi. Sur le fond, la fabrication additive n'est pas un « gadget », mais un enjeu industriel majeur.

Cette technologie est certes opérationnelle dans le formage de très nombreux matériaux, comme les polymères, les cires ou les résines : les machines sont nombreuses et variées, à tous les prix, correspondant à des niveaux allant d'amateur jusqu'à industriel.

(1) Ce rapport a été présenté fin 2015 au ministère de la Défense, ainsi qu'aux cabinets de François Hollande et d'Emmanuel Macron et à tous les acteurs concernés. Il a donné lieu à différents séminaires à la CCI Paris Île-de-France, qui ont associé nombre de PME. Les autorités publiques ont ensuite réuni les industriels et les grandes institutions de recherche qui s'intéressaient à cette technologie, sous l'égide de l'Alliance pour l'Industrie du futur. Ceux-ci ont fixé eux-mêmes les priorités et les thèmes qu'ils entendaient traiter et partager : machines, procédés, matériaux, chaîne numérique, etc. En parallèle, ces mêmes acteurs du terrain élaborent la feuille de route de la fabrication additive en France. Ces échanges entre différents secteurs qui n'avaient a priori aucune raison de travailler ensemble sont fructueux (nous citerons des travaux croisés entre les industriels de l'automobile et ceux du secteur aéronautique-défense).

Il y aura des évolutions, voire des révolutions, en matière de matériaux ou de traitement de multimatériaux, mais l'offre est déjà très abondante. Le véritable enjeu pour l'industrie d'aujourd'hui, et plus encore pour celle du futur, est dans les matériaux métalliques : on compte aujourd'hui une dizaine de fournisseurs vendant, dans le monde, des machines de fabrication additive de ce type de matériaux.

Pour les métaux, réaliser une série de quelques milliers de pièces avec un niveau de qualité élevé reste très compliqué, car les machines, les matériaux et les processus ne sont pas encore assez stables et standardisés. Il y a encore beaucoup de compétences à mettre en œuvre pour fiabiliser la qualité de la mise en forme de la matière première, stabiliser les machines, travailler sur des traitements des pièces après fabrication qui seront d'une très grande variété et complexité. Surtout, il faudra caractériser la qualité et la fiabilité dans le temps des pièces produites – dans l'aéronautique, cela s'appelle la certification.

Face à une technologie qui n'est pas mature et qui présente une telle diversité de paramètres clés, de matériaux et de procédés, un maillage national qui mette en réseau ressources et compétences est plus que nécessaire avant d'aborder des coopérations et des comportements concurrentiels internationaux.

En résumé, la France est partie en retard dans la course à l'impression 3D, mais comme les vraies solutions industrielles sont encore à développer, il existe toujours un important gisement d'opportunités.

Enfin, nous avons la chance d'avoir au moins trois constructeurs de machines français de classe internationale : le groupe Gorgé au travers de sa filiale Prodways, Fives-Michelin et BeAM. Ils seront évidemment au cœur du dispositif qui doit fournir à l'industrie française, de l'amont (préparation des matériaux, recherche de matériaux nouveaux) à l'aval (réalisation de pièces au *design* inédit), un soutien comme le font les grandes nations industrielles concurrentes. Comme dans tous les pays industrialisés, il faut prendre garde à ce que la consolidation à venir dans cette industrie n'appauvrisse pas notre capital industriel et intellectuel national.

Les solutions *AddUp*⁽²⁾ sont encore en phase de lancement, mais ce sont celles qui présentent la plus grande maturité technologique grâce aux réalisations de Michelin, qui propose aujourd'hui les machines qui sont probablement les plus abouties pour la fabrication industrielle et produit par impression 3D déjà 600 000 pièces en métal par an. Ces pièces sont des éléments de moules en acier, certes de petite taille, mais remarquables de par leur complexité et leur qualité de réalisation.

BeAM présente une solution originale et très intéressante : une étude de faisabilité vient d'être notifiée pour la réparation de certaines pièces du Rafale au sein des ateliers de l'armée de l'Air. Leur technologie, qui sera, dans ce cas, utilisée pour du rechargement, consiste à projeter des particules métalliques sur la surface à traiter en utilisant la fusion laser. Si le projet fournit des résultats convaincants, cette technologie pourra s'appliquer à beaucoup d'autres pièces, générer des économies substantielles et réduire dans un certain nombre de cas les délais d'approvisionnement.

Le signe que la fabrication additive est en train de devenir un enjeu industriel majeur est le fait qu'elle se traduit par une véritable course au niveau mondial dans la conception d'une machine de fabrication additive de pièces métalliques de qualité industrielle.

Le fait que General Electric (GE) ait proposé 1,4 milliard de dollars, fin septembre 2016, pour mettre la main sur le numéro deux allemand SLM Solutions et le suédois Arcam – qui détiennent un procédé qu'ils sont les seuls au monde à maîtriser –, montre que ce sera pour eux un axe stratégique de développement.

Le 25 octobre, le rachat de SLM Solutions était annulé et, le 27, GE annonçait qu'il achetait un autre allemand, Concept Laser, pour 549 millions d'euros. Même si leurs machines ne sont pas les meilleures en termes de qualité et de productivité, le groupe GE devrait pouvoir les aider à monter rapidement en compétences. En effet, le groupe américain s'est fixé comme objectif d'imprimer 100 000 injecteurs – un type de pièce particulièrement complexe qui rend la production par impression 3D pertinente – par an pour son turboréacteur Leap (*Leading Edge Aviation Propulsion*), ce qui est une cadence inédite en matière de fabrication additive.

GE se positionne ainsi à la fois comme l'un des premiers utilisateurs, mais aussi comme un futur géant du domaine des machines de la fabrication additive. Au final, on voit que la révolution à venir attire de très grands groupes industriels qui font désormais passer les « gros » de l'impression 3D pour des « petits ». Cela implique de la part des autorités une vigilance stratégique et une véritable politique de développement de cette industrie tout à la fois du côté des machines et des matériaux que de celui des processus et des différentes industries utilisatrices. La plupart des acteurs de cette industrie sont encore vulnérables financièrement : leur capitalisation boursière est limitée alors que leurs besoins financiers de développement sont importants. Il est peu probable que cette industrie débouche sur de fortes capitalisations boursières (car la rente à prévoir sera captée plutôt par les utilisateurs que par les acteurs industriels de la filière) ; en outre, le risque de voir des entreprises innovantes absorbées par de grands groupes internationaux est élevé. C'est un enjeu crucial en termes de propriété intellectuelle.

Ces technologies sont cependant encore en amorce de démarrage industriel. Il leur reste par ailleurs à mieux intégrer l'impératif du développement durable. D'un côté, l'impression 3D est à cet égard performante, car elle permet de réaliser des économies de matières conséquentes et elle contribue à un excellent bilan carbone en rendant obsolète le transport des marchandises et des produits semi-finis. Mais, de l'autre, comme l'a souligné le rapport que l'Académie des Technologies a consacré à cette thématique, le problème du recyclage des poudres non utilisées reste entier, et il faut poursuivre des recherches approfondies sur l'usage des très hautes températures dans le processus de solidification des matériaux qui comporte des zones d'incertitude, si ce n'est de pénombre. Il reste aussi à intégrer de nouveaux éléments relatifs à la sécurité des installations

(2) La joint-venture (JV) Fives-Michelin.

et des personnels travaillant avec ces matériaux : c'est certainement là un verrou que les pouvoirs publics devraient contribuer fortement à faire sauter de façon à permettre l'utilisation rationnelle de ces machines au sein des ETI et PME, voire de TPE très spécialisées.

Il y aura évidemment des révolutions en matière de *design*, de nouveaux modes de contrôle de procédés et de certification de pièces, des liens de plus en plus étroits avec le développement de micro- ou de nanocapteurs et l'Internet des objets, de nouveaux logiciels, etc. Il reste beaucoup de place pour innover et l'on devrait continuer à voir émerger des *start-ups* très innovantes pendant encore de nombreuses années. Pour preuve, on peut citer le grand nombre de jeunes sociétés travaillant sur de nouvelles technologies d'antennes pour des applications aéronautiques (avec un gain de place de trois sièges dans un avion) ou encore une première mondiale réalisée en septembre 2016 par la *start-up* XTreeE, qui a imprimé un bâtiment en béton avec des formes topologiques... Ce qui est clair, c'est que la fabrication additive ne cessera de nous surprendre !

De nouveaux modèles économiques

Une surprise pourrait bien venir des innovations de modèle économique induites par la fabrication additive. Ainsi, l'impression 3D donne lieu à de nouveaux types de synergie par la formation de communautés d'experts travaillant en *open source*, selon un mode opératoire qui tient autant de la créativité du *fab lab* que d'un processus de rationalisation technologique. Citons l'exemple désormais classique de Local Motors, qui a présenté en 2014 la première voiture imprimée en 3D (à l'exception de son moteur). Cette plateforme réunit plusieurs dizaines de milliers d'experts sur le Net, qui contribuent quotidiennement à son développement. La viabilité de ce modèle donne lieu, toutefois, à maints débats dans le contexte plus général de *reengineering* d'une industrie automobile, où la fabrication additive est très présente, en particulier dans sa branche prototypage.

Par définition, une machine imprime les objets un par un. Cela ne permet donc pas la réalisation d'économies d'échelle. C'est pourquoi en matière d'impression 3D le prototypage est plus facile à mettre en œuvre que la production en série.

Toutefois, celle-ci est désormais possible dans certains secteurs (dans l'aéronautique, en particulier), car l'impression 3D permet de limiter le coût de production d'objets très complexes, coûteux individuellement, mais qui de toutes les manières continueront d'être produits.

Plus généralement, les avantages de l'impression 3D dans ces cas sont multiples : outre un prototypage beaucoup plus aisé, plus besoin de stocks, possibilité d'une reconfiguration du système de production et, à terme, une réparation des pièces largement facilitée. Il ne faut certes pas perdre de vue l'enjeu de productivité lié au temps de réalisation de l'objet. Les situations sont très variables, mais il est des cas où la réalisation d'un objet sophistiqué de quelques centimètres cubes peut durer des heures ! La diminution des temps d'impression est toutefois un facteur

de progrès qui est constamment recherché. Prodways a ainsi réduit à quelques minutes l'impression d'un objet en résine par photopolymérisation.

Ces technologies de fabrication additive ont également un immense intérêt pour des pièces qui ne sont plus en production, car elles permettent d'éviter de remettre en place la chaîne de production, une opération très coûteuse et génératrice de délais importants. La fabrication additive de pièces en matériaux organiques est déjà effective dans l'industrie aéronautique, et les applications de cette technique à des pièces métalliques foisonnent, notamment pour des prototypes ou de toutes petites séries : il reste, pour passer à une autre échelle, à être capable de certifier les pièces produites, et donc d'assurer leur qualité structurale dans la durée. Ce n'est là qu'une question de R&D, de méthode et de temps : la substitution des modes de fabrication par l'impression 3D sera décidée ensuite suivant les pièces ou sous-ensembles à réaliser et en fonction du rapport coût/performance.

Ceci étant dit, la copie est plus aisée et la propriété intellectuelle est donc l'un des gros enjeux à venir. Comment distinguer une pièce qualifiée aéronautique d'une imitation dangereuse pour l'aéronef et ses passagers ? Une sculpture de Rodin et sa reproduction à l'identique ?

Déjà, des industriels développent le passage au stade commercial de l'industrie du futur en combinant trois évolutions : l'écologie, la réparabilité et l'impression 3D.

Ainsi, le groupe Seb, qui est très en avance sur ses concurrents internationaux, a décidé d'aller vers 100 % de réparabilité de ses produits, ce qui implique une refonte de ses modes de production industrielle, une révision de la logistique de ses pièces détachées (et donc une empreinte plus large, à l'avenir, de l'impression 3D) et une révision de sa logistique de réparation (avec une logique de décentralisation vers des réparateurs locaux, etc.). Les impacts écologiques se situent au niveau des appareils qui ne seront plus jetés et donc d'un moindre gaspillage de ressources. Les impacts économiques pour l'entreprise sont au niveau de sa production et de sa logistique. Les impacts commerciaux se situent, quant à eux, au niveau de la satisfaction de consommateurs, qui sont en attente de produits plus personnalisés, réparables, écologiques, robustes, etc. Les impacts sociaux le sont au niveau de la création de nouveaux emplois.

Prenons maintenant pour illustration deux secteurs de l'économie se situant aux antipodes l'un de l'autre, mais ayant en commun l'excellente position qu'occupent des entreprises françaises sur la scène internationale.

L'aéronautique et la défense

Nous avons déjà mentionné plus haut nombre d'applications de la fabrication additive dans ce secteur... Ce qui sera recherché, ce sont de nouvelles performances. Par exemple, une pièce qui va garder le même contour pourra être évidée tout en conservant la même tenue structurale, mais avec un gain de masse de 60 à 70 %... Certaines pièces, comme les injecteurs, étaient autrefois un assemblage de plusieurs dizaines de petites pièces très difficiles

à monter. Les injecteurs – qu'ils s'agisse de ceux du turboréacteur Leap de GE ou du moteur Arano du dernier hélicoptère lancé par Safran – sont désormais imprimables en un seul bloc. On peut imaginer de nouvelles géométries pour les parties les plus chaudes des moteurs afin de pouvoir monter plus encore en température et donc d'améliorer le rendement des moteurs. Plus il y a de complexité dans la pièce – pour une meilleure fonctionnalité – et plus la fabrication additive sera adaptée et sera finalement l'unique façon de résoudre certains problèmes de fabrication. Citons encore le drone Neuron, un prototype aux allures futuristes, qui contient une centaine de pièces imprimées en 3D (dont la moitié en métal) qui concourent, pour certaines d'entre elles, aux performances remarquables de cet aéronef « *stealth* » sans pilote.

La mode et le luxe

Dans ce domaine, on utilise aussi bien la stéréolithographie (qui permet les meilleurs traitements de surface, mais qui conduit aussi, on le sait, à une certaine fragilité de l'objet) que le frittage de poudres (qui bénéficie des meilleurs propriétés mécaniques).

Ce que l'on peut énoncer sur un plan général, c'est que l'impression 3D se prête plus naturellement aux matériaux durs qu'aux matériaux souples, et plus directement aux formes géométriques qu'aux formes organiques. C'est pourquoi les secteurs où elle est la plus répandue sont la bijouterie-joaillerie, la lunetterie et l'horlogerie.

C'est dans la bijouterie-joaillerie qu'elle a été mise en œuvre le plus rapidement (depuis longtemps, pour l'impression des moules), ce à quoi s'ajoute désormais la réalisation directe de bijoux (notamment en céramique). La lunetterie s'est plus récemment emparée du potentiel de l'impression 3D, de nombreuses marques (anciennes et nouvelles) proposent ainsi des montures personnalisées tout en explorant la possibilité d'en faire de même avec les composants optiques. L'horlogerie, enfin, peut réaliser certains de ses composants en impression 3D et compter sur les avancées à venir de l'impression métal. De nombreux progrès restent à accomplir. L'éventail des matériaux utilisables est limité et le résultat obtenu évite difficilement la rugosité et les aspérités, un travail substantiel de finissage est donc nécessaire au point que des *start-ups* ont développé des initiatives adaptées à ces enjeux.

L'utilisation de l'impression 3D dans la mode peut porter sur des structures rigides qui viennent orner les vêtements. Mais on peut aussi traiter des matériaux souples en utilisant des polyamides ou le TPU (*Thermoplastic PolyUrethane*), dont les vastes possibilités sont exploitées dans l'impression de semelles aussi bien que dans celle de broderies et de dentelles très élaborées. L'industrie du sport, en particulier, dispose là d'un terrain propice à la créativité.

Enfin, on constate, tant sur les podiums que dans les musées (ainsi lors de la récente exposition Manus x Machina, au *Metropolitan Museum of Art* (MET) de New York, où furent présentées les créations en 3D de Karl Lagerfeld pour Chanel et d'Iris van Herpen), que l'impression 3D est devenue le symbole le plus fort d'innovation techno-

logique pour les créateurs de mode. On peut aussi imaginer que des marques proposeront à leurs clients de réaliser eux-mêmes certains de leurs produits simples, de la même manière qu'elles mettent depuis fort longtemps à leur disposition, dans certains magazines, des patrons de vêtements à réaliser soi-même.

Emploi nouveaux et compétences nouvelles

La mise en œuvre de l'impression 3D dans une entreprise suppose que l'on en revoie les méthodes de production et d'organisation, ce qui n'est jamais aisé, même si cela peut aussi représenter des opportunités concurrentielles majeures. Cela impose de conduire une politique proactive de formation et d'accompagnement, sachant que comme toute mutation technologique, l'impression 3D s'accompagne de suppressions comme de créations d'emplois, qui ne sont pas de même nature.

Les disparitions de postes seront probablement mineures, car cette technologie ne vient pas se substituer à des *process* existants, sauf dans de rares cas (comme la fabrication de pièces détachées en aéronautique, comme nous l'avons déjà mentionné plus haut).

Cette technologie ouvre, par contre, la voie à de très abondants nouveaux savoir-faire, depuis le *design* des objets ou des moules permettant plus de variations, plus de personnalisation, jusqu'à la conception de la production (même celle des objets qui resteront dans un mode de production plus traditionnel, comme la fabrication en série par techniques soustractives ou par moulage, notamment de par l'impact de la réparabilité), à celle du *marketing* et de la vente, de la logistique, de la réparation et des nouvelles technologies permettant de suivre les réactions des consommateurs, leurs usages, l'usure des produits, etc., notamment de par le lien avec la connectivité des objets (la fabrication *ad hoc*, la notion de série courte et la réparabilité demandent des suivis, désormais rendus possibles par les objets connectés, des usages et de l'usure).

Les modifications de savoir-faire sont importantes et de nombreux métiers vont devoir s'adapter à ces innovations tant industrielles que commerciales.

Il va falloir réinventer ou développer des savoir-faire en matière de *design*, de production, de maintenance, de gestion des *process* de production, de sécurité, de suivi des produits, de *marketing* et de vente. Toutefois, ces modifications ne sont pas totalement disruptives, et c'est là un point très positif pour l'impact de la fabrication additive sur l'emploi. Elles sont plutôt additives. En effet, un savoir-faire *marketing*, en matière de prototypage ou de conception de produits, etc., va être enrichi par les nouvelles possibilités, et non remplacé par la nouvelle technologie. L'imagination et la créativité de toutes les fonctions, dans tous les métiers, devront être sollicitées. En cela, la fabrication additive peut jouer dans les entreprises un rôle similaire à celui des *fab lab* dans la société, c'est-à-dire celui d'un aiguillon positif très éloigné de la menace habituellement perçue lorsque l'on évoque l'automatisation et la robotique.