

Les défis industriels de l'impression 3D

R ParisTech Review / Rédaction / April 10th, 2014

Dans les pays qui ont fondé leur prospérité sur la production, toutes les découvertes et innovations susceptibles de faire baisser les coûts de production font l'objet d'une attention passionnée. C'est le cas, depuis 2007, du gaz et du pétrole de schiste, qui ont remis l'industrie américaine dans la course à la compétitivité face à des pays spécialisés de longue date dans les bas coûts. La question se pose aujourd'hui de savoir si la technique d'impression en trois dimensions est susceptible d'avoir un impact comparable.

Techniquement, les possibilités de la 3D semblent infinies. Depuis quelques années, il est possible, grâce à une machine dont le coût unitaire diminue rapidement – pour mille dollars, on trouve des imprimantes personnelles performantes – d'« imprimer » à domicile des objets comme des jouets, des pièces détachées, des armes, des outils, des bijoux, des éléments de mobilier mais aussi de la nourriture. Chaussures, montures de lunettes et d'innombrables objets du quotidien peuvent être fabriqués à domicile avec un plastique biodégradable à base de maïs. La machine, qui peut aussi être alimentée en résine, en diverses poudres ou en pâte alimentaire, obéit aux instructions d'un logiciel et empile des couches de matière, une couche après l'autre.

L'impression 3D peut donner lieu à des économies considérables. Pour prendre un exemple humanitaire emblématique, on peut « imprimer » des prothèses orthopédiques (on imprime les éléments que l'on assemble ensuite) pour une fraction du prix de catalogue. Les prothèses de mains sont ainsi imprimables pour un prix modique. Un exemple : selon le fabricant MakerBot, qui offre gratuitement un éventail de plans d'impression sur son site internet dans une déclinaison du concept de logiciel libre, les plans numériques de la « robot-main » ont été téléchargés 55 000 fois en un an. Parmi ceux qui l'ont fait, il y a bien sûr de nombreux curieux. Mais demain, ce seront des équipes spécialisées dans les pays en développement qui grâce à cette technologie pourront changer la vie de personnes à faibles revenus.



Les applications médicales – les organes imprimés – sont toutes proches. Il reste simplement à trouver un moyen efficace de faire « tenir » l'édifice biologique créé par impression. L'université de Yokohama promet pour 2014 un foie, imprimé à partir d'une « encre » composée d'un liquide contenant des cellules vivantes, et donc la fonction serait pour l'instant purement thérapeutique. Les biologistes impriment des « biobots », des robots miniaturisés capables de cheminer à travers le corps afin d'y effectuer une « réparation » ou d'y délivrer un médicament. Au Wyss Institute de Harvard, on a imprimé des nano robots en forme de coquillage, composés d'ADN et capables de s'ouvrir sélectivement au contact de certaines cellules cancéreuses pour y délivrer des anticorps spécialement calibrés pour elles. Les industries biotechnologiques pourraient être transformées radicalement par les futures découvertes.

L'étape suivante est déjà prête et le « *self assembly lab* » du MIT travaille sur l'impression 4-D, c'est-à-dire la capacité de créer un objet tout en lui conférant la capacité, grâce aux propriétés biomimétiques de ses matériaux composites, de se transformer lui-même ou de s'auto-assembler avec d'autres objets au cours du temps et en fonction de la chaleur, la lumière, l'humidité, les vibrations ou même les sons. *On imagine des tenues dont le camouflage ou la couleur s'adapteraient à l'intensité de la lumière ou des carrosseries automobiles s'adaptant à l'humidité et se protégeant contre la corrosion du sel sur les routes, ou encore des canalisations capables de se contracter, de se dilater voire d'onduler pour se muer en pompe en « poussant » l'eau.*

Une rupture systémique

L'impression 3D n'est pas nouvelle. Elle existe depuis 1983, année de l'invention de la stéréo-lithographie par Charles Hull, le fondateur de « 3D Systems ». Ce qui est nouveau, c'est que cette prouesse, couplée à la baisse rapide du coût des appareils, peut désormais apporter une rupture systémique sur le marché. La perspective de plus en plus réaliste, pour chaque foyer, de posséder à domicile une machine permettant de fabriquer un nombre considérable d'objets, est de nature à remettre en cause les fondements mêmes de la consommation.

À l'échelle industrielle, les conséquences envisageables sont encore plus marquantes. Avec l'impression 3D un ingénieur a seulement besoin d'un logiciel de design assisté par ordinateur (DAO) pour fabriquer des prototypes beaucoup plus rapidement et à un coût bien moindre, ce qui aura un impact sur la possibilité de multiplier les prototypes, mais aussi de créer des séries courtes. Il est également possible d'innover par itérations beaucoup plus rapprochées. Au lieu d'avoir à créer un moule pour chaque prototype, la même imprimante peut les créer tous, les plus simples comme les plus alambiqués, avec exactement la même facilité. L'impression 3D est indifférente à la complexité. En outre, elle fonctionne sur le principe de la fabrication additive, par empilement de couches successives de matière, par opposition aux méthodes traditionnelles d'enlèvement de matière comme l'usinage par exemple. Il n'y a aucun déchet. Les achats de matière première sont réduits d'autant.

La manufacture traditionnelle exige une large gamme d'acteurs : équipementiers, fournisseurs, bureaux de prototypage, usines, entrepôts, et compagnies de transport. L'impression 3D permettant de produire des pièces à la demande, sur place, et seulement en cas de besoin, elle a le potentiel, en dépit d'un coût unitaire supérieur, pour simplifier considérablement la chaîne d'approvisionnement et réduire les gaspillages coûteux en énergie, comme la consommation de carburant de transport, les équipements non utilisés et les stocks excessifs. D'après une étude approfondie du

cabinet [Lux Research](#), on assistera à l'émergence d'une nouvelle « *supply chain* » où il s'agira avant tout, pour les industriels, non pas d'intégrer toutes les étapes de la production, mais de nouer entre eux des partenariats symbiotiques pour fédérer les expertises.

Certaines entreprises industrielles, et pas des moindres, ont commencé à franchir le pas. Aux Etats-Unis, la Nasa envisage de fabriquer des moteurs de vaisseaux spatiaux par impression 3D. Des injecteurs imprimés à partir d'un alliage de métal ont été testés avec succès. L'idée : faire chuter les coûts et les temps de fabrication, avec en ligne de mire une accélération de l'exploration du système solaire en délocalisant certaines phases de la fabrication... dans l'espace ! La 3D permet en effet, en théorie, de construire des vaisseaux dans l'espace ou sur la Lune à partir de matériaux prélevés sur place. L'Agence spatiale européenne travaille pour sa part à l'impression 3D complète d'une base lunaire. Par ailleurs, des imprimantes de pointe ont été utilisées par le groupe de défense américain Lockheed Martin pour fabriquer une pièce d'un télescope qui doit être déployé dans l'espace autour de 2018. L'industrie aéronautique est un autre débouché très sérieux. En janvier 2014, BAE Systems faisait voler un chasseur Tornado dont plusieurs pièces métalliques sortaient d'une imprimante 3D.

En 2012, deux fabricants d'imprimantes 3D, Stratasys et Optomec, ont créé un précédent en imprimant l'aile d'un avion, y compris les logements pour accueillir les circuits électroniques, ouvrant la porte à la combinaison de la fabrication additive et de l'électronique imprimée. La résolution de l'impression 3D – un micron pour les meilleures machines – est suffisante pour de nombreuses applications électroniques. À l'avenir, électronique, capteurs et communications seront intégrés dès la fabrication, ouvrant la voie à l'impression 3D multifonctionnelle, une avancée manufacturière impossible avec le moulage à injection. Il reste toutefois à inventer la machine capable d'imprimer en même temps l'objet et son électronique intégrée.

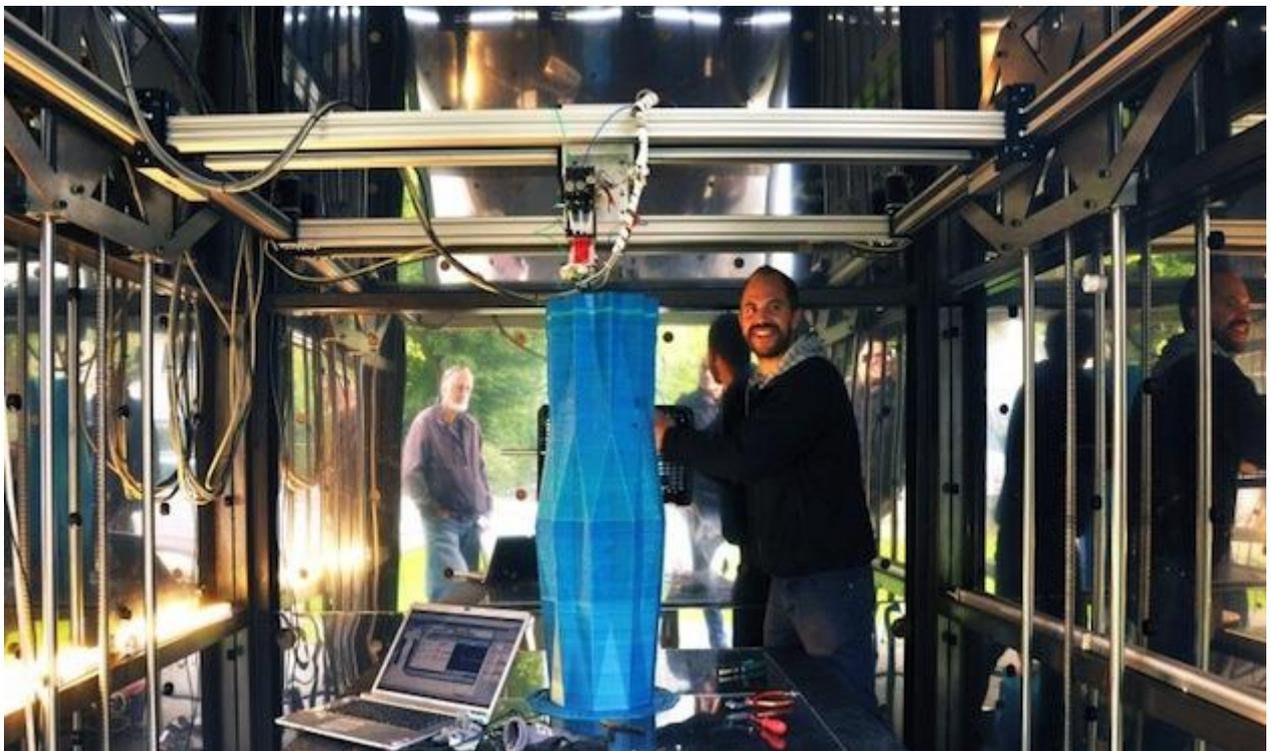
Si l'aéronautique et l'automobile sont deux secteurs prometteurs pour la 3D, le cabinet Lux Research attire l'attention sur des différences importantes. Même si la R&D dans l'automobile apprécie la 3D pour le prototypage rapide, la proposition de valeur est moindre que dans l'aéronautique et l'espace, et ce pour quatre raisons principales : les pièces automobiles ont des formes moins complexes ; les matériaux de pointe sont adoptés plus lentement ; la légèreté des matériaux constitue un enjeu moindre ; les volumes produits sont beaucoup plus grands, ce qui rend l'impression 3D moins compétitive que le moulage par injection.

L'impression 3D est très adaptée à une tendance lourde : la personnalisation et la customisation des produits. En France, la Poste propose dans certains de ses bureaux des imprimantes 3D. Les clients peuvent y imprimer des objets simples choisis dans un catalogue ou des maquettes dont ils apportent eux-mêmes les plans sur fichiers.

Les instruments médicaux comme les prothèses, les appareils auditifs, les appareils dentaires, peuvent être fabriqués par impression 3D, au sein même de l'hôpital. La 3D permet donc d'écourter le séjour du patient, avec des effets importants sur les dépenses de santé. De nouveaux services émergent. Pour étendre le concept d'échographie, certains hôpitaux commencent à proposer des sculptures en 3D des enfants quelques semaines avant leur naissance !

Pour ses partisans les plus enthousiastes, l'impression 3D va tout simplement rendre obsolètes le modèle industriel classique, la notion d'usine et en particulier le modèle de manufacture de masse ultra-concentrée, tel qu'il a été développé depuis une vingtaine d'années. Cela pourrait reconfigurer la géographie de la production, dans une direction qu'il est aujourd'hui bien difficile de déterminer.

Par exemple, on parle beaucoup en ce moment des imprimantes 3D géantes. Le [KamerMaker](#) néerlandais est ainsi capable d'imprimer une maison. Le modèle conçu par l'Université de Beihang serait capable de produire des pièces en alliage de titane destinées à l'industrie aéronautique – des pièces qui sont aujourd'hui commandées en Europe, à grands frais et avec des délais assez longs. Sous réserve de produire des pièces d'une qualité parfaite, ce qui n'est pas acquis à ce jour, la 3D pourrait ainsi reconfigurer certaines chaînes de valeur et renforcer les acteurs les plus puissants au détriment des sous-traitants spécialisés, notamment ceux qui produisent des pièces à haute valeur ajoutée. Dans ce cas de figure, l'industrie européenne souffrirait et les imprimantes 3D pourraient ainsi accélérer l'essor de l'industrie chinoise.



KamerMaker: l'imprimante au travail

Mais on peut parfaitement imaginer à l'inverse une érosion de l'avantage comparatif chinois fondé sur le travail bon marché, car s'il devient possible de fabriquer partout, aucune réduction de salaire ne pourra compenser les coûts de transport transocéaniques. Certes, nombre d'objets resteront produits en grande série selon des procédés plus classiques. Mais on pourrait assister à une « commoditisation » de ces objets, la valeur se nichant dans les objets uniques ou les petites séries fabriquées ailleurs dans le monde. Ou dans les fichiers qui permettront de fabriquer ces objets.

Obstacles et défis

Dans la réalité, toutefois, cette nouvelle ère industrielle, que son prophète [Chris](#)

[Anderson](#) nomme la « révolution des makers », bute sur quelques obstacles sérieux. Certains sont d'origine technique. Hormis les machines de très haut de gamme qui coûtent plusieurs millions de dollars, la 3D tend à imprimer des produits moins solides que ceux obtenus dans les moules à injection traditionnels. La constitution couche par couche entraîne une faiblesse structurelle dans l'axe de la troisième dimension. Cette faiblesse affecte même les procédés de pointe, par exemple le frittage sélectif par laser utilisant le polyetherketoneketone (PTKK). La surface du produit fini est moins lisse, plus rugueuse. La sécurité de l'opération n'est pas encore aux standards domestiques des pays avancés. Certes le polymère thermoplastique ABS (acrylonitrile butadiène styrène) et le PLA (acide polylactique) refroidissent rapidement, mais les matériaux plus sophistiqués comme les résines ou les poudres sont sources de pollution.

Autre inconvénient : on ne peut pas faire d'économies d'échelle. Quant à la durée d'impression, elle varie en fonction du nombre de couches mais peut durer des heures, voire des jours. Ce rythme peut convenir pour la fabrication d'un prototype, pas pour la production en série, même si l'on parle de petites séries. Cette vitesse est – et restera – très dépendante de la vitesse à laquelle la tête d'impression peut extruder la matière première.

Le coût des machines a beaucoup baissé au fil du temps, mais ce n'est pas le cas de la matière première. Par exemple, l'ABS, le matériau d'impression 3D le plus communément utilisé, qui se vend en vrac pour environ 2\$/kg, se vend entre 35\$/kg et 80\$/kg quand il est sous forme de filament ou de poudre. Cela est dû pour partie aux exigences de pureté et d'homogénéité, mais ce coût élevé provient surtout du fait que chaque fabricant d'imprimante 3D oblige les utilisateurs à acheter ses propres matières premières, vendus avec des marges élevées, comme c'est le cas d'ailleurs pour l'impression à jet d'encre.

Enfin, l'impression 3D comporte des risques juridiques. Si par exemple un fabricant de casque vend le fichier de CAD nécessaire pour l'imprimer en 3D et que le casque révèle un défaut à la suite d'un accident, qui, du fabricant de casque ou du fabricant de l'imprimante, est responsable ? Ces risques pourraient amener les éditeurs et fabricants à faire preuve de prudence et grèveraient donc l'essor de la micro-fabrication chez les particuliers. L'enjeu industriel du contrôle qualité trouve difficilement sa place dans la micro-fabrication chez les particuliers.

La perspective de voir l'impression 3D quitter le monde du prototypage pour celui de la production proprement dite inquiète aussi les milieux de la propriété intellectuelle. Il est désormais facile d'acheter un objet, de le scanner, puis de l'imprimer autant de fois que nécessaire pour satisfaire un marché de proximité. Il s'agirait de copies presque parfaites. Les entreprises peuvent essayer de se défendre. Des moyens existent, qui permettent de garantir l'authenticité des produits, par exemple des puces intégrées dans les produits, ou encore des mesures techniques de protections (MTP) intégrées aux logiciels de dessins 3D. Mais le danger demeure et l'industrie physique pourrait traverser les mêmes affres que celle de la musique ou du film. Les chiffres sont édifiants. Gartner, un influent bureau d'analyse des technologies, évalue à 100 milliards de dollars pour 2018 la perte annuelle en droits de propriété due à la 3D.