

La fabrication additive : une révolution au XXI^e siècle

Joël ROSENBERG

Ingénieur en chef de l'Armement

Chargé de mission au sein de la direction de la stratégie de la DGA

—
Ni la DGA, ni le ministère n'ont pris de position sur ce sujet
et les propos n'engagent que l'auteur de l'article.

Révolution lente et profonde, donnant lieu à une innovation technologique continue, l'impression 3D, que l'on appelle aussi « fabrication additive », représente un enjeu important de l'industrie du futur. Elle va impacter l'écosystème économique global (emploi, offre, demande et investissement) et l'écosystème de pratiquement toutes les industries (savoir-faire, logistique, conception de produits, vente, etc.). Prenant acte de ce vaste enjeu aux multiples conséquences, le Conseil général de l'armement, organe de réflexion directement rattaché au ministre de la Défense, s'est rapproché de la Chambre de commerce et d'industrie Paris Île-de-France afin de réaliser un état des lieux et de formuler des recommandations¹. Le rapport issu de ces travaux présentait un panorama des différentes technologies utilisées et de leurs points-clés, des industriels qui maîtrisaient une partie de la chaîne de l'impression 3D ainsi qu'une analyse du phénomène de « makers² » et de son écosystème de *start-up*, de la mutation des modèles économiques et des applications dans des secteurs aussi divers que l'aéronautique, le médical, la construction, le *design*³. Cet article, s'appuyant sur ce rapport, fait état des développements récents s'agissant des technologies et des applications, notamment dans le domaine militaire.

Un enjeu industriel

Nous disposons de fortes compétences en France, mais diffuses ou concentrées dans des endroits relativement secrets, chez quelques grands industriels et des PME très spécialisées. La mode des *makers* et l'engouement pour les « *fab labs*⁴ », 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, a quelque peu faussé la vision

1. Joël Rosenberg, « L'impression 3D : porte d'entrée dans l'industrie du XXI^e siècle », <http://www.cci-paris-idf.fr/sites/default/files/etudes/pdf/documents/impression-3d-etude-1509.pdf>

2. De l'anglais « *to make* », fabriquer. Ce sont les amateurs de projets tournés vers la technologie et adeptes d'une culture contemporaine du « *do it yourself* », « faites-le par vous-même ». Les domaines typiques de ces projets sont la robotique, l'électronique, l'impression 3D.

3. Le rapport, auquel a été associé un institut de prospective, Boostzone, a été présenté fin 2015 au ministre de la Défense ainsi qu'aux cabinets du président de la République et du ministre de l'Économie d'alors, Emmanuel Macron, et à tous les acteurs concernés. Il a donné lieu à différents séminaires. Reprenant les recommandations du rapport, les industriels et les grandes institutions de recherche ont organisé en 2016, sous l'égide de l'Alliance pour l'industrie du futur, un groupe de travail et ont fixé eux-mêmes les priorités et thèmes qu'ils entendaient adresser et partager : machines, procédés, matériaux, chaîne numérique, etc. Il en est issu une première feuille de route de la fabrication additive en France qui sera remise fin juin 2017 au nouveau gouvernement. Ces échanges entre différents secteurs qui n'ont *a priori* aucune raison de travailler ensemble sont fructueux : citons notamment les travaux croisés entre des industriels de l'automobile et ceux du secteur aéronautique-défense.

4. Un « *fab lab* », contraction de l'anglais « *fabrication laboratory* » – laboratoire de fabrication –, est un lieu permettant la fabrication de divers objets. Un *fab lab* est à l'origine un lieu cadré par le *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) et la *FabFoundation* qui propose un ensemble de logiciels et solutions libres et *open source* ainsi qu'une charte de gouvernance. Ces *fab labs* sont réunis en un réseau mondial très actif. En France, s'est développé aussi un modèle de « *makerspace* », sorte d'ateliers de fabrication numérique dont certains sont antérieurs aux *fab labs*. Il y a eu un amalgame entre les deux notions et l'on désigne souvent par le terme *fab lab* ce type d'ateliers bien qu'ils ne respectent pas toujours les critères élaborés par le MIT (par exemple des *fab labs* d'entreprises, qui n'utilisent pas l'*open source*, ne sont pas ouverts au public et ne sont pas connectés au réseau mondial des *fab labs* qui observent la charte du MIT).

que l'on peut avoir de l'impression 3D. Car les enjeux de cette technologie résident plus dans les produits et la manière de les mettre à disposition des individus et des entreprises que dans la possibilité pour chacun d'avoir une imprimante chez soi. Sur le fond, la fabrication additive n'est pas un « gadget » mais un enjeu industriel majeur.

Cette technologie est opérationnelle depuis de nombreuses années pour de très nombreux matériaux comme les polymères, les cires, les résines. Les machines sont aujourd'hui nombreuses et variées, à des prix correspondant à des besoins amateurs comme professionnels : il y aura des évolutions, des révolutions sur les matériaux ou le traitement de multi-matériaux, mais l'offre est déjà très abondante. Le vrai enjeu aujourd'hui, et plus encore demain, réside dans les matériaux métalliques : on compte à l'heure actuelle moins d'une quinzaine de fournisseurs de machines de fabrication additive « métal » dans le monde.

Le principal intérêt de la fabrication additive tient à la fabrication de pièces très complexes en quelques heures quand il faut parfois de 18 à 24 mois avec les procédés classiques. Le surcroît de complexité n'entraîne pas ou peu de surcoût en fabrication additive puisque ce qui coûte, c'est le temps d'utilisation de la machine et surtout la quantité de matière première utilisée. La fabrication additive ouvre en outre la possibilité de réaliser des pièces que l'on ne savait pas fabriquer jusqu'à présent, par exemple plus légères tout en étant plus solides, multifonctionnelles ou encore intégrant plusieurs dizaines ou centaines de pièces détachées en une seule. Une nouvelle ère industrielle s'ouvre : fabriquer ce que l'on imagine, plutôt qu'imaginer ce qu'il était possible de fabriquer.

Toujours est-il que dans le métal, 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 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 les traitements des pièces après l'impression qui seront d'une très grande variété et complexité⁵ et surtout caractériser la qualité et la fiabilité dans le temps des pièces produites. Ces technologies s'appuient sur de très nombreuses techniques – notamment le dessin numérique en trois dimensions – mais l'une des clés les plus importantes reste les sciences des matériaux : le savoir-faire en métallurgie, loin d'être un corps de métier qui va disparaître, paraît ainsi plein d'avenir. Face à une technologie qui n'est pas

5. Le traitement d'une pièce après impression métallique, qui est souvent un mode de fabrication très agressif sur les matériaux, est fondamental dans certains cas (bains chimiques, traitements thermiques) pour donner à la pièce certaines caractéristiques de résistance ou de tenue dans le temps.

encore mature et qui présente une telle diversité de paramètres-clés, de matériaux et de procédés, un maillage national mettant en réseau ressources et compétences est plus que nécessaire.

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 – *via* le développement de micro ou nano-capteurs – avec l'internet des objets qui permettront de déceler la fragilité d'une pièce, de préparer une réparation ou d'imprimer une pièce de rechange et bien entendu de nouveaux logiciels pour des paramétrages plus simples, rendant les machines utilisables par des opérateurs moins spécialisés. Il reste beaucoup de place pour innover et l'on devrait continuer à voir émerger des *start-up* pendant encore de nombreuses années. Pour preuve, on peut citer de jeunes sociétés travaillant sur des nouvelles technologies d'antenne pour des applications aéronautiques, avec un gain de place de trois sièges dans un avion, ou encore la première mondiale réalisée par la *start-up X-Tree*, en septembre 2016, qui a imprimé un bâtiment en béton avec des formes topologiques. Ces techniques pourraient servir sur un terrain opérationnel à imprimer des « *shelters* » ou des protections renforcées dans un béton très solide. Ce qui est clair, c'est que la fabrication additive nous surprendra.

Un enjeu stratégique

Le signe que la fabrication additive devient un enjeu industriel majeur se traduit par une vraie course, au niveau mondial, pour la mise au point d'une machine de fabrication additive en métal 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 détient un procédé par faisceau d'électrons qu'il est le seul au monde à maîtriser –, acquisition réalisée quelques semaines plus tard, montre que ce sera pour eux un axe stratégique de développement. Et si, le 25 octobre, le rachat de SLM était annulé, dès 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 rapidement monter en compétences. Car le groupe américain s'est fixé comme objectif d'imprimer 100 000 injecteurs par an pour son moteur le plus récent, le *Leap*, réalisé en coopération avec *Safran*, ce qui est une cadence inédite dans la fabrication additive. GE se positionne ainsi à la fois comme l'un des premiers utilisateurs, mais aussi comme un futur géant du domaine de la machine 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 États une vigilance stratégique et une véritable politique de développement de cette industrie à la fois du côté des machines, des matériaux, des processus et des industries utilisatrices. La plupart des acteurs sont encore vulnérables financièrement, leur valorisation est limitée alors que leurs besoins financiers de développement sont importants. Il est peu probable que cette industrie débouche sur de fortes valorisations – la rente à prévoir sera captée par les utilisateurs plutôt que par les acteurs industriels de la filière – et le risque de



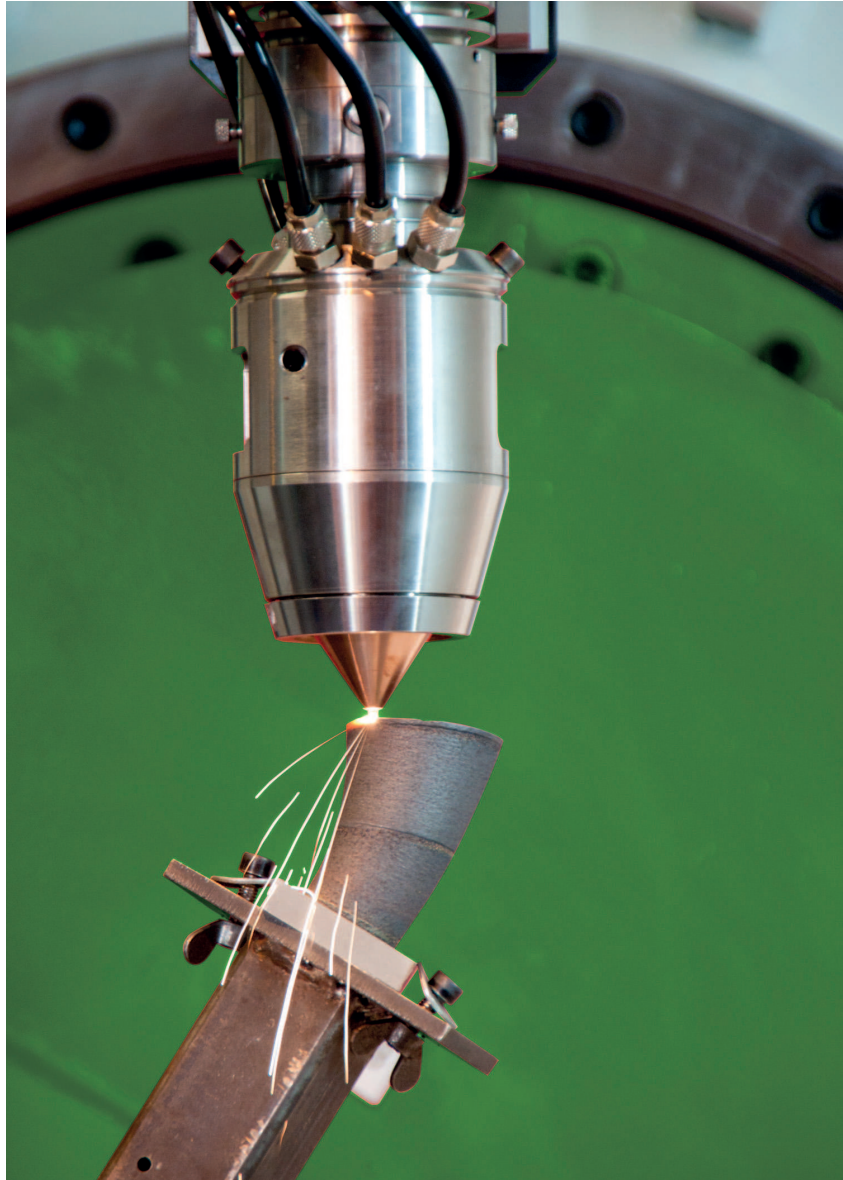
Imprimante 3D métal par faisceau d'électrons (EBAM). © Lockheed Martin.

voir des entreprises innovantes absorbées par de grands groupes internationaux est élevé. C'est un enjeu, car la fabrication additive est un domaine où les dépôts de brevet sont nombreux, notamment pour bloquer l'innovation des concurrents.

Partie en retard – au moins dans les offres commerciales – sur l'impression 3D, la France possède cependant de nombreux atouts dans son jeu. Elle a la chance d'avoir au moins trois constructeurs de machines de classe internationale: le groupe *Gorgé*, via sa filiale *Produways*, *Fives-Michelin*, rebaptisé *Addup* début 2017, et *BeAM*. Les solutions *AddUp* sont encore en phase de lancement, mais elles ont la plus grande maturité technologique grâce aux réalisations de *Michelin* qui présente probablement aujourd'hui les machines les plus abouties

au monde pour la fabrication industrielle. Ce fabricant de pneumatiques produit déjà en impression 3D 800 000 pièces en métal par an. Ces pièces sont des éléments de moules en acier, certes de petites tailles, mais remarquables par leur complexité et la qualité de la réalisation. *BeAM*, de son côté, présente une solution originale et très intéressante: une étude de faisabilité est en cours pour la réparation de quelques pièces du Rafale au sein des ateliers de l'Armée de l'air. Leur technologie consiste à projeter des particules métalliques en utilisant la fusion laser sur la surface à traiter. Si le projet fournit des résultats convaincants⁶, la technologie pourra s'appliquer à beaucoup d'autres pièces, générer des économies substantielles et diminuer dans un certain

6. Les études sont en cours, les procédés seront exploités dès que possible, mais s'agissant de nouveaux modes de réparation, plusieurs années sont nécessaires pour les validations techniques et les certifications.



Buse d'une imprimante 3D en fonctionnement.
© BeAM.

nombre de cas très significativement les délais d'approvisionnement. *Prodways*, qui a commencé par des machines de fabrication additive en matériaux organiques, s'oriente également vers des machines en métal avec un partenaire chinois et a fait l'acquisition de plusieurs sociétés de services bureau pour fabriquer sur commande des pièces.

Un enjeu militaire

La fabrication additive dans des matériaux organiques (plastiques, polymères) est maîtrisée et peut déjà servir dans les unités ou sur le terrain à fabriquer des pièces d'appoint ou des outillages.

En ce qui concerne le métal, la difficulté vient de la qualification des modes de fabrication par matériaux métalliques et, pour le moment, par machines. Pour les pièces qui peuvent avoir des aspects critiques – sur véhicules de transport, sur aéronefs, sur armement par exemple –, une certification de la tenue de la pièce, qui permet de s'assurer de ses performances sur une durée d'exploitation, ou de la réparation sur une pièce endommagée ou vieillissante, peut être de surcroît nécessaire.

Ce qui sera recherché tournera autour des nouvelles performances. Par exemple, une pièce qui va garder le même contour et pourra être évidée aura la même tenue structurale, mais 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 quand aujourd'hui – qu'il s'agisse du *Leap* de GE ou du moteur *Arrano* de *Safran* – elles sont imprimables en un seul bloc. On peut aussi imaginer de nouvelles géométries dans les parties les plus chaudes des moteurs afin de pouvoir monter encore en température et donc améliorer leur rendement. 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 à ses performances remarquables.

La fabrication additive va certainement à terme révolutionner toute la logistique en permettant d'imprimer là où on en a besoin des pièces, mais cela prendra du temps et ces travaux doivent être fédérés et centralisés pour optimiser les coûts et les délais de la courbe d'apprentissage de ces techniques.

Parallèlement à ces approches, les technologies s'accélèrent et permettront de mieux répondre aux problématiques d'usage. Il faut garder en mémoire que si ces machines peuvent traiter des métaux différents, il faut ensuite les nettoyer de fond en comble.

Enfin, les poudres métal sont fines et des protections particulières sont nécessaires pour protéger la santé des opérateurs. Elles seront disponibles sur les prochaines générations de machines.

Ces applications vont pouvoir se développer progressivement dans les chantiers d'entretien et de maintenance, en prenant le soin de qualifier les procédés et de certifier un certain nombre de fabrications. La grande taille des pièces utilisées par les marines peut constituer un vrai problème, mais il existe des solutions techniques qui doivent être développées. Là encore, un choix doit être fait par matériaux métalliques – l'essentiel des pièces que traitent les marines, comme les autres armées, étant en métal – et suivant des critères de prix et de disponibilité de pièces. Certaines marines ont déjà embarqué des imprimantes 3D à bord, mais il s'agit surtout d'imprimantes en matériaux organiques (polymères), ceci pour faire des tests et des échantillons d'éprouvettes à analyser. Quant aux imprimantes en matériaux métalliques, elles occupent un espace physique certain et nécessitent des protections pour les personnels qui les utilisent : cela n'est envisageable que sur de très grands bâtiments.

S'il faut retenir une conclusion, c'est que, pour l'impression en métal, les technologies ne sont maîtrisées aujourd'hui que par des spécialistes expérimentés. Les travaux et l'ensemble des coopérations lancés par les industriels devraient permettre de nombreuses innovations dont une meilleure accessibilité des machines, notamment avec celles qui sortiront dans les cinq années à venir. Il est probablement judicieux de commencer à préparer quelques études – certaines ont déjà été lancées –, de se tenir prêts à une maturation de ces sujets et de prendre le temps de former les personnels qui seront dédiés à ces nouveaux moyens. Car sur ces sujets, l'enjeu RH est essentiel : la bataille de l'imprimante 3D se joue autant sur la machine que sur l'Homme.