

# L'impression tridimensionnelle, une technologie clé pour les usines du futur ?

Encore très confidentielle il y a peu, l'impression en 3D a gagné en l'espace d'une année une grande notoriété grâce à une présence considérablement augmentée dans les médias destinés au grand public. Celle-ci a été portée par des phénomènes qui peuvent sembler marginaux, comme l'impression d'une arme à feu au domicile d'un citoyen américain (1), ou un financement de la NASA (à hauteur de 125 000 dollars) pour un programme de création d'une pizza par fabrication additive (2). Toutefois, cette attention nouvelle du public accompagne une croissance réelle et rapide de l'usage de cette technologie dans l'industrie, dans des domaines aussi variés que les composants aéronautiques, la joaillerie, les prothèses dentaires ou, encore, les objets en plastique personnalisables. L'intervention publique aux États-Unis et en Chine pour structurer ce nouveau marché et faire émerger dans ces deux pays des acteurs nationaux pose la question de l'opportunité d'actions du même type aux niveaux européen et français.

Par **Arthur GUILLOUZOUIC-LE CORFF\***

---

\* Élève-normalien à l'ENS Cachan.

(1) [http://www.huffingtonpost.com/2013/05/06/3d-printed-gun-fired\\_n\\_3222669.html](http://www.huffingtonpost.com/2013/05/06/3d-printed-gun-fired_n_3222669.html)  
On a ainsi pu tirer avec le premier revolver obtenu par impression en trois dimensions.

(2) <http://www.guardian.co.uk/technology/2013/jun/04/nasa-3d-printer-space-food>



## IMPRESSION TRIDIMENSIONNELLE ET FABRICATION ADDITIVE

L'impression 3D permet de former des objets en trois dimensions, à partir d'un ordinateur et d'une imprimante 3D, dont le principe est assez semblable à celui d'une imprimante classique (en deux dimensions), puisqu'une tête d'impression dépose une encre, en superposant les couches, à partir d'un modèle numérique.

Les objets sont conçus par des logiciels CAD (*computer-aided design*).

L'impression en 3D consiste à déposer, couche après couche, un composant en poudre associé à un liant, et de construire ainsi un objet de manière additive. Elle se distingue ainsi des technologies manufacturières classiques, dites soustractives (comme l'usinage), caractérisées par un retrait de matière pour obtenir les formes souhaitées.

L'expression générique d'« impression 3D » recouvre en fait des procédés dépassant la simple utilisation de matériaux en poudre, et ce procédé est dénommé de manière plus générale « fabrication additive » (*additive manufacturing*, notée AM). On intégrera donc ici d'autres techniques, qui sont en réalité les plus utilisées, mais ne relevant pas de la définition stricte de l'impression 3D (car n'utilisant pas une poudre), comme la *stéréo-lithographie* (SLA), qui utilise des liquides photosensibles solidifiés à l'aide d'un laser, ou le *fused deposition modeling* (FSD), qui utilise un filament de plastique ou de métal maintenu proche de sa température de fusion, avant d'être fondu (au niveau de la tête d'impression).

Les technologies additives permettent ainsi de fabriquer directement des objets sans qu'il soit nécessaire, comme c'est habituellement le cas, de concevoir un prototype à partir duquel on construit un moule qui permettra de réaliser des objets en série.

L'avantage de l'AM est donc considérable : si l'on souhaite apporter des modifications à l'objet que l'on veut produire, il suffit de les réaliser sur l'ordinateur et elles sont directement répercutées sur l'objet, alors que la technique classique aurait nécessité la réalisation d'un nouveau moule, rendant donc plus difficile la personnalisation des objets. Par ailleurs, la base de la fabrication d'un objet n'est plus physique (le moule), mais numérique (le *design* créé dans un fichier) : le support peut donc être transmis à distance, vendu, modifié... Certaines imprimantes possèdent désormais plusieurs têtes d'impression, qui peuvent ainsi permettre de fabriquer des objets de composition mixte à partir de matériaux différents. Il existe par ailleurs des scanners qui permettent de copier des objets et de les importer directement dans un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAD).

## DU PROTOTYPAGE RAPIDE À LA PERSONNALISATION DE MASSE

L'usage de l'AM s'est historiquement développé à travers le *Rapid Prototyping*, c'est-à-dire la production rapide et à faible coût de modèles à partir d'un dessin informatique, pour en présenter une maquette réelle (par exemple, en architecture). Par ailleurs, le principe additif de cette technologie permet de réaliser des formes extrêmement complexes sans difficulté ni coût supplémentaire, alors que le coût marginal de la complexité dans le cas d'un procédé soustractif est beaucoup plus élevé.

Cet usage de l'AM pour la réalisation de prototypes est en réalité assez ancien puisqu'il date du milieu des années 1980, et a constitué son unique usage pendant longtemps. La démocratisation des logiciels CAD (notamment Google Sketchup, qui est d'usage gratuit), ainsi que les progrès considérables réalisés en termes de coûts, de matériaux et de précision expliquent le délai qui s'est avéré nécessaire avant que l'on considère que cette technologie présentait un fort potentiel de rupture. Le prototypage rapide à des fins professionnelles reste encore aujourd'hui, dans une large mesure, le premier usage des technologies de la fabrication additive.

L'AM permet d'envisager une personnalisation des produits de consommation bien plus grande que ce que permettent les technologies classiques. Le succès de certaines entreprises l'illustre. C'est le cas du Français Sculpteo, qui propose des commandes d'objets customisés par les clients à partir d'une application CAD qui fonctionne sur des terminaux iOS et qui produit par exemple des coques de *smartphones* à des prix assez proches de ceux du marché des objets standardisés.

Ces potentialités s'expriment par ailleurs pleinement dans le domaine du médical et du paramédical, où la personnalisation des produits est considérable. Ainsi, l'impression 3D est déjà en développement rapide dans le champ des prothèses auditives par exemple, et pourrait s'étendre à tous les types de prothèses et d'objets médicaux personnalisés.

Elle pourrait entraîner un bouleversement dans les procédés de fabrication de certains secteurs (comme la joaillerie), pour lesquels la valeur ajoutée unitaire est élevée et la valeur donnée à la personnalisation de leurs produits très grande.

## UN MARCHÉ EN DÉVELOPPEMENT RAPIDE MAIS CONTRASTÉ

La structure des marchés concernés par l'impression 3D est duale. D'une part, un méta-marché émerge, celui des concepteurs d'imprimantes et, d'autre part,





**Photo 1 :** Une coque de *smartphone* personnalisée réalisée par impression 3D.

Source : Sculpteo.

une multitude de marchés utilisateurs fragmentés entre l'utilisation par les particuliers (directe ou « communautaire »), l'utilisation *via* des prestataires pour du prototypage (par des bureaux d'études, des cabinets d'architectes...) et l'utilisation directe par des industriels, au cœur de leur production.

D'après le rapport Wholers 2012, l'industrie de l'AM au niveau mondial (tous produits et services compris) a crû de 29,4 % en 2011, et représentait alors un marché de 1,7 milliard de dollars. Cette croissance faisait suite à 15 années de croissance à deux chiffres sur les 24 dernières années, avec toutefois, notons-le, une baisse significative de près de 10 % du marché en 2009. Cette baisse est largement interprétable sous

l'angle de la crise, et montre bien à quel point ce marché est encore émergent et fragile. La croissance attendue du secteur sur les cinq prochaines années est de 13,5 % par an, soit un marché représentant, en 2017, un total de près de 3,5 milliards de dollars (3).

Le marché des producteurs d'imprimantes 3D a été marqué ces deux dernières années par un important mouvement de concentration. D'une part, en janvier 2012, l'entreprise américaine 3D Systems (cotée au NYSE dans la branche « fabrication d'imprimantes 3D, de matériels d'impression et services d'impression

(3) Source : Rapport *Markets and markets*, octobre 2012.



aux professionnels ») a racheté pour 135 millions de dollars les sociétés Zcorp et Vidar, puis Phenix Systems, cela afin d'élargir sa gamme de produits et d'accélérer sa croissance sur un marché en pleine expansion. D'autre part, en décembre 2012, Stratasys, le producteur leader sur le marché des imprimantes 3D, a fusionné avec la société Objet Ltd (4), puis avec MakerBot (5), en juin 2013, soit avec deux acteurs majeurs du marché, et il pourrait continuer à connaître une croissance externe, notamment dans le domaine de l'impression à base de métal.

En Europe, treize compagnies sont actuellement implantées sur le marché de la construction et de la vente d'imprimantes 3D, des compagnies qui pour la plupart sont d'origine allemande et avaient déjà auparavant une activité de conception ou d'utilisation de machines-outils. En France, l'implantation de cette production est pour sa part assez éclatée : elle concerne des activités très diversifiées, ce qui ne permet pas de mettre en avant de réels pôles de production. Ainsi, on trouve, en région parisienne, une entreprise au développement international comme Sculpteo, qui propose une application iOs et un service de customisation d'objets en plastique par impression (par exemple, des coques de *smartphones* personnalisées),

(4) <http://investors.stratasys.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=724378>

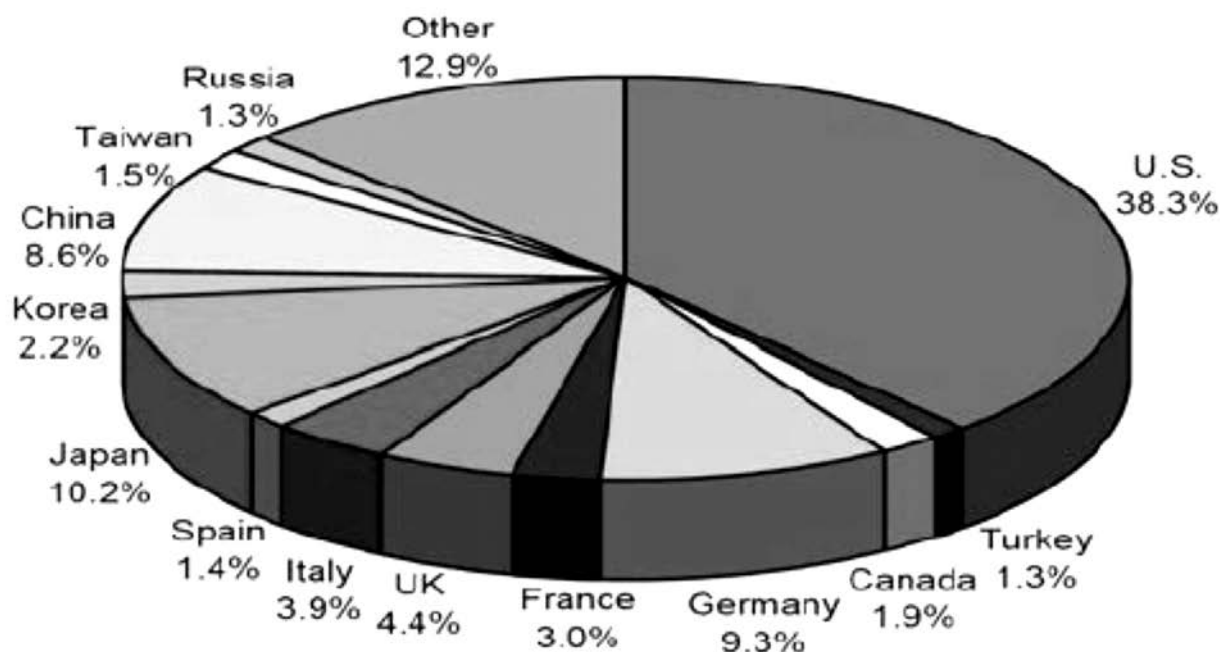
(5) <http://www.makerbot.com/blog/2013/06/19/makerbot-and-stratasys-announce-merger/>

des distributeurs d'imprimantes (comme CADvision), des prestataires de services d'impression pour les professionnels (bureaux d'études, cabinets d'architectes), comme Cresilas (à Marcoussis, dans l'Essonne), et des centres techniques.

## LA FABRICATION ADDITIVE DE TISSUS VIVANTS

L'impression 3D est également utilisée à l'échelle cellulaire, et elle est déjà opérationnelle pour recréer de petits tissus (tissus osseux et tissus mous). Elle devrait se diriger rapidement vers la création d'os et d'organes humains imprimés. Cette bio-impression consisterait en une apposition couche par couche de sphéroïdes cellulaires contenus dans des couches d'un « papier » liquide de bio-impression permettant de maintenir une densité de cellules qui soit à la fois suffisante pour que les tissus s'agrègent, et suffisamment faible pour éviter que les cellules ne se détériorent en s'entrechoquant.

Ces potentialités s'inscrivent dans la lignée des capacités déjà mises en œuvre en matière d'impression de prothèses et d'échafaudages tissulaires à une échelle plus fine et sur des ensembles plus complets et structurés comme des os et des organes. La phase de conception de ces techniques est déjà largement avancée, avec des essais concluants de réparation osseuse et cutanée sur des rongeurs, présentant des résultats cinq à six fois plus rapides qu'avec les techniques clas-

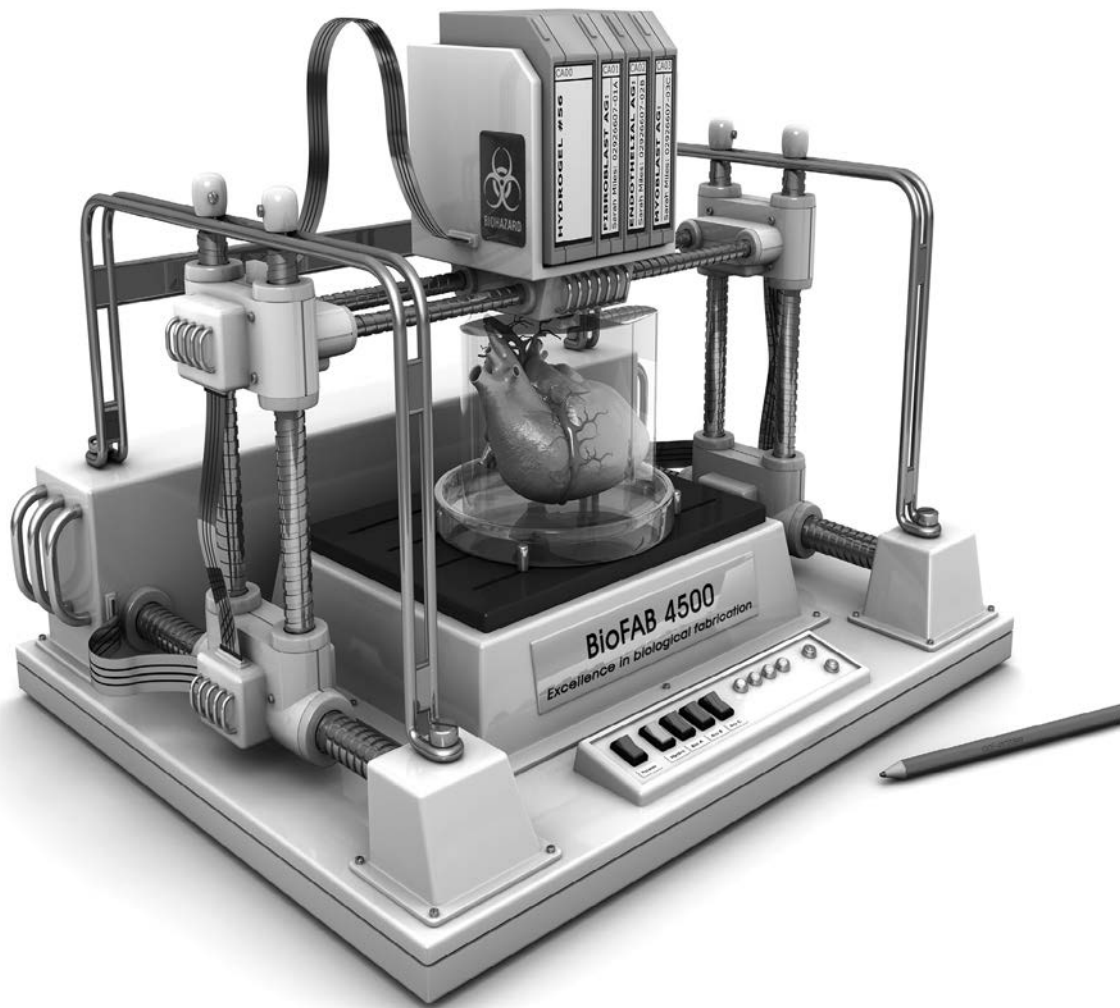


Source: Wohlers Report 2012

Figure 1 : Nombre d'imprimantes 3D par pays (en proportion du total).

Source : Wohlers report 2012.





**Photo 2 :** Illustration de ce que pourrait être une bio-imprimante 3D dans le futur.

Source : Christopher Barnatt, ExplainingTheFuture.com

siques. Les premiers essais de réparation de la peau de grands brûlés sont en phase préclinique. On peut donc s'attendre au passage à une phase d'acceptation, puis de commercialisation de ces techniques au cours de la décennie à venir, comme le montre la figure 2 de la page suivante.

#### LA FABRICATION ADDITIVE, UNE TECHNOLOGIE DE RUPTURE

Les possibilités offertes par l'impression 3D ont des implications majeures en termes de gestion de la chaîne logistique. En effet, le fait que des imprimantes 3D permettent notamment de fabriquer rapidement, à l'aide d'une seule machine, des composants prêts à l'usage, de surcroît en fonction des besoins, change fondamentalement la manière dont les entreprises pourraient concevoir la gestion de leurs stocks et de leurs approvisionnements. D'une part, cette tech-

nique permet de réduire à tous les niveaux de la chaîne les déchets et les pertes générés. À ce titre, l'impression 3D apporte une aide précieuse puisque sa nature additive permet de réaliser des objets sans pertes de matière, au contraire de la manufacture soustractive. Elle permet par ailleurs de se dispenser d'un outillage qui constitue un des inducteurs de coûts majeurs pour les industriels, et d'éviter ainsi des pertes financières. En outre, l'impression 3D permet de réaliser des gains considérables en termes de réactivité des chaînes de production et des chaînes logistiques : les produits sont facilement testables, modifiables et adaptables à des changements du marché. Elle permet de recentrer localement les besoins et évite ainsi de délocaliser la manufacture des pièces spécialisées, puisqu'une seule machine permet désormais de les produire et que son coût est indépendant du lieu de production. Cela a pour conséquence, en privilégiant la production locale, de limiter également les coûts de transport. Enfin, la fabrication additive (AM) permet d'éviter les stocks de pièces d'usage rare,

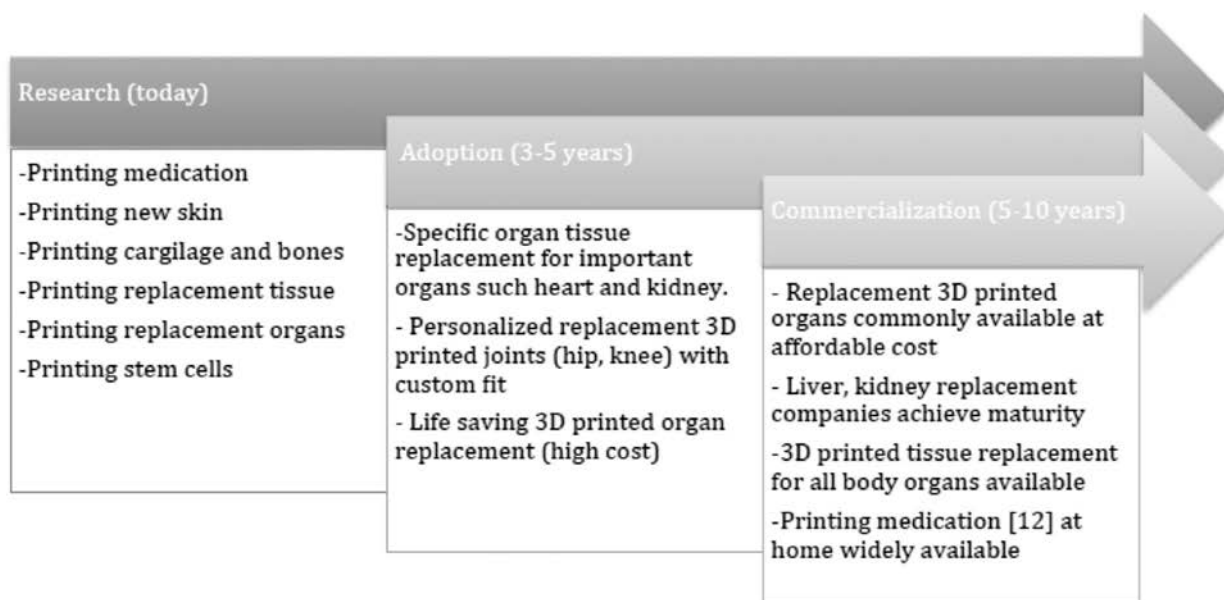


Figure 2 : Fung institute for engineering leadership

qui sont particulièrement importants dans certaines filières dans lesquelles le nombre de composants est très grand, c'est le cas par exemple de l'aéronautique. L'AM permet de gérer cette multiplicité des composants en privilégiant un stockage numérique et une conception basée sur les besoins.

Outre les potentialités permises par l'AM sur le plan de la complexité des formes (potentialités que nous avons déjà mentionnées), cette technologie permet d'optimiser les composants, et ce, à plusieurs niveaux. Cela vaut en particulier pour des industries où certaines parties des composants sont soumises à d'importantes contraintes mécaniques. En premier lieu, le fait d'être capable de construire des objets avec plusieurs matériaux en une seule partie et sans assemblage augmente notablement leur solidité. Cela a pour conséquence de pouvoir, pour un niveau de contrainte constant, diminuer la quantité de matière utilisée pour fabriquer le composant, et donc son poids. Cette caractéristique a une importance cruciale dans des industries comme l'automobile ou l'aéronautique : le rapport Wholers 2012 sur l'AM évalue les possibilités de gains de poids entre 50 et 80 %, sachant que de tels gains sur un avion permettent de réaliser des économies d'énergie considérables. L'automobile est elle aussi un secteur important d'utilisation de l'AM : d'après le rapport Wholers 2010, ce secteur a contribué en 2009 à 17,5 % du total du volume du marché de l'AM, ce qui fait de lui le premier secteur utilisateur de cette technologie, pour un marché d'environ 190 millions de dollars. Cela a pour conséquence logique l'utilisation de moins de matière première, et donc une réduction du coût des composants. L'AM présente donc un avantage sur les technologies classiques en termes de résistance, de légèreté et de complexité des formes, qui permet d'optimiser les composants.

Les préoccupations environnementales actuelles sont donc à même d'augmenter le potentiel de rupture de la fabrication additive. La diminution des pertes, la relocalisation de la production et l'optimisation des composants permettent de faire de la fabrication additive un atout dans la transition environnementale. Ainsi, le département de l'Énergie des États-Unis considère que les procédés de construction additifs pourraient permettre d'économiser plus de 50 % de l'énergie actuellement utilisée par les industries de transformation, celles-ci recourant encore uniquement aux technologies soustractives (6).

## RELOCALISATION, SUBSIDIARITÉ ET CIRCUITS COURTS

Ce potentiel de rupture s'exprime par ailleurs à travers une composante géographique de la production. En effet, outre les capacités de customisation massive qu'elle offre et qui permettent aux consommateurs de construire certains objets uniques, elle pourrait aussi marquer un certain retour vers un mode de production beaucoup plus localisé, dans lequel la production répondrait à une demande directe d'un ensemble localisé de consommateurs, en s'accompagnant d'une atomisation du capital fixe. Cela découle de la miniaturisation de l'usine que constituent les imprimantes 3D, celles-ci étant capables à elles seules de produire un très grand nombre d'objets ayant des usages extrê-

(6) "Obama Administration Announces New Public-Private Partnership to Support Manufacturing Innovation, Encourage Investment in America", United States Department of Commerce, 2012, article consultable en ligne.



mement variés (les imprimantes multi-matières à usage professionnel ouvrent la voie à la production d'un nombre considérable d'objets).

Ainsi, on peut envisager deux axes prospectifs pour l'impression 3D : un axe concluant que celle-ci a un potentiel de rupture uniquement pour produire des objets spécifiques pour lesquels la personnalisation est un élément apporteur de valeur majeur, et un autre axe incluant une dynamique temporelle amenant à conclure que l'impression 3D comportera à terme un potentiel de transformation de la façon dont les biens sont produits.

Dans la deuxième option, on peut donc émettre l'hypothèse d'une inversion de la massification de la production et d'une régression de la sérialisation, pour la simple raison que les conditions qui l'ont engendrée (rendements d'échelle positifs, notamment par l'organisation scientifique du travail) disparaîtront pour une grande part dans un mode de production de type AM. Le projet RepRap de mise au point d'une imprimante 3D ayant la capacité de s'auto-répliquer a pour conséquence de faire entrer la machine-outil elle-même dans le projet de développement collaboratif et de rapprocher le consommateur de l'outil de production.

En outre, le succès croissant des structures collaboratives de type FabLab permet d'imaginer à moyen terme une place prépondérante pour des unités de production locales et collaboratives. Un FabLab est un lieu ouvert au public, souvent géré de manière associative, au sein duquel sont mises à disposition (pour une somme souvent faible) des machines-outils à commande informatique qui permettent aux adhérents de produire par eux-mêmes certains biens sur la base de ce qu'ils ont imaginé et conçu par CAD. Cette nouvelle manière de produire permet d'imaginer pour ces derniers un statut intermédiaire de *prosumer* (néologisme formé à partir de *producer* et de *consumer*), c'est-à-dire à l'intersection entre producteur et consommateur.

Ainsi, au-delà d'un schéma de production dans lequel chaque foyer posséderait son imprimante et réaliserait ses objets en fonction de ses envies et de ses besoins, on peut se tourner vers une alternative plus probable qui consisterait en un nouveau mode de production, à l'échelle locale, avec des services d'impression et de conception comparables aux services de reprographie actuels (en deux dimensions).

Grâce à la multiplication des matériaux d'impression et à une baisse significative de leur coût, les seuls objets qui semblent vraiment exclus du processus de relocalisation de la production sont les objets de haute technologie comportant des composants électroniques et exigeant un fort investissement en R&D.

Un point de questionnement subsiste quant à la capacité des individus de s'approprier la construction de leurs propres objets *via* des logiciels CAD. Pour l'instant, cette pratique est limitée à une catégorie assez

restreinte (celle dite des *makers*). La vision qu'en a Sculpteo est intéressante : elle se base sur les deux technologies de rupture que sont l'impression 3D et le *Cloud* (les clients peuvent *uploader* sur le *Cloud* leur(s) modèle(s) 3D) et elle prend en compte le manque actuel de capacité des individus à concevoir des objets en 3D en proposant une forme de production se rapprochant de celle de l'usine, qui, assistée par une application auxiliaire, facilite la conception d'objets par CAD et élargit donc l'ensemble d'utilisateurs potentiels par rapport au cercle restreint des *makers*. Cela rend par conséquent tout à fait possible l'extension de la conception 3D aux actions communes et usuelles que chaque individu est capable de réaliser. Par ailleurs, la personnalisation des objets devrait s'effectuer par des modifications marginales de formes pré-existantes choisies dans des bases de données d'objets 3D, comme le propose la base de données Thingiverse (7) mise en place par le concepteur d'imprimantes 3D MakerBot. Cela pourrait ouvrir la voie à une généralisation du *crowdsourcing* en ce qui concerne les formes des objets manufacturés, c'est-à-dire à un fonctionnement participatif de la conception des objets sans recours à la protection de la propriété intellectuelle.

---

#### UNE TECHNOLOGIE COMPORTANT CERTAINES LIMITES

L'état actuel de cette technologie permet de mettre en exergue un certain nombre de limites, dont plusieurs pourraient néanmoins être rapidement dépassées. En premier lieu, le coût de la production est encore assez élevé, dès lors que la valeur ajoutée de la personnalisation est faible. En particulier, concernant des objets peu complexes dans leurs formes et totalement sérialisés, il semble peu évident de pouvoir en rentabiliser la production grâce à l'AM, et ce, même si des progrès sont attendus. Les composants électroniques et tous les objets en contenant paraissent aussi limiter le recours à l'impression 3D, même si des techniques utilisant des encres pour imprimer des composants électroniques en 2D existent depuis longtemps et que des techniques d'impression de composants électroniques en 3D pourraient voir le jour.

Une autre limite concerne pour l'instant les matériaux d'impression utilisés. Si de nombreux matériaux sont utilisables pour l'impression, la plupart le sont sur des machines à usage industriel d'un coût très élevé et ne permettent donc pas de rendre accessible à des particuliers la conception de très nombreux objets. Toutefois, la multiplication des matériaux d'impres-

---

(7) <http://www.thingiverse.com/>



sion en 3D disponibles est un phénomène récent, dont les progrès sont extrêmement rapides.

Par ailleurs, les dimensions et la vitesse d'impression pourraient également constituer un facteur limitant. Par exemple, on a évoqué la possibilité d'imprimer des pièces en fonction de la demande dans le secteur aéronautique : si l'impression est trop lente et s'il faut un grand nombre de machines pour pouvoir faire fonctionner un site, il peut dès lors rester plus rentable (vu le coût des machines permettant de fabriquer ces types de composants) d'entreposer les composants dont on peut avoir besoin dans des hangars. En outre, malgré l'existence du projet D-shape visant à imprimer des maisons, les dimensions d'impression, pour des imprimantes à usage particulier, ne permettent de concevoir que des objets de dimensions assez réduites (pouvant aller au maximum jusqu'à un cube d'une vingtaine de centimètres d'arête). C'est en l'occurrence la principale limite notée par P. Friedman (2012) (8), qui explique que le coût des pièces par rapport à leur volume n'est pas linéaire, mais suit une fonction cube (ainsi, construire un objet deux fois plus volumineux est  $2^3$  fois plus coûteux à produire), ce qui n'est pas le cas du processus manufacturier classique. Ce coût marginal du volume, associé à une lenteur indéniable de ces machines en l'état actuel de la technologie, ne permet pas d'envisager à ce jour la substitution de l'AM aux procédés actuels de fabrication massive de type soustractif.

Enfin, la capacité des individus à s'appropriier le processus de confection des objets et l'intérêt que la société apportera à cette capacité nouvelle détermineront en grande partie le développement futur de cette technologie au sein d'un système de production. En effet, il est très difficile d'évaluer la valeur ajoutée qui peut être réellement donnée à la personnalisation ou à une demande qui puisse être adressée explicitement à un producteur local, du fait que la personnalisation, telle qu'elle est envisagée actuellement, consiste généralement à modifier des éléments de forme, sans aller jusqu'à des modifications fonctionnelles. À l'inverse, il est tout à fait possible de concevoir un mouvement généralisé d'appropriation du processus de personnalisation par les consommateurs eux-mêmes, qui pourrait mener à une modification substantielle des objets dans leur mode d'utilisation.

## LES POLITIQUES DE SOUTIEN INDUSTRIEL EXISTANTES

Le caractère émergent des technologies AM rend nécessaire, ou tout au moins efficace, l'intervention

(8) *The Achilles's heel of 3D printing.*  
<http://www.ijij.com/2012/12/30/the-achilles-heel-of-3d-printing-015281>

publique pour soutenir le développement sur le territoire français et européen d'entreprises innovantes dans le domaine de l'impression 3D ou utilisant des technologies d'impression 3D. À titre d'exemple – et même de référence dans le domaine –, les États-Unis ont récemment reconnu l'importance primordiale de l'impression 3D pour le futur de l'industrie américaine par la voix du président Barack Obama, qui a affirmé que l'impression 3D pourrait « changer la manière dont nous fabriquons à peu près tout » (9). En mai 2012, a été créé, sur décision du gouvernement fédéral, le *National Additive Manufacturing Innovation Institute* (NAMII). Cet organisme regroupe cinq administrations majeures (les départements de la Défense, du Commerce, de l'Énergie et des Sciences, ainsi que la NASA), quarante entreprises (dont des industriels majeurs, comme Boeing et General Electric, et des entreprises plus spécialement axées sur le développement 3D), neuf universités et onze organisations à but non lucratif. Il vise à augmenter les potentialités du territoire américain en matière d'AM *via* une information approfondie, un pilotage des actions entreprises et, surtout, une coordination entre acteurs de types divers qui devrait permettre une coopération et des synergies dans le domaine. Au-delà du rôle qui est le sien, la création même de cet organisme important aux États-Unis révèle à quel point cette technologie y est considérée comme porteuse.

Dans une approche différente, la Chine, dont le marché de la fabrication additive est en plein essor et devrait atteindre 1,6 milliard de dollars en 2016 (10) (devenant ainsi le plus grand marché de fabrication additive au monde), s'est dotée elle aussi d'un programme ambitieux de soutien au développement de cette technologie. En effet, l'AMA (*Asian Manufacturing Association*) a mis en place, en mars 2013, un projet visant à construire dans le pays dix centres de formation et de familiarisation des industriels nationaux avec ces technologies (11).

Au niveau européen, il n'existe pas d'équivalent du NAMII ou de l'initiative chinoise en matière d'action publique de soutien à l'impression 3D. Les entreprises utilisatrices de cette technologie comme celles qui la développe ne bénéficient d'aucun soutien spécifique. L'action publique spécifiquement consacrée à la question de l'AM est surtout identifiable en matière de standardisation dans ce champ industriel (discussion ISO/TC261 "Additive manufacturing" et programme STAIR-AM), mais pas réellement en matière de soutien et de coordination industrielle, comme c'est le cas

(9) <http://edition.cnn.com/2013/02/13/tech/innovation/obama-3d-printing>

(10) D'après Luo Jun, CEO de l'AMA (*Asian Manufacturing Association*).

(11) <http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/5794/Chinas-3D-Printing-Revenue-Expected-to-Soar.aspx>





aux États-Unis et en Chine. Toutefois, la mise en place à l'échelle européenne des Stratégies de spécialisation intelligente (S3), et plus particulièrement le *reporting* régional que ces stratégies impliquent, pourrait permettre de mieux identifier les acteurs de pointe en matière d'impression 3D et de les fédérer.

Au niveau national, il semble que la France connaisse un développement relativement lent des structures utilisant et produisant des technologies d'impression 3D. Début 2013, l'entreprise Phidias, la seule entreprise française capable de produire des imprimantes 3D (dont les encres sont des résines permettant, par exemple, de fabriquer des prothèses dentaires), a été rachetée par le groupe français Gorgé (alors même qu'elle suscitait l'intérêt d'acheteurs européens et américains), à la suite d'une intervention du ministère du Redressement productif visant à lui trouver un repreneur français (12). Il existe néanmoins un processus de normalisation de la fabrication additive, notamment à travers la norme NF E 67-001 (octobre 2011) (13), dont l'existence est cruciale pour favoriser l'interopérabilité et la compatibilité des équipements dans un écosystème émergent.

## CONCLUSION

Les caractéristiques de l'impression 3D rendent l'analyse prospective de son développement à la fois simple et complexe. Simple, d'une part, parce qu'il ne fait aucun doute que cette technique va se développer de manière considérable, justifiant ainsi des efforts importants de la part des acteurs publics en tant que *Key Enabling Technology* (KET). Éminemment complexe, d'autre part, car les potentialités qu'elle offre sont à la fois tellement générales et tellement dépendantes de l'évolution des coûts qu'en chiffrer son volume à moyen et à long terme serait périlleux.

En outre, cette technologie touche à des domaines qui seront amenés à interagir et potentiellement à converger dans le futur, mais qui développent pour le moment la technologie de manière séparée : d'un côté, le mouvement des *makers* (via les Fab Labs) et, de l'autre, les industriels. La capacité de substituer à une production à grande échelle une production locale axée *prosumer* constitue certes une conjecture, mais d'autres scénarios pourraient également se réaliser, avec par exemple un modèle plus proche de ce que

réalise Sculpteo, à savoir un service de création à distance *via* une application dédiée. Par ailleurs, la portée des technologies AM est très différenciée par secteur : si elle apparaît révolutionnaire dans des secteurs comme la joaillerie, les prothèses médicales ou les composants aéronautiques, elle semble, en l'état actuel de la technologie, moins porteuse dans des filières industrielles se caractérisant par une production à la fois massive et rapide d'objets volumineux.

En ce qui concerne l'usage d'une imprimante 3D par chaque foyer de la même manière que l'on utilise aujourd'hui une imprimante 2D classique, et en s'appuyant sur l'hypothèse d'une baisse rapide du coût de ces machines (aujourd'hui il faut 300 dollars pour un modèle basique) et d'une croissance rapide du marché (d'environ 300 % par an entre 2007 et 2011), il convient de noter que ces machines sont très limitées à la fois en termes de rapidité, de qualité, de volume des objets produits et de matériaux utilisés. Cela laisse à penser qu'un système personnel d'impression 3D n'est pas le scénario à privilégier et que des systèmes de production collaboratifs de proximité dotés d'un matériel beaucoup plus perfectionné disposeraient de bien plus d'atouts pour s'imposer.

En matière d'action publique, il est intéressant d'analyser la réaction d'autres pays aux technologies AM, notamment celle des États-Unis, avec leur NAMII, et de recommander ou non l'adoption d'un dispositif similaire. En effet, l'annonce, qui s'est largement propagée au début de l'année 2013, faisant de l'impression 3D la troisième révolution industrielle, devrait impulser un soutien massif. Toutefois, des précautions sont à prendre quant à la forme de ce soutien. Si de très nombreuses applications de l'AM semblent extrêmement porteuses et promises à un développement massif à court terme, leur unité pose toutefois question. Au-delà de la conception proprement dite, qui est unique, *via* des logiciels de CAD, le domaine est extrêmement éclaté : les technologies, les matériaux, les échelles, les filières, les utilisateurs et les acteurs diffèrent radicalement. Ainsi, si une connaissance fine (au travers d'un recensement) des acteurs utilisant ou produisant des technologies d'impression 3D semble grandement souhaitable (pour laquelle, comme pour les autres KETs, le programme européen S3 pourrait avoir une utilité considérable), cette utilisation ne constitue pas pour autant un avantage comparatif en soi, et ce d'autant plus que le degré et la nature de l'utilisation des technologies d'impression 3D seront d'une grande variété.

Une stratégie globale portant sur ces technologies avec la promesse d'une troisième révolution industrielle semble donc compromise. Cela est essentiellement dû au fait que son usage à long terme dans la production d'objets courants sérialisés est très incertain, ce qui contraint l'analyse à se spécialiser par filières. Par exemple, à l'inverse des objets d'usage courant, les industries automobile et aéronautique, notamment

(12) Communiqué de presse du ministère du Redressement productif : *Développement de l'impression 3D par Groupe Gorge*. <http://proxy-pubminefi.diffusion.finances.gouv.fr/pub/document/18/14991.pdf>

(13) <http://www.afnor.org/profils/activite/industrie/fabrication-additive-connaissiez-vous-la-norme-francaise-specifique-a-cette-technologie-industrielle-innovante>



(comme nous l'avons relevé), devraient faire un usage massif des technologies de fabrication additive. De plus, si l'impact de l'impression 3D sur les produits que l'on est déjà capable de créer avec les technologies classiques est incertain, il n'en demeure pas moins que son caractère révolutionnaire est avéré concernant des produits que la technologie soustractive n'est pas capable de créer. Il peut donc s'agir d'objets de formes d'une complexité extrême, d'une taille extrêmement faible (comme des reproductions d'objets à une échelle de 50  $\mu\text{m}$ ) (14) ou encore de l'impression de tissus vivants, appelée *bio-printing*, dont nous avons traité plus haut.

L'émergence de l'impression 3D amène également des considérations légales et réglementaires. Dans ce domaine, il apparaît en effet que l'essor de l'usage des technologies de fabrication additive au sein de la population devrait soulever d'importantes questions en matière de propriété intellectuelle. En effet, la possibilité de copier et/ou de modifier rapidement n'importe quel objet rend extrêmement floues les limites de la propriété intellectuelle en matière de conception. Aussi le passage de la structure de l'objet au numérique devrait-il impliquer les mêmes enjeux que la numérisation des autres biens marchands. Toutefois, la manière dont l'activité réglementaire devra se développer dépendra largement de la rapidité et du caractère massif ou non du développement des technologies d'impression 3D. L'imprimante entre elle-même dans l'ère de l'*open source* via le projet RepRap et rend d'autant plus probable l'émergence d'un problème légal de propriété intellectuelle que le mouvement des *makers* s'est approprié l'impression 3D comme un instrument pour se libérer des contraintes inhérente à cette législation et pour passer du monde physique à l'*open source*.

Enfin, l'impression 3D devrait également soulever des questions éthiques, en particulier dans sa composante bio-impression, dès lors qu'elle permet de manipuler et de copier des tissus et des organes redonnant ainsi une certaine réalité à la notion de clonage humain. Dans ce domaine, un soutien public aurait plusieurs vertus : d'une part, le potentiel de l'impression 3D dans les soins futurs et dans le marché connexe sont considérables et, d'autre part, les risques éthiques et

sanitaires sont tels qu'un soutien d'organisations publiques *ad hoc* dès l'émergence de ce marché permettrait d'en limiter les dérives.

## BIBLIOGRAPHIE

COATNEY (S.), GANDHI (B.), SOO PARK (B.), DZILNO (D.), MUNGUIA TAPIA (E.), KAMARTHY (G.) & SIDHU (I.), *3D Bio-Printing*, College of Engineering, University of California, Berkeley, Fung Institute for Engineering Leadership, 17 avril 2013.

[http://www.funginstitute.berkeley.edu/sites/default/files/3D\\_Bio-Printing.pdf](http://www.funginstitute.berkeley.edu/sites/default/files/3D_Bio-Printing.pdf)

HOPKINSON (N.), HAGUE (R. J. M.) & DICKENS (P. M.), *Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age*, John Wiley & Sons, 2005.

VAEZI (M.), SEITZ (H.), & YANG (S.), "A review on 3D micro-additive manufacturing technologies", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 1-34, 2012.

WOHLERS (T.), *Worldwide Trends in Additive Manufacturing*, RapidTech: US-Turkey Workshop on Rapid Technologies, 2009.

WOHLERS (T.), Report 2011, *Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry Annual, Worldwide Progress Report*, Wohlers Associates, 2011.

LIPSON (H.) & KURMAN (M.), *Factory@ home: The emerging economy of personal fabrication*, A report commissioned by the US Office of Science and Technology Policy, 2010.

RUMPALA (Y.), *Additive manufacturing as global remanufacturing of politics*, Paper for the Millennium Annual Conference 2012 "Materialism and World Politics", London School of Economics and Political Science, 2012.

FRIEDMAN (P.), "The Achilles' Heel of 3D Printing", *Innovation Investment Journal*, 30 décembre 2012.

<http://www.iiij.com/2012/12/30/the-achilles-heel-of-3d-printing-015281>

CAMPBELL (T.), WILLIAMS (C.), IVANOVA (O.) & GARRETT (B.), *Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*, Atlantic Council Foresight Report, 2011.

(14) Projet de la *Vienna University of Technology*.  
<http://3dprinting.com/news/3d-printing-on-nanoscale/>

