



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ambassade de France à Washington
Service pour la Science et la Technologie
4101 Reservoir Road NW, Washington, DC 20007
Tél. : +1 202 944 6246

Mail : info@france-science.org

URL : <http://france-science.org>

Domaine : Nouvelles Technologies de l'Information, de la Communication et de la Sécurité

Document : Rapport d'Ambassade / Ambassade de France à Washington

Titre : L'impression 3D aux Etats-Unis

Auteur(s) : Clémentine Désigaud (deputy-ntics@ambascience-usa.org), Hervé Martin (attache-ntics@ambascience-usa.org) et Philippe Perez (attache-stic.sf@ambascience-usa.org), avec la contribution de Marc Lendermann (Service Economique Régional, Ambassade de France à Washington)

Date : Février 2018

Mots-clés : Impression 3D, innovation industrielle, fabrication additive, technologies additives

Résumé :

Avec la création du *America Makes Institute*, spécialisé dans la fabrication additive et institut pilote du réseau pour l'innovation industrielle (NNMI), l'administration Obama a souhaité mettre l'impression 3D au service de la préservation de l'industrie manufacturière américaine. Une étude d'A.T.Kearney prédit en effet la création de 3 à 5 millions d'emplois qualifiés aux Etats-Unis dans les dix prochaines années grâce à l'intégration de l'impression 3D dans l'industrie. L'un des derniers nés du réseau, le *Advanced Regenerative Manufacturing Institute*, a reçu un soutien de 80 millions de dollars du Département de la Défense (DoD) pour « imprimer » des tissus et organes humains à destination des patients militaires et civils. Comme le reste du réseau, cet institut de pointe veut faire le pont entre la recherche scientifique et la mise en place d'activités de production à grande échelle.

L'impression du vivant n'est pas le seul domaine d'application de la fabrication additive à susciter un intérêt marqué aux Etats-Unis. L'impression de pièces détachées, notamment en métal, connaît également un essor certain grâce à des start-up américaines ayant levé plusieurs dizaines – voire centaines – de millions de dollars en 2017, telles que Desktop Metal, Markforged et Divergent 3D. Dans ce domaine également, le DoD se montre proactif : les Marines furent le premier service à imprimer en 3D des munitions et pièces de rechange et ont dévoilé leurs plans pour fabriquer des micro-drones de surveillance. Ces progrès ne sont pas sans poser de défis réglementaires, puisque le Département d'Etat américain a déjà dû interdire la mise en ligne de plans d'armes à imprimer en 2013.

Les grandes entreprises américaines, GE en tête (qui a développé son propre centre de R&D à Pittsburgh en 2016), acquièrent et investissent dans de nombreuses start-up. Les investissements des capital-risqueurs ont toutefois fléchi en 2016, signe d'un resserrement du marché. Parmi les start-up qui tirent leur épingle du lot, Carbon 3D, aujourd'hui valorisée à 1,7 milliard de dollars, souhaite s'étendre aux produits grand public et au secteur dentaire et médical, deux marchés significatifs pour l'impression 3D. Mais si le *National Institute of Standards and Technology* (NIST) estime que la généralisation de l'impression 3D permettra la fabrication individualisée à moindre coût, la personnalisation de masse et l'usage d'imprimantes 3D à domicile restent toutefois incertains : l'impression 3D requiert de l'espace, un approvisionnement en matériaux bruts, des compétences spécifiques et des précautions sanitaires.

Au-delà des enjeux économiques, sociétaux et réglementaires, la recherche continue de progresser : le MIT travaille désormais sur l'impression 4D afin de réaliser des objets capables de changer de forme ou de propriétés au cours du temps.

NB : Retrouvez toutes nos publications sur : <http://www.france-science.org/-Bulletin-de-veille-Science-.html>



Washington, février 2018

L'IMPRESSION 3D AUX ETATS-UNIS

1. Encadrement et soutien à l'impression 3D par le gouvernement américain

1.1. L'impression 3D présentée comme une solution pour préserver l'industrie manufacturière par l'administration Obama (2009-2017)

Si la notion de politique industrielle parle peu aux Américains – l'idée que l'Etat puisse jouer un rôle de soutien à un secteur ou une entreprise est généralement rejetée (« *the market knows best* ») – la préservation de l'industrie manufacturière est pour autant perçue par les pouvoirs publics américains comme une nécessité pour la reprise économique et la croissance de long terme ainsi que pour des raisons sociales et politiques. Le Président Obama avait placé la renaissance du secteur manufacturier comme thème majeur de son action politique, à la fois dans son discours et dans l'intervention de l'Etat fédéral dans la politique industrielle avec notamment le plan de sauvetage de l'industrie automobile.

Dans cette optique, l'impression 3D était justement perçue par l'administration Obama comme un moyen de préserver l'industrie manufacturière et les emplois américains en relocalisant les activités de production sur le territoire national, notamment au sein de la « Rust Belt » autrefois dynamisée par ses industries lourdes.

L'impression 3D, associée à la chaîne de production numérique, remet en cause le modèle dominant des dernières décennies, appuyé sur des chaînes de production globales où une partie des activités de production et d'assemblage sont localisées dans des pays émergents à faible coût du travail. Les pouvoirs publics sous la précédente administration soutenaient l'idée que l'impression 3D pourrait rendre la production sur le sol national plus compétitive que la délocalisation, du fait (i) d'une empreinte carbone moindre, (ii) d'un haut degré de personnalisation possible et (iii) d'une livraison rapide. Sur le premier point, le *Department of Energy* estime en effet que les technologies additives permettraient d'économiser 50% d'énergie par rapport aux procédés manufacturiers « soustractifs ».

1.2. Le réseau d'instituts pour l'innovation industrielle

Le National Network of Manufacturing Innovation

Pendant sa présidence, Obama a renforcé le soutien fédéral à l'innovation industrielle en créant notamment un réseau d'instituts pour l'innovation industrielle (*Manufacturing USA Institutes*) : le *National Network of Manufacturing Innovation* (NNMI). Ces institutions ont vocation à structurer les clusters dans les secteurs

manufacturiers d'avenir via un co-financement public-privé. Leur objectif est d'assurer l'avenir de l'industrie manufacturière aux Etats-Unis à travers l'innovation, la formation et les partenariats publics-privés. Le communiqué de presse de la Maison Blanche présentait la création du NNMI comme faisant partie « des efforts continus pour aider à revitaliser l'industrie manufacturière américaine et encourager les entreprises à investir aux Etats-Unis » (« *ongoing efforts to help revitalize American manufacturing and encourage companies to invest in the United States* »)¹.

Le National Additive Manufacturing Innovation Institute

Dans ce réseau, l'institut pilote *National Additive Manufacturing Innovation Institute* (NAMII, aussi appelé *American Makes Institute*) est spécialisé sur le thème de l'impression 3D. Il regroupe plus de 80 industriels (dont Boeing, Lockheed Martin, Siemens, GE, Johnson & Johnson, Eaton Corporation et Johnson Controls), une trentaine d'universités, plusieurs *community colleges* (instituts de formation professionnelle) et des organisations à but non-lucratif. Cet institut a été créé en 2012 à Youngstown dans l'Ohio, un Etat au cœur de la Rust Belt souffrant particulièrement de la désindustrialisation et du déclin économique, grâce à un investissement fédéral initial de 30M USD (venus du *Department of Defense* et du *Department of Energy*) complété par des apports des universités et entreprises à hauteur de 40M USD. Il a joué le rôle d'institut pilote dans la création du NNMI.

L'*America Makes Institute* a pour mission d'accélérer l'adoption de l'impression 3D et des technologies associées par l'industrie manufacturière. Parmi les actions déjà initiées, on compte l'implantation d'une *Innovation Factory* équipée de systèmes d'impression 3D ainsi que la conduite de programmes de formation et de mentorat dans le domaine de l'impression 3D. L'*America Makes Institute* a ainsi récemment collaboré avec l'organisation *3D Veterans*, le *Center for Additive Technology Advancement* de GE et l'Université Robert Morris afin de proposer un programme de formation à l'impression 3D aux vétérans américains (« *Additive Manufacturing Bootcamp* »).

L'Advanced Regenerative Manufacturing Institute

Dans le même réseau, l'*Advanced Regenerative Manufacturing Institute* (ARMI), qui compte plusieurs dizaines d'entreprises membres, a commencé ses opérations en 2017 après avoir reçu un financement de 80M USD de la part du *Department of Defense* dans le cadre d'un appel à projet pour l'établissement d'un institut de pointe travaillant à la fabrication de tissus et organes humains pour soigner les patients militaires et civils (BioFabUSA). Premier institut américain à travailler sur la question de la bio-fabrication, l'ARMI a été établi à Manchester, New Hampshire, qui fut autrefois une capitale mondiale de l'industrie manufacturière et qui espère ainsi devenir la capitale de la médecine régénérative. Cet institut (comme les autres du réseau) cherche à combler l'espace entre la recherche scientifique initiale et le développement produit plus avancé, en faisant progresser des technologies cruciales pour la mise en place d'activités de production manufacturières à grande échelle.

1.3. Autres initiatives notables

Outre leur participation au réseau des *Manufacturing Institutes*, de nombreuses agences fédérales ont développé des activités liées à l'impression 3D dans leurs domaines respectifs.

Aéronautique

¹ <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2012/08/16/we-can-t-wait-obama-administration-announces-new-public-private-partners>

La *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) mène des projets visant à produire toutes les parties des fusées par des techniques d'impression tridimensionnelle. La NASA a par ailleurs équipé la Station spatiale internationale d'une imprimante 3D Zero-G en 2014.

Défense/Armement

La *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) mène également plusieurs projets expérimentant avec la fabrication additive dans l'industrie de la défense. En 2014, le *Secretary of Defense* (*Department of Defense*) annonçait le lancement de la « *Defense Innovation Initiative* » afin de développer et déployer de nouveaux systèmes s'appuyant sur des technologies telles que la robotique, la miniaturisation, le big data et l'impression 3D. Les Marines furent le premier service à imprimer en 3D des munitions et des pièces de rechange pour leurs systèmes d'armement. Au début de l'année 2017, les Marines ont dévoilé leurs plans pour prototyper, fabriquer et déployer des micro-drones de surveillances.

1.4. Encadrement de l'impression 3D

Produits alimentaires et médicamenteux

L'agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux (*Food and Drug Safety Agency*) est en charge de l'examen des produits médicaux créés par des techniques de la fabrication additive et a récemment publié un guide visant à accompagner l'impression 3D pour les acteurs industriels de l'équipement médical². En ce qui concerne l'impression 3D des produits alimentaires, il semblerait que ce domaine ne soit pas actuellement régulé aux Etats-Unis.

Par ailleurs, la fabrication de vaisselle par impression 3D peut nuire à la sécurité alimentaire : il a été montré que la vaisselle fabriquée à partir de filaments ABS et PLA (les plus courants en impression 3D) pouvait contenir des résidus chimiques dangereux et que les bactéries pouvaient se développer rapidement dans les microfissures des objets imprimés³.

Domaine militaire

En 2013, le *State Department* a interdit à une association de continuer à mettre en ligne des plans pour produire des armes à feu en utilisant des imprimantes 3D, car ceci constituerait une violation aux règles relatives au commerce des armes à feu.

A moyen terme, une intervention de la puissance publique pourra être envisagée, par exemple afin d'adopter les règles relatives au commerce de ces armes (*International Trade in Arms Regulations, ITAR*) en interdisant la production de celles-ci par des imprimantes 3D. Jusqu'à présent, des projets de loi introduits par des élus démocrates et visant à modifier la législation en place n'avaient pas été adoptés par le Congrès. A plus court terme, il reste également à observer comment la Cour Suprême se prononcera sur la constitutionnalité de la décision du *State Department* d'interdire de mettre en ligne des plans pour la production des armes à feu par l'impression 3D.

Propriété intellectuelle et contrôle des résultats

La fabrication additive s'associe naturellement à l'open source et à l'innovation ouverte.

Deux risques majeurs à noter toutefois : la gestion des droits de propriété intellectuelle et la perte de contrôle sur les produits qui pourraient être dénaturés par des utilisateurs. De fait, si la conception de produits à imprimer en 3D est une source majeure de création de valeur, un principe d'innovation ouverte aurait pour effet de ne pas rémunérer les créateurs de valeur, mais les seuls consommateurs.

² <https://www.fda.gov/MedicalDevices/ProductsandMedicalProcedures/3DPrintingofMedicalDevices/default.htm>

³ <https://americanlibrariesmagazine.org/2016/10/11/the-health-effects-of-3d-printing/>

Risques sanitaires

Les risques sanitaires liés à l'utilisation d'imprimantes 3D n'ont pas encore fait l'objet d'une régulation spécifique. Toutefois, plusieurs études⁴ ont déjà démontré que les imprimantes 3D qui chauffent des filaments de plastique produisent par décomposition thermique un volume important de particules ultrafines et de composés organiques volatils. Ces particules et composés sont associés à divers risques sanitaires (asthme, problèmes cardiovasculaires, transfert d'éléments toxiques dans le sang et les tissus). Il est ainsi recommandé de placer les imprimantes 3D dans une pièce ventilée et de privilégier les modèles disposant d'un système de ventilation intégré.

2. Situation économique et appropriation par l'industrie et la société

2.1. Principaux secteurs industriels concernés

L'impression 3D est utilisée dans une grande variété de secteurs industriels, mais le degré d'appropriation varie. Quelques exemples :

- Selon une étude de l'entreprise *UPS*, le secteur automobile utilise la technologie pour créer des prototypes plutôt que pour fabriquer des pièces composant ses produits⁵.
- Les producteurs de casques audio, par contre, ont adopté cette technologie très rapidement et créent une grande partie de leurs produits en utilisant des imprimantes 3D⁶.
- Dans le secteur spatial, l'entreprise américaine *Rocket Lab* qui utilise des parties des fusées produites par des techniques d'impression 3D, a récemment lancé un vol test.⁷
- Les dentistes bénéficient également de l'impression 3D puisque cette technologie pèse déjà 780M USD sur le marché dentaire selon un rapport SmarTech⁸.
- De manière générale, l'impression 3D est de plus en plus intégrée dans les pratiques médicales : aux Etats-Unis, 99 hôpitaux américains comptaient une installation centralisée d'impression 3D en 2016, contre 50 en 2014 et 24 en 2012⁹. L'utilisation de modèles anatomiques imprimés en 3D permet aux radiologistes d'approfondir leurs analyses et aux chirurgiens de mieux préparer leurs opérations.
- Dans le BTP, la fabrication additive apporte de nombreux progrès (« contour crafting »).¹⁰
- L'impression 3D commence à séduire le marché des biens de consommation : en 2017, Adidas a annoncé la création d'un partenariat avec une entreprise d'impression 3D de la Silicon Valley, Carbon3D, afin de créer des semelles pour des chaussures d'athlétisme de haut niveau. Adidas espère produire 100 000 paires de ces chaussures Futurecraft 4D d'ici à fin 2018¹¹.

⁴ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26550911>; <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.5b04983>

⁵ https://www.ups.com/media/en/3D_Printing_executive_summary.pdf

⁶ https://www.ups.com/media/en/3D_Printing_executive_summary.pdf

⁷ <https://www.wsj.com/articles/startup-rocket-lab-puts-satellites-in-orbit-for-first-time-in-successful-test-flight-1516507208?mod=searchresults&page=1&pos=1>

⁸ <https://www.smarttechpublishing.com/reports/3d-printing-in-dentistry-2015-a-ten-year-opportunity-forecast-and-analysis>

⁹ <http://www.materialise.com/en/blog/3D-printing-us-hospitals>

¹⁰ Cf. <http://money.cnn.com/2017/05/02/technology/3d-printed-building-mit/index.html>

¹¹ <http://money.cnn.com/2017/04/07/technology/adidas-3d-printed-shoe>

Selon l'étude *UPS*, les biens produits par l'impression 3D aux Etats-Unis constituaient moins de 1% de tous les biens produits aux Etats-Unis en 2015.¹² Mais à terme, l'ensemble des secteurs industriels pourraient être concernés de près ou de loin par l'impression 3D, qu'il s'agisse des prototypes, de composants à assembler ou de produits finis. CBInsights dresse un panorama du marché de l'impression 3D autour de 4 grandes activités : (i) les activités de service, elles-mêmes réparties entre les médias, la santé, les logiciels, les outils de design et les places de marché, (ii) les activités de production et de commercialisation de produits 3D, (iii) la production agro-alimentaire 3D et (iv) les matériels d'impression 3D personnels.



2.2. Quelques acteurs notables

Grandes entreprises américaines

Plusieurs grandes entreprises industrielles sont actives dans ce domaine, par exemple *General Electric* (GE) et *Johnson & Johnson*. GE a notamment développé son propre centre de R&D (*Center for Additive Technology Advancement*) à Pittsburgh en 2016¹³ et a fait l'acquisition de deux leaders de l'imprimante 3D, Arcam et Concept Laser. GE investit également dans de nombreuses startups. Par ailleurs, l'entreprise californienne HP a été l'un des premiers producteurs des imprimantes classiques 2D à se lancer dans l'impression 3D.

¹² https://www.ups.com/media/en/3D_Printing_executive_summary.pdf

¹³ <https://www.additivemanufacturing.media/news/-ge-opens-additive-manufacturing-center-in-pittsburgh>

Startups américaines développant des technologies innovantes d'impression 3D

Plusieurs startups américaines produisent des imprimantes 3D et développent des technologies innovantes. Quelques exemples :

- La startup Carbon3D fabrique des imprimantes 3D basées sur une technologie propriétaire innovante (Continuous Liquid Interface Production). Aujourd'hui valorisée à 1,7Md USD, c'est la startup d'impression 3D ayant levé le plus de fonds en 2017 (200M USD). Parmi les investisseurs, on retrouve l'entreprise de capital risque Sequoia ainsi que General Electric et Hydra Ventures, la branche d'investissement d'Adidas. Ce nouveau soutien va permettre à Carbon3D de s'étendre sur le marché des produits électroniques grand public et du dentaire/médical. La présence d'Adidas n'est pas surprenante, les chaussures étant l'une des dernières tendances en matière d'impression 3D.
- La start-up Dekstop Metal, novatrice dans l'impression d'objets métalliques, a levé 115M USD en 2017 auprès des investisseurs habituels (GE) ainsi que Google. Cette start-up, fondée dans le Massachussetts en 2015, a développé deux solutions : Studio et Production. Studio permet d'imprimer rapidement des prototypes en métal et est déjà utilisé par Caterpillar et BMW. Production sera le premier système d'impression 3D permettant la production de masse de pièces en métal, cent fois plus rapide et bien moins cher que les technologies additives actuellement utilisées.
- La startup Markforged, qui imprime des pièces détachées en métal et carbone, vient également du Massachussetts et compte parmi ses investisseurs Porsche, Microsoft et Siemens (levée de fonds de 30M USD en 2017).
- Divergent 3D, start-up de Los Angeles fondée en 2013, a levé 65M USD en 2017. Elle se spécialise dans l'impression de véhicules et vise particulièrement le marché des voitures électriques : son châssis plus léger et plus solide permettrait d'augmenter la distance que peuvent parcourir les voitures électriques. Elle estime pouvoir construire une usine de production avec des imprimantes 3D de métal à grande échelle pour un prix largement inférieur à celui d'une usine de voitures traditionnelle.
- La startup UNIZ Technology, fondée à San Diego, utilise la technologie UDP (Uni-Directional Peel) pour fabriquer des imprimantes particulièrement rapides. Présente au CES de Las Vegas, elle a également lancé une campagne de crowdfunding pour promouvoir ses imprimantes « de bureau » auprès de son public cible, les professionnels et notamment le marché médical. Pour moins de 1000 USD, les donateurs pouvaient recevoir une imprimante en échange.
- La startup californienne Apis Cor est spécialisée dans l'impression 3D de bâtiments. En 2017, elle a construit sa première maisonnette près de Moscou à partir de matériaux d'une valeur à peine supérieure à 10 000 USD. Une journée a suffi pour que le robot d'impression 3D fabrique cette maison de 40m²¹⁴.
- En 2017, la startup BeeHex a levé un financement d'amorçage de 1M USD pour lancer son premier produit, une imprimante à pizza nommée « Chef 3D » fonctionnant via un système pneumatique plutôt qu'avec des technologies additives classiques. Sur le long terme, la startup souhaite créer un réseau d'imprimantes capables de fabriquer des snacks sur le champ et personnalisés selon les envies du consommateur. L'imprimante à pizza pourrait déjà intéresser des chaînes de pizzerias¹⁵.

Startups et petites entreprises américaines de l'impression à la demande

¹⁴ <http://www.businessinsider.com/house-built-one-day-apis-cor-2017-3>

¹⁵ <https://techcrunch.com/2017/02/28/bee-hex-cooks-up-1-million-for-3d-food-printers-that-make-pizzas/>

Les acteurs offrant des services d'impression 3D aux particuliers (une forme de « *3D printing as a service* ») se multiplient :

- La start-up 3D Hubs, basée à Amsterdam et New York, est à l'origine d'un réseau connectant 28 000 imprimantes 3D dans 156 pays. Les utilisateurs peuvent ainsi faire imprimer leur modèle près de chez eux.
- L'entreprise AtFAB conçoit des modèles de meubles qui peuvent être envoyés à des routeurs CNC, des machines travaillant le bois d'une manière comparable aux imprimantes 3D.
- La start-up Shapeways, basée à New York, fonctionne comme une place de marché sur laquelle les utilisateurs peuvent créer leurs fichiers imprimables en 3D et les faire imprimer par Shapeways pour leur consommation personnelle ou pour des clients.
- A Brooklyn, l'entreprise Voodoo Manufacturing possède 160 imprimantes 3D et propose à ses clients de fabriquer des petits volumes (leur devise : « *bridge the gap between prototype and mass production* »). Voodoo est passé de 4 employés en 2015 à 17 aujourd'hui et prévoit de créer 20 emplois supplémentaires dans les deux prochaines années¹⁶.

2.3. Taille du marché et impact sur l'emploi

Taille du marché

Une première mesure de l'évolution du marché est indiquée par le nombre croissant de dépôt de brevets dans le domaine. Ainsi, selon le bureau américain des brevets et des marques de commerce, *U.S. Patent and Trademark Office (USPTO)*, 8 000 brevets ont été déposés dans le domaine des technologies de fabrication additive en 2016¹⁷ (pour un nombre total de dépôts de brevets de 650 411¹⁸). Toutefois, cela ne représente encore que 1% des brevets déposés aux Etats-Unis.

Les innovations dans le domaine de l'*advanced manufacturing* devraient continuer à irriguer le secteur industriel américain et de nouveaux outils de production devraient apparaître au cours des prochaines années, mais il est difficile d'en prédire le rythme. Une croissance dans le domaine industriel semble très probable. A court terme, l'entreprise américaine de conseil et de recherche dans le domaine des techniques *Gartner Inc.* prédit que jusqu'en 2021, 20 % des entreprises vont établir des cellules internes pour développer des nouveaux produits et services basés sur l'impression 3D et que 40 % des entreprises du secteur manufacturier vont établir des centres d'excellences pour l'impression 3D. Selon un sondage de l'entreprise *Sculpteo* de 2017, les entreprises interrogées veulent augmenter leurs investissements dans l'impression 3D de 55 % par rapport aux dépenses de l'année précédente.¹⁹ Une récente analyse d'A.T. Kerney montre que l'impression 3D pourrait rapporter près de 900 Md USD en valeur économique aux Etats-Unis dans les dix prochaines années²⁰.

Cela étant, les analystes financiers observent également une réduction récente des investissements en capital-risque dans les entreprises innovantes spécialisées. CBInsights relève ainsi que les levées de fonds pour les entreprises spécialisées dans ce secteur ont connu une forte évolution entre 2013 et 2015, avant de

¹⁶ <http://money.cnn.com/2017/03/27/news/economy/american-manufacturing-jobs/index.html>

¹⁷ <https://www.commerce.gov/news/blog/2017/07/3d-printing-new-industry-made-america>

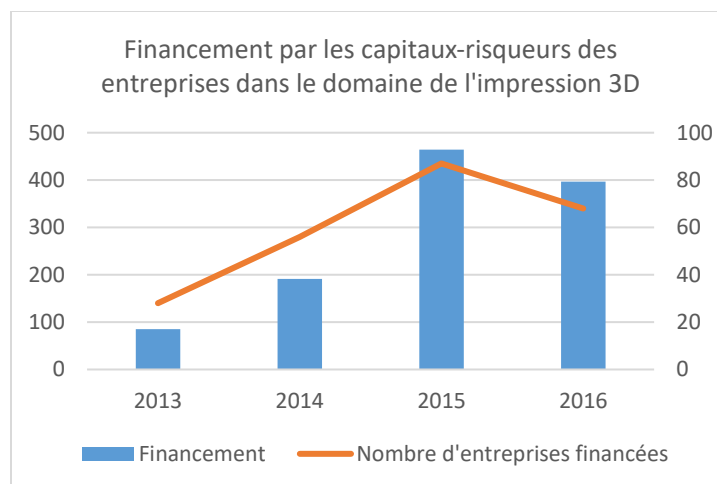
¹⁸ <https://www.uspto.gov/sites/default/files/documents/USPTOFY16PAR.pdf>, p. 179.

¹⁹ https://www.sculpteo.com/media/ebook/State%20of%203DP%202017_1.pdf

²⁰

<https://www.atkearney.com/documents/20152/888957/3D+Printing+and+the+Future+of+the+US+Economy.pdf/7719fc50-50b9-6194-4c4c-c3de38e9a88c>

fléchir en 2016. 2017 pourrait toutefois être une année de rebond (les chiffres ne sont pas encore disponibles).



Sources : CB Insights 2017

Impact sur l'emploi

L'emploi dans le secteur de l'industrie manufacturière s'est réduit de moitié par rapport à son âge d'or de la fin des années 70. L'automatisation est la principale raison expliquant la perte de 5 millions d'emplois manufacturiers depuis 2000 aux Etats-Unis : une étude de Ball State University rapporte que 87% des pertes d'emplois dans les usines américaines entre 2000 et 2010 sont dues à des pratiques plus efficaces, notamment à cause d'avancées technologiques²¹. L'imprimante 3D pourrait au contraire être un exemple de technologie faisant progresser l'emploi –du moins l'emploi qualifié. L'étude d'A.T. Kearney prédit que l'utilisation de l'impression 3D dans l'industrie pourrait créer 3 à 5 million d'emplois qualifiés aux Etats-Unis dans les dix prochaines années.²² Les entreprises d'impression 3D déplorent néanmoins le manque de formations pratiques²³.

2.3. Quelques perspectives en question

Quant à l'impact potentiel de la fabrication additive sur la société américaine, ce sont surtout des *think tanks* qui se sont prononcés. A titre d'exemple sont à mentionner la *Brookings Institution*²⁴, la *Rand Corporation*²⁵ et *American Foreign Policy Committee* (ces derniers ayant publié sur l'impact potentiel de l'impression 3D dans le domaine de défense).²⁶

²¹ <https://conexus.cberdata.org/files/MfgReality.pdf>

²²

<https://www.atkearney.com/documents/20152/888957/3D+Printing+and+the+Future+of+the+US+Economy.pdf/7719fc50-50b9-6194-4c4c-c3de38e9a88c>

²³ <http://money.cnn.com/2017/03/27/news/economy/american-manufacturing-jobs/index.html>

²⁴ <https://www.brookings.edu/blog/techtank/2015/12/08/additive-manufacturing-builds-concerns-layer-by-layer/>

²⁵ <https://www.rand.org/pubs/perspectives/PE229.html>

²⁶ http://www.afpc.org/files/defense_dossier_february_2015.pdf (p. 16 s.)

Vers une « personnalisation de masse » ?

Selon le NIST (*National Institute of Standards and Technology*), l'un des impacts à long terme à attendre de la généralisation de l'impression 3D est la fabrication individualisée, avec des coûts moins élevés comparés aux méthodes traditionnelles.²⁷ Néanmoins, selon le rapport annuel 2017 de l'entreprise *Sculpteo*, seules 16 % des entreprises ont mentionné la personnalisation comme une priorité de leurs activités, comparé à 18 % dans le sondage de l'année précédente.²⁸

La personnalisation de masse perce toutefois dans certains domaines comme la fabrication de chaussures. Au-delà d'Adidas qui coopère avec la société américaine d'impression 3D *Carbon Inc*, comme mentionné plus haut, les entreprises *Voxel8* et *Wiivs* offrent également une personnalisation des chaussures en utilisant des imprimantes 3D. *Continuum Fashion*, un portail en ligne fondé à Cambridge, MA, propose aux designers des outils leur permettant de créer et distribuer des modèles 3D de vêtements et chaussures qui pouvant ensuite être imprimés. Les bijoux et objets de décoration pourraient également profiter de la personnalisation de masse. Ce sont les premières catégories de la place de marché de la startup *Shapeways*, citée plus haut, qui propose aux utilisateurs d'imprimer leurs modèles en 55 matériaux différents (plastique, métaux précieux, acier, porcelaine). Enfin, comme mentionné plus haut, le secteur dentaire bénéficie déjà fortement de la personnalisation permise par l'impression 3D²⁹. En dehors de ces initiatives limitées, l'essor de la personnalisation de masse reste incertain.

Vers un usage domestique de l'imprimante 3D ?

Les conséquences potentielles de l'impression 3D sur l'industrie sont aussi discutées dans la littérature américaine. L'essayiste américain *Jeremy Rifkin*, par exemple, avance dans son livre *La nouvelle société du coût marginal zéro* paru en 2014 que l'impression 3D et d'autres technologies innovantes permettraient de produire des biens manufacturés en abondance à un coût marginal proche de zéro, remettant en cause le modèle du capitalisme au profit d'une communauté de « prossomateurs » (à la fois consommateurs et producteurs). Grâce aux imprimantes 3D, nous passerions d'après lui d'« une production de masse à une production par les masses ».

Mais même si certains experts prédisent également que nous disposerons à l'avenir d'imprimantes 3D personnelles, ces imprimantes devraient être assez volumineuses pour produire des objets comme des meubles par exemple et alimentées avec des matériaux bruts, si bien que dans des territoires où l'espace domestique est contraint, comme les centres urbains, ce modèle risque de se heurter à des contraintes. Les problèmes sanitaires évoqués plus haut constituent également un obstacle.

Vers un modèle « distributed manufacturing » ?

Le concept de « distributed manufacturing », l'une des tendances à suivre selon le World Economic Forum³⁰, reflète l'idée que les entreprises vont faire imprimer leurs produits dans des petites usines locales, situées dans chaque ville ou quartier, prêts à être récupérés par les consommateurs. Déplacer la production manufacturière directement là où la demande se trouve permet de réduire les coûts de transport et la gestion des stocks. Les entreprises se concentreraient sur le design, le marketing, et la certification des opérations d'impression 3D pour garantir la qualité et l'uniformité des produits. Cette idée est soutenue par la startup 3D Hub, dont le co-fondateur Bram de Zwart soulignait : « *Why would you put a thousand machines in one place when you can put one machine in a thousand places ?* ». Dans cette optique, le *Department of*

²⁷ <https://www.nist.gov/topics/additive-manufacturing/additive-manufacturing-faqs>

²⁸ https://www.sculpteo.com/media/ebook/State%20of%203DP%202017_1.pdf (p. 20).

²⁹ <https://www.smarttechpublishing.com/reports/3d-printing-in-dentistry-2015-a-ten-year-opportunity-forecast-and-analysis>

³⁰ <https://www.weforum.org/agenda/2015/03/emerging-tech-2015-distributed-manufacturing/>

Defense imagine pouvoir imprimer sur place des pièces personnalisées pour ses systèmes opérationnels, qui seraient sinon coûteuses à fabriquer ou à expédier : les Marines embarquent des imprimantes 3D sur leurs bateaux, et la Station spatiale internationale en est équipée pour imprimer des pièces de rechange.

3. Avancées scientifiques et projets de recherche

3.1. Impression de matériaux « traditionnels »

- En ce qui concerne le secteur BTP, d'importantes recherches sur la fabrication additive des bâtiments (« *contour crafting* ») ont été conduites par *Behrokh Khoshnevis* de l'université de Californie du Sud.
- Des chercheurs de la North Carolina State University ont mis au point une nouvelle technique pour imprimer des circuits métalliques, à l'origine de pièces électroniques plus flexibles et extensibles³¹.
- Des chercheurs du MIT ont réussi à utiliser du graphène pour imprimer des objets en 3D dix fois plus robustes que de l'acier pour un poids bien moindre³². Les potentialités du graphène en impression 3D sont également explorées par l'entreprise Graphene 3D Lab.

3.2. Impression de nanomatériaux

L'impression 3D est précieuse pour la fabrication de nanomatériaux. Cette technologie rend possible la synthèse de nano-structures complexes à partir de matériaux divers³³.

3.3. Impression du vivant

- A Carnegie Mellon University, Adam Feinberg a mis au point une technique étendant l'usage des technologies d'impression 3D, laissant espérer la possibilité d'imprimer des tissus du cœur³⁴.
- Akhilesh Gaharwar a reçu une bourse de la NSF pour son projet sur la bio impression 3D des structures de tissus complexes ("3D Bioprinting of Complex Tissue Structures"). Ce projet est rattaché au Inspired Nanomaterials and Tissue Engineering (iNanoTE) Lab et à l'Université Texas A&M.
- Ibrahim Ozbolat de la Pennsylvania State University a également reçu une bourse de la NSF pour son projet portant sur le thème « Bioprinting of Bone Tissue into Defect Sites on Animal Models in Surgery Settings »³⁵.

3.4. Impression 4D

L'objet de l'impression 4D est de réaliser des objets 3D réactifs capables de changer de forme ou de propriétés au cours du temps. Il s'agit donc d'intégrer certaines technologies de matériaux actifs et intelligents à l'impression 3D pour créer des composants qui pourront changer leurs propriétés dans un contexte spécifique. Les deux principaux polymères utilisés pour l'impression 4D sont les hydrogels et les

³¹ <https://news.ncsu.edu/2017/12/metal-printing-electronics-2017/>

³² <https://www.computerworld.com/article/3155102/emerging-technology/mit-creates-3d-printed-graphene-thats-lighter-than-air-10x-stronger-than-steel.html>

³³ <https://www.technologyreview.com/s/408664/nanoscale-inkjet-printing/> ;

<https://cosmosmagazine.com/technology/new-nano-printing-process-could-dramatically-increase-processing-power>

³⁴ https://www.nsf.gov/news/special_reports/science_innovation/01_3D_bioprinting.jsp

³⁵ https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1600118

polymères à mémoire de forme. Les enjeux de l'impression 4D sont de faciliter le processus de fabrication de certaines pièces (auto-assemblage) et de créer de nouveaux objets capables de se déployer ou de se reconfigurer. On peut ainsi imaginer de nouveaux stents (endoprothèses) en médecine ou de nouveaux actionneurs en robotique. A terme, les spécialistes du domaine imaginent la possibilité d'avoir des matériaux réellement programmables.

L'impression 4D a été inventée aux Etats-Unis par Skylar Tibbits du MIT qui travaille sur l'auto-assemblage. Il s'agit de créer des objets qui s'assemblent ou se modèlent sans intervention extérieure de type capteur, robot ou actions humaines. L'équipe du MIT explore différentes possibilités en s'appuyant sur les propriétés des matériaux, les modes d'assemblages et l'épaisseur. L'équipe est impliquée dans de nombreux projets³⁶ sur l'impression 4D dont « Multi-Material Shape Change » en partenariat avec Autodesk pour imprimer des matériaux intelligents et plusieurs prototypes d'auto-assemblage d'objets et de protéines, qui ouvrent de nombreuses perspectives en bionanotechnologie. Ce type d'approche continue de se développer aux Etats-Unis avec notamment les travaux sur l'impression 4D biométrique développés par Harvard. Les travaux de l'équipe de Jennifer A. Lewis³⁷ se sont inspirés de l'exemple des plantes dont différentes parties réagissent à différents stimuli (humidité, lumière, touché) pour imprimer des structures composites à base d'un hydrogel qui changent de forme lorsqu'elles sont plongées dans l'eau.

Le Département de la Défense finance également des recherches dans le domaine du 4D. Northwestern's IIN a ainsi reçu 8,5 Mio USD pour un projet de nanoimpression³⁸. La NSF a financé plusieurs projets sur différents aspects de ce domaine. Sans viser l'exhaustivité, on peut citer comme exemple « 4D Printing with Photoactive Shape-Changing Polymer » piloté par Drexel University et « 4D Bioprinting of Smart Complex Tissue Constructs » piloté par George Washington University.

Au-delà du 4D, les Etats-Unis cherchent à développer le secteur de l'électronique hybride flexible qui vise à intégrer des composants électroniques dans des vêtements, objets ou structures quelconques. Pour aller dans ce sens, le NIST recommande une stratégie de partenariats inter-agences (*Department of Commerce, Department of Defense, Department of Energy*) pour s'attaquer aux différents défis scientifiques et technologiques.

³⁶ http://www.selfassemblylab.net/research_projects.php

³⁷ <https://pdfs.semanticscholar.org/a645/0377766224564d53b0924fdd289df21bab0.pdf>

³⁸ <https://news.northwestern.edu/stories/2015/06/8.5m-grant-for-developing-nano-printing-technology>