



L'impression 3D au service du soutien opérationnel

cahier de la pensée mili-Terre

Le Capitaine Hervé CAUET

publié le 25/05/2018

Sciences & technologies

Dans un souci d'amélioration continue, le principe d'optimisation du maintien en condition opérationnelle (MCO) des matériels aéronautiques, maritimes et terrestres selon le triptyque coût-délai-performance semble toujours pérenne. En rupture avec les schémas logistiques existants, les technologies d'impression tridimensionnelle pourraient devenir une solution alternative ou complémentaire à celles, plus traditionnelles, concourant à cette optimisation.

En 2013, lors de son discours sur l'état de l'Union, le président des États-Unis a prédit que l'impression 3D ferait partie des nouvelles technologies en mesure de dynamiser le secteur de l'innovation. Il a annoncé le lancement de centres de fabrication, futurs partenaires de la défense et de l'énergie.

En 2014, l'US Navy embarque sur le porte-avion USS Essex une imprimante 3D et organise à l'intention du personnel un maker faire intitulé «Print the Fleet». L'impression 3D est présentée alors comme un enjeu majeur dont l'objectif est de repenser sa supply chain.

Avec la volonté d'amélioration continue, il semble que le maintien en condition opérationnelle (MCO) des matériels aéronautiques, maritimes et terrestres soit à optimiser selon le triptyque coût-délai-performance. En rupture avec les schémas logistiques existants, les technologies d'impression tridimensionnelle pourraient devenir une solution alternative ou complémentaire à celles, plus traditionnelles, concourant à cette amélioration.

En effet, l'impression 3D est souvent présentée comme le début de l'ère de la troisième révolution industrielle. Il s'agirait donc, au sens économique, de ce que l'on appelle une «grappe d'innovation», comme ont pu l'être l'avènement de la machine à vapeur, l'internet...

Nous décrirons dans un premier temps ce qu'est l'impression 3D. Ensuite, nous aborderons l'intérêt que peut revêtir l'adoption de cette technologie pour le MCO. Enfin, nous terminerons en listant les impacts de la mise en place de cette technologie sous différents angles nécessitant d'être pris en considération.

L'impression 3D

-

De quoi s'agit-il?

Derrière le terme générique d'impression 3D ou fabrication additive, on trouve plusieurs procédés dont la finalité est peu ou prou identique et qui consistent à fabriquer, via une imprimante spécifique, un objet défini à partir d'un fichier numérique par ajout de matière, strate par strate.

Ce processus de fabrication permet, entre autres, de ne plus avoir à stocker physiquement sur place les articles et pièces nécessaires au bon fonctionnement d'une entreprise, mais au contraire de limiter le stockage à un fichier numérique.

Il peut représenter un facteur de gains car l'approvisionnement en articles ou pièces de rechange se fait alors au plus près du client et à la juste demande. En effet, seul le fichier 3D contenant les caractéristiques techniques du produit transite entre son lieu de conception et son lieu de production et d'utilisation. Cette fabrication de proximité induit une diminution de la circulation des matières premières entre les lieux d'extraction et les lieux de transformation, entre pays souvent éloignés. Par ailleurs, une fois le produit fini achevé, il n'est plus nécessaire de l'emballer, le palettiser et l'expédier.

En modifiant les chaînes logistiques, la perception d'économies est dès lors sensiblement palpable, en termes de volume d'entreposage, de dépenses de carburant, etc.

- Les pièces réalisables en impression 3D

Une imprimante peut créer différents objets, même complexes. Au-delà du plastique et du métal, les plus couramment travaillés par ce procédé, la variété des matériaux utilisables est importante et permet d'obtenir des produits résistants, plus même parfois que les modèles fabriqués traditionnellement. La recherche et développement du secteur est particulièrement active. Il est désormais possible d'imprimer des objets en bois, en ciment, voire multi-matériaux d'un seul tenant.

- Coût de revient et performances de l'impression 3D

Selon l'application et le degré de complexité de l'imprimante 3D désirée, la gamme de prix s'étend de 500 à 1.000.000 €. Tout repose donc sur la définition des besoins. À ce coût d'entrée, il faut bien entendu ajouter celui de la matière première, sur laquelle les fabricants réalisent des marges élevées. À titre de comparaison, le plastique ABS à 2 \$/kg en vrac, une fois transformé en poudre ou filament répondant aux exigences techniques, est tarifé entre 35 et 80 \$/kg. Toutefois, ne générant aucun déchet, les achats de matières premières sont réduits d'autant. La croissance et la concurrence du secteur tendent néanmoins à une diminution des tarifs.

La vitesse d'impression, elle, est liée à de nombreux critères dont les trois principaux sont le type de machine, la matière et le volume de la pièce à produire. Elle peut donc durer une heure comme des jours. La tendance est cependant à des modèles toujours plus performants. Alors qu'au début les imprimantes étaient cantonnées essentiellement à la fonction prototypage voire dépannage, elles deviennent compétitives pour la fabrication de petites séries. Le recours à ce type de production est en plein essor dans l'industrie aéronautique et automobile. Selon les consultants de l'agence Barkawi, l'ensemble de la production de Volkswagen devrait être assuré par des imprimantes 3D en 2035.

Les chiffres ci-dessus sont donnés à titre indicatif. Cependant, le nombre de grandes entreprises investissant dans ces technologies porte à croire qu'elles représentent un réel intérêt économique.

Le MCO et l'impression 3D

Le maintien en condition opérationnelle des matériels militaires (MCO) est l'ensemble des actions de maintenance préventive et curative réalisées par le ministère de la Défense ou par les industriels publics ou privés afin d'entretenir les matériels militaires. Il convient de se demander quels gains le maintien en condition opérationnelle pourrait tirer de l'utilisation de cette technologie.

- La nécessaire gestion des stocks

Avant d'exposer les avantages possibles de l'utilisation de l'impression 3D, il est opportun de redéfinir la notion de gestion de stock qui est une des activités liées au MCO.

Le stock est nécessaire aux maintenanciers. Son adéquation à la demande est un des facteurs de succès garantissant dans les meilleurs délais le service aux utilisateurs. Il a donc pour vocation de répondre à l'exigence opérationnelle en fonction du degré d'engagement des forces.

Le coût de gestion des stocks se caractérise par un coût de passation de commande, éventuellement un coût de rupture et un coût de possession. Ce dernier est lié au fonctionnement de l'entrepôt ainsi qu'à la dépréciation des articles dans le temps. Une bonne gestion de stock se traduit par la juste quantité nécessaire au bon moment. Si le stock n'est pas assez important, on parle de rupture. A contrario, un excédent est coûteux pour l'entreprise.

Le responsable de stock doit donc s'employer à garantir un service optimum à la clientèle (disponibilité quasi permanente des articles ou pièces proposés à la vente) tout en veillant au contrôle strict des coûts de stockage.

L'art du gestionnaire de stock consiste donc à maximiser le service rendu au client tout en minimisant les dépenses induites par les différents coûts. Il s'agit d'un difficile équilibre à trouver que résolvent en partie les logiciels de prévisions et planification.

Les problématiques d'entreposage^[3] diffèrent d'une activité à une autre. Concernant les armées, la typologie du stock est liée à des matériels pour la plupart spécifiques dont le cycle de vie est relativement long. Cela implique de détenir en quantité suffisante des articles très dissemblables.

- La place de l'impression 3D dans le MCO

Le recours à l'impression 3D, en remplacement de tout ou partie du stock nécessaire aux maintenanciers, peut donc se révéler très intéressant et présente un certain nombre d'avantages non négligeables.

Tout d'abord, comme nous l'avons souligné précédemment, les articles ne seraient plus stockés physiquement, mais numériquement.

Outre que le fait d'envoyer le fichier d'une pièce est plus rapide, facile et moins cher que d'envoyer la pièce elle-même, on pourrait facilement mettre à jour le fichier de la pièce et disposer en permanence de la dernière définition.

Une diminution des stocks de sécurité serait donc envisageable puisque la technologie offrirait la souplesse nécessaire pour répondre à la demande en fonction des impératifs. Tout en réduisant les frais d'entreposage, cela pourrait assurer la disponibilité de nombreuses nomenclatures. Toutefois, il conviendrait préalablement de réaliser un état exhaustif de celles susceptibles d'être concernées.

L'acheminement serait également concerné puisque l'impression 3D permettrait de dématérialiser le transport de la pièce de rechange du centre de stockage au lieu même de la demande. A titre d'exemple, lors de la mise en place d'une force, il est nécessaire de constituer une autonomie initiale de projection. Dans ce cas, la technologie de l'impression 3D permettrait de libérer une partie de l'espace dédié aux articles de

l'autonomie initiale et octroierait plus de souplesse pour le chargement du fret.

Mais également, à l'arrivée sur le théâtre, elle permettrait de pallier plus facilement l'imprévu et cela d'autant que les conditions d'accès à la ressource pourraient être difficiles.

L'impression 3D serait alors en mesure, selon les situations, de répondre de manière efficace à la demande du maintenancier dans des délais plus courts que les délais traditionnels. La simplification de la chaîne d'approvisionnement via la production sur site est ce que la société de transport maritime Maersk[®] expérimente actuellement sur ses navires. L'objectif final serait d'éviter une immobilisation trop importante du matériel et de garantir une disponibilité technique opérationnelle (DTO) élevée.

Dans le cadre du MCO Terre, où pourrait-on retrouver ces imprimantes?

- En métropole, au sein des régiments et base de soutien du matériel du service de la maintenance industrielle terrestre (SMITer). Si l'on considère que l'impression équivaut à une production, le choix se porterait plutôt vers ses unités de maintenance. Mais il est également envisageable de décider qu'il s'agisse d'une nouvelle mission dédiée aux approvisionneurs. Dans ce cas, la localisation pourrait être dans l'entrepôt national de pièces détachées de Moulins, voire dans les compagnies et groupements d'approvisionnement qui détiennent le stock avancé.
- En opération, elles pourraient être installées au niveau du sous groupement maintenance adapté au théâtre (SGMAT), qui est l'unité en charge du MCO de la force projetée. Enfin, pourquoi ne pas imaginer l'équipement des futurs Griffon ELI[®] d'une imprimante 3D afin de leur permettre d'étendre leur autonomie et leur champ d'intervention au plus près des forces combattantes?

Grâce à l'impression 3D, il est donc envisageable de donner de la flexibilité à une supply chain. Et, bien que toutes les pièces ne puissent pas faire l'objet d'une copie, les retombées de cette technologie sont néanmoins susceptibles de procurer des avantages sensibles en termes de coût et de performance: gain de temps par la rapidité et la souplesse du processus de fabrication, allègement de la maintenance, réduction du délai d'acheminement mais aussi de l'entreposage, etc.

Dès lors, elle se positionne aujourd'hui comme une solution intéressante et complémentaire de la gestion des stocks.

Les impacts de la mise en place de l'impression 3D

- Sécurité, certification constructeur et responsabilité

Si la capacité à créer des pièces en quantité suffisante est possible, encore faut-il s'assurer que la résistance soit conforme à l'original. Les techniques d'impression sont en mesure de réaliser des pièces aussi solides que par les procédés actuels, voire même plus performantes.

Cependant, il est nécessaire que les fournisseurs autorisent la copie, d'une part en termes de propriété intellectuelle car il ne s'agit pas de contrefaire, d'autre part en termes sécuritaires, parce qu'il est primordial que l'objet réponde aux normes du constructeur afin de garantir la protection des usagers.

Tout en observant les conditions supra, cela limite, mais n'écarte pas le risque juridique. En cas d'accident ou d'incident, à qui incombe la responsabilité? Admettons que l'on soit autorisé à reproduire l'appui-joue du FAMAS et que celui-ci vienne à se détériorer lors d'un tir et cause un préjudice. À qui la faute est-elle imputable? Le fournisseur ayant délivré son accord ou le fabricant de l'imprimante? Et pourquoi pas le producteur, par défaut de contrôle qualité? Au sujet de la sécurité, aucune loi ou jurisprudence ne semble avoir été votée ou rendue.

L'Europe a lancé le projet SASAM (Support Action for Standardisation in Additive Manufacturing). Le but est d'édicter une norme sur la standardisation des matériels et matériaux de la fabrication additive en Europe. A contrario du risque, générateur de prudence, l'adoption de celle-ci permettrait de gagner la confiance des acteurs des marchés.

La formation des utilisateurs

Une fois la décision prise de s'engager dans la voie de l'impression 3D, il est important de s'assurer que le savoir-faire du personnel qui va la mettre en œuvre soit en adéquation avec les moyens à exploiter.

Là où le système productif traditionnel impose souvent des compétences particulières, l'impression 3D est plus souple et permet de créer une plus grande variété d'objets avec la même technologie et des compétences équivalentes. Pour les imprimantes utilisant le plastique et pour lesquelles le fichier CAO (conception assistée par ordinateur) est donné, la formation de l'utilisateur est simple. Elle ne nécessite pas de bagage spécial, si ce n'est a minima quelques connaissances informatiques. Pour la production de pièces métalliques, les imprimantes étant plus complexes, une formation plus spécifique est nécessaire. En revanche, lorsqu'il ne s'agit plus d'imprimer, mais de concevoir, les profils recherchés sont des techniciens supérieurs et ingénieurs sachant maîtriser un ensemble de logiciels spécifiques à la 3D.

L'offre de formation, quel que soit le niveau, est en plein développement. Le CNAM (Centre national des arts et métiers), en partenariat avec l'association EVERYTEK¹⁶¹, propose à ses étudiants des formations 3D dont le prix varie de 750 à 3.000 € en fonction

des options choisies.

Le volet apprentissage reste donc abordable et peut s'envisager de différentes façons comme l'externalisation ou la création d'un cours spécialisé à l'école du matériel.

- L'impact environnemental

En 2015, s'investir dans un projet de rupture sans prendre en compte la notion de développement durable semble peu pertinent. Il s'aborde donc sous l'angle économique, social et environnemental. Le ministère de la Défense s'inscrit totalement dans cette logique, notamment au travers de la directive achat, avec entre autres la volonté de participer à la préservation de l'environnement.

Alors quelles conséquences a l'impression 3D sur celui-ci?

Les détracteurs lui opposeront d'être énergivore, d'utiliser des matériaux issus du pétrole comme l'ABS (acrylonitrile butadiène styrène), et des résines/poudres qualifiées de polluantes. Dans les lieux de production se dégageraient également de fines particules nuisibles à la santé.

Les partisans avancent une consommation au juste nécessaire de la matière première et donc une diminution des déchets qui pourrait atteindre 40% dans le cas de l'usinage des métaux. Si l'ABS est bien un dérivé du pétrole, il a cependant l'avantage d'être recyclable à l'infini, et certains polymères comme le PLA (Polylactic acid: acide polylactique provenant du maïs) sont entièrement biodégradables.

Le schéma de production au plus près du client et à la juste demande peut être perçu comme une externalité positive pour l'environnement. La réduction de demande de transport qui en découle conduit donc à une baisse significative de tonnes de CO2 émises.

Malgré l'absence de données chiffrées précises, il semble toutefois que le bilan écologique soit plutôt positif.

L'impression 3D semble être une technique qui peut s'avérer utile à l'optimisation du MCO par la complémentarité qu'elle peut apporter à la gestion traditionnelle des stocks et, d'une manière plus large, au fonctionnement de sa supply chain.

L'utilisation de l'impression 3D peut aussi s'entrevoir dans le cadre du processus de l'adaptation réactive. En effet, sa vocation n'est pas forcément celle de copier l'existant. Au contraire, elle s'aborde également sous l'angle de la créativité en permettant la valorisation d'idées novatrices. En 2012, l'armée américaine a déployé en Afghanistan un «Rapid Equipping Force» Il s'agit d'un laboratoire mobile 3D aménagé dans un container vingt pieds. Sa finalité est la récupération et le traitement au plus tôt du retour d'expérience des soldats afin d'éviter la perte d'information utilisateur.

Au sein de la défense, d'autres perspectives sont encore envisageables, comme pour le service de santé ou le commissariat. Aux États-Unis, différents programmes sont en cours dans le domaine médical avec le bio-printing de peau synthétique, recherche menée par l'AFIRM (Armed Forces of Regenerative Medicine), dans le domaine alimentaire avec l'impression de rations, recherche réalisée par le NSRDEC (U.S. Army Natick Soldier Research, Development and Engineering Center).

Si les armées décidaient d'optimiser la maintenance par la mise en place d'impression 3D au plus près des forces, se poserait alors nécessairement la problématique du concept d'emploi. Seules des études approfondies seraient susceptibles de déterminer l'opportunité d'un changement et à quels horizons.

La révolution de l'impression 3D est-elle en marche? Il semble bien, au regard des multiples développements en cours, que la réponse est affirmative. Son application au maintien en condition des équipements militaire, en métropole et en opération, semble prometteuse. Des études dans ce domaine doivent être menées afin d'en préciser le périmètre et de lever les incertitudes.

[1] Joseph Schumpeter, [économiste autrichien](#) du milieu [XX^{ème} siècle](#), connu pour ses théories sur les fluctuations économiques, la [destruction créatrice](#) et l'[innovation](#).

[2] Rapport de la Cour des comptes, «Le maintien en condition opérationnelle des matériels militaires – septembre 2014».

[3] Robert Guiheneuf (1899-1986) est un ouvrier et écrivain français. «Remarques sur la gestion des stocks dans l'entreprise», Revue économique, volume 7, n°1, 1956. pp. 68-91

[4] www.maersk.com: l'impression 3D pourrait être en passe de révolutionner la chaîne d'approvisionnement des navires citernes de Maersk.

[5] Le Griffon est le nom donné au futur véhicule blindé multi-rôle (VBMR). La dénomination ELI (élément léger d'intervention) désigne la version équipée pour répondre aux besoins de la maintenance.

[6] EVERYTEK (toutes les technologies) est une association qui propose la première formation professionnelle française entièrement consacrée à l'impression 3D.

Officier de l'arme du matériel, le Capitaine CAUET a servi successivement au 3^{ème} régiment du matériel, à la 5^{ème} base de soutien du matériel, puis aux Ecoles de Saint-Cyr Coëtquidan. Lauréat du concours de diplôme technique, il suit actuellement un Master 2 «économie et gestion des entreprise - logistique» à l'université de Rennes I.

Titre : le Capitaine Hervé CAUET

Auteur(s) : le Capitaine Hervé CAUET

Date de parution 18/05/2018