



Processus d'impression sur une imprimante 3D
© Bezvershenko/Adobe Stock

Résumé

- Historiquement employée à des fins de prototypage, l'impression 3D s'introduit progressivement dans la fabrication de produits finaux.
- L'intérêt d'utiliser l'impression 3D reste néanmoins limité à des cas spécifiques où sa maîtrise peut conduire à un fort avantage compétitif dans l'industrie et à des avancées considérables dans le domaine de la santé.
- Des recherches tendent à améliorer les techniques d'impression 3D et leurs champs d'application. Demain, l'impression 3D pourrait donc avoir un impact économique non négligeable.

Mme Huguette Tiegna, Députée, Vice-présidente

L'impression 3D avait été présentée par l'administration Obama comme une solution pour préserver l'industrie manufacturière et les emplois en relocalisant les activités sur le territoire national. Qu'en est-il ?

■ **Un concept, plusieurs procédés et technologies**
Contrairement aux méthodes d'usinage classiques (fraisage, découpage...), qui permettent la fabrication de pièces par enlèvement de matière, la fabrication additive d'une pièce repose sur l'ajout de matière, couche par couche, selon les spécifications définies dans un « modèle 3D » numérique. La fabrication additive se distingue également de l'injection thermo-plastique par moulage.

Si les premières machines étaient très lentes, coûteuses et contraignantes (en termes de dimension des pièces imprimables, de diversité des matériaux utilisables, etc.), les techniques d'impression 3D ont depuis beaucoup évolué.

Il existe à ce jour une centaine de fournisseurs de systèmes d'impression 3D dans le monde, des dizaines de technologies de fabrication additive (dépôt de fil, frittage par laser sélectif, stéréolithographie, etc.), sept principes de fonctionnement, plus de 200 types de matériaux utilisables en impression 3D (plastiques, métaux, céramiques...). Certaines machines permettent d'utiliser différents matériaux de même nature lors d'une même impression. Les techniques disponibles permettent d'imprimer des

objets mesurant de quelques centimètres à quelques mètres.

Une invention française ?

Issue des travaux de recherche des Français Alain Le Mehauté, Olivier de Witte et Jean-Claude André, la première technologie de fabrication additive ou d'« impression 3D » a été inventée en 1984. Ceux-ci n'ont jamais obtenu le brevet de leur invention, « la stéréolithographie », leur direction de l'époque à la Compagnie générale d'électricité et au CILAS ne souhaitant pas engager des frais dans le processus de dépôt de brevet.

La même année, l'américain Charles W. Hull, aujourd'hui considéré comme le père de l'impression 3D, dépose un brevet similaire à leur invention et en obtient la délivrance en 1986. Il fonde alors 3D Systems, première société au monde à commercialiser des imprimantes 3D.

■ Une solution complémentaire aux méthodes d'usinage classiques

Historiquement, l'impression 3D a beaucoup été utilisée pour le prototypage rapide de produits. Ne nécessitant pas d'outillage, l'impression 3D, permet de produire des pièces à faible coût tout en réduisant les

délais. Le concepteur peut facilement faire évoluer ses prototypes (en modifiant le modèle 3D) et ainsi travailler de manière itérative.

Si certaines filières industrielles continuent d'utiliser massivement les techniques d'impression 3D à des fins de prototypage, ces dernières s'introduisent aussi dans la conception de produits finaux du fait de leurs avantages techniques par rapport aux approches traditionnelles.

L'impression 3D est particulièrement utile pour produire des pièces de géométries complexes, parfois inspirées de formes observées dans la nature (biomimétisme). Si la complexité des pièces induit, le plus souvent, un surcoût et une difficulté de production élevés en usinage classique, ce n'est pas le cas en impression 3D. Il arrive d'ailleurs que l'impression 3D soit la seule technique possible pour réaliser de telles pièces. L'impression 3D peut aussi permettre, dans certains cas, de réduire drastiquement le nombre de pièces nécessaires à la réalisation d'un produit et donc de simplifier la conception. L'impression 3D peut rendre bon marché la production de pièces uniques et de petites et moyennes séries.

Pour autant, la fabrication additive n'a pas vocation à remplacer les méthodes de fabrication classiques. En effet, l'impression de pièces en grandes séries n'est, à ce stade, pas économiquement viable. Par ailleurs, la fabrication additive est parfois inadaptée aux besoins de la mécanique de précision⁽¹⁾. La qualité des parties fonctionnelles des pièces imprimées en 3D dépend de nombreux facteurs (température, matériaux, machines, pratiques de fabrication, etc.). En conséquence, le respect des exigences fonctionnelles des pièces imprimées en 3D (tolérances, état de surface, résistance des matériaux, etc.) peut être variable. Enfin, il est très souvent nécessaire de parachever l'impression 3D de pièces en métal ou en plastique par des opérations d'usinage ou de ponçage pour améliorer la qualité des surfaces.

Ainsi, les techniques d'impression 3D viennent en complément des méthodes classiques de fabrication et ouvrent de nouvelles possibilités de production. Le choix par l'industriel du procédé dépend des exigences en termes de coûts, délais, qualité ou complexité du produit.

■ Principaux secteurs industriels

Du fait des avantages de la fabrication de prototypes et de pièces par impression 3D, les techniques de fabrication additive sont utilisées dans l'ensemble de l'industrie (aérospatial, industrie alimentaire, production d'éoliennes, luxe...) voire parfois par des artisans (chocolatiers, joailliers...).

Dans le domaine de l'électronique grand public, l'impression 3D offre des solutions nouvelles aux

concepteurs. Par exemple, des fabricants de semi-conducteurs et des laboratoires américains⁽²⁾ développent une technologie qui permet de réaliser des circuits électroniques (senseurs et microcontrôleurs) flexibles grâce à l'impression 3D⁽³⁾. Les applications de cette technologie peuvent être nombreuses, ainsi dans le domaine des objets connectés portatifs (les *wearables*), un marché à fort potentiel.

De même, l'impression 3D est de plus en plus répandue dans le secteur aérospatial, bien que le nombre de pièces imprimées en 3D intégrées dans les produits finaux demeure extrêmement modeste. Dans ce secteur, l'impression 3D est tout d'abord utilisée pour réaliser des nombres relativement faibles de pièces à haute valeur ajoutée ayant des caractéristiques géométriques très spécifiques. Par exemple, les 19 buses du moteur LEAP équipant les Airbus A320neo sont imprimées en 3D. Ces buses nécessitent des géométries complexes pour assurer le bon mélange de l'air et du carburant dans le moteur. Grâce à l'impression 3D, les buses sont réalisées en une seule pièce, contre 20 pièces pour celles fabriquées par des méthodes d'usinage classiques. Ces buses sont 25 % plus légères que celles usinées et cinq fois plus résistantes à la température. Ce choix technologique induit donc une réduction du coût d'exploitation de l'équivalent de 2,4 millions d'euros par avion équipé du moteur LEAP et par année⁽⁴⁾ (notamment grâce aux économies de carburant).

De plus, la fabrication additive pourrait être une réponse pour réduire les besoins en stockage des constructeurs du secteur aérospatial. Selon le cabinet de conseil EY⁽⁵⁾, Airbus estime que les changements de pièces pour ses modèles d'avion A300 et A310 s'effectueront jusqu'en 2050. Néanmoins Airbus stockait déjà 3,5 millions de pièces à cet effet en 2014. Avec la généralisation de l'usage de l'impression 3D, les stocks pourraient être réduits au strict nécessaire : il n'y aurait alors plus besoin de stocker ni pièces ni outillages spécifiques. En effet, l'impression pourrait se faire à la demande, le plus souvent à partir de poudres métalliques faciles à entreposer.

Dans le secteur automobile, l'impression 3D est principalement cantonnée au prototypage ou à la production d'outils. La fabrication additive est peu utilisée dans les produits finaux. Des sociétés⁽⁶⁾ ont néanmoins démontré la faisabilité de réaliser une carrosserie de voiture par impression 3D, et ce seulement en 44 heures⁽⁷⁾. Il apparaît ainsi possible de développer des micro-usines automobiles générant peu de déchets et assurant des livraisons rapides de véhicules produits directement dans les zones urbaines. Les capacités de production de telles usines seraient néanmoins nettement inférieures à celles des grands groupes automobiles actuelles. Là encore, un

des intérêts de l'impression 3D est la capacité à fabriquer des pièces détachées.

Enfin, l'impression 3D pourrait être un moyen privilégié pour moderniser la filière BTP. En ce qui concerne le gros œuvre, deux laboratoires nantais ont développé une technologie, BatiPrint3D⁽⁸⁾, qui permet d'imprimer, sur place, des logements respectant les normes en vigueur. Fin 2017, l'emploi de cette technologie a permis de fabriquer, en quelques jours, un logement social de 95 mètres carrés à Nantes, ayant une performance énergétique présentant une consommation inférieure de 30 % par rapport à la réglementation thermique 2012.

■ Enjeux économiques et de compétitivité industrielle

Selon le cabinet Wohlers Associates, le marché de l'impression 3D (machines, matériaux et conseil) croît actuellement de 20 % par an et pourrait s'élever à 18,5 milliards d'euros à l'horizon 2020. Les États-Unis concentrent 40 % du parc mondial des machines, la France ne représentant que 3 %, au 7^e rang mondial et seulement au 4^e rang européen.

Les exemples précédents montrent que l'impression 3D correctement utilisée peut se traduire par un fort avantage compétitif.

Tout d'abord, l'emploi de la fabrication additive peut donner lieu à d'importantes innovations. Produire des composants électroniques flexibles, « imprimer » des logements rapidement constituent des ruptures technologiques majeures qui donnent un avantage compétitif aux industries qui les maîtrisent.

L'impression 3D de faibles nombres de pièces spécifiques et particulièrement complexes peut permettre une montée en qualité et une réduction du coût de production, avec une importante valeur ajoutée pour le client et le fabricant.

Le passage à l'impression 3D simplifie grandement la gestion des stocks. La gestion des stocks en termes de coût, d'entreposage, et de traçage est un problème majeur pour les grands groupes industriels comme Airbus. L'impression 3D permet une production de pièces à la demande et un entreposage facilité (la matière première se présentant le plus souvent sous forme de poudres).

L'impression 3D permet aux entreprises maîtrisant ces technologies d'arriver sur le marché plus rapidement. La fabrication additive permet d'accélérer les phases de prototypage et de déceler rapidement les corrections à apporter sur le produit. Celui-ci est donc plus rapidement mis au point et peut être testé sur le marché. En outre, l'investissement dans l'impression 3D par les PME et jeunes pousses (*start-up*) est abordable. L'impression 3D peut donc abaisser la barrière

d'entrée à certains marchés, ce qui promeut l'arrivée rapide de nouveaux acteurs sur ces marchés.

Enfin, l'usage de la fabrication additive peut favoriser la relocalisation de certaines activités au plus près du consommateur. Le concept de micro-usine intégrée dans l'aire urbaine pourrait voir le jour avec divers avantages, ainsi la production à la demande ou la réduction des frais de distribution et effets environnementaux positifs.

■ Enjeux de santé : la bio-impression

Certains procédés de fabrication additive, dits de « bio-impression », permettent de produire artificiellement des structures cellulaires.

En principe, les cellules imprimées peuvent provenir de cultures de cellules embryonnaires humaines. Néanmoins, de telles cellules sont difficilement disponibles, leur accès étant particulièrement encadré par la loi pour des raisons éthiques. Il est donc plus commode de produire et d'utiliser des cellules souches pluripotentes induites (CSPI), c'est-à-dire des cellules adultes reprogrammées, à des fins de bio-impression.

À terme, l'impression de CSPI pourrait permettre de reconstituer :

- des organes artificiels pour remplacer des organes déficients, et ce, sans causer de rejet immunologique (les cellules employées étant celles du patient) ;
- des organes artificiels permettant, dans certains cas, d'effectuer des essais sur maquettes 3D sans avoir recours à l'expérimentation animale ;
- des « organoïdes » 3D servant à la recherche.

Si l'impression 3D d'organes complexes (reins, poumons...) en vue de greffes reste expérimentale, certaines applications thérapeutiques portant sur l'impression d'organes simples (cheveux, muqueuse gingivale et implants osseux) sont déjà très prometteuses. Par exemple, Un grand groupe français collabore avec une jeune pousse (*start-up*)⁽⁹⁾ pour traiter la calvitie en reconstituant un follicule pileux à l'aide de la technologie de bio-impression par laser.

Ainsi, à court terme, la bio-impression pourrait profondément modifier la production d'implants facilement imprimables (cheveu, gencive, peau, os). Sur le plus long terme, les progrès concernant l'impression d'organes complexes pourraient permettre de pallier la pénurie de donneurs d'organes, de même que limiter l'expérimentation animale.

■ Autres enjeux de santé publique

L'impression 3D est aujourd'hui massivement utilisée dans le secteur des prothèses auditives, permettant la fabrication de prothèses adaptées à l'audiogramme individuel et à l'anatomie du conduit auditif du

patient. De manière analogue, l'impression 3D pourrait bouleverser le marché des prothèses dentaires en améliorant leur qualité tout en réduisant leur coût de fabrication.

L'impression 3D peut trouver des applications dans la production de médicaments. Les techniques d'impression 3D peuvent être utilisées afin d'améliorer la galénique des médicaments, en permettant une libération complexe dans le temps du principe actif de ceux-ci.

Enfin, l'impression 3D peut être utilisée en chirurgie orthopédique. Une intervention réalisée au CHU d'Amiens à l'automne 2017 a permis de redresser un rachis. Après scanner, le squelette d'un patient a été reconstitué à l'identique en 3D, permettant la modélisation d'une intervention chirurgicale par un robot. Une fois l'opération validée sur la maquette, elle a été réalisée sur le patient.

■ Usage de l'impression 3D par des particuliers

Le marché domestique de l'impression 3D est très peu dynamique. En outre, les « fab-labs » (des lieux collaboratifs ouverts au public et équipés de machines permettant de concevoir et réaliser des objets) sont de plus en plus délaissés par les particuliers et orientés vers des utilisations professionnelles. Bien qu'abordable, le fait de créer ou modifier ses propres pièces avec une imprimante personnelle demeure, en effet, souvent complexe, les logiciels de conception assistée par ordinateur étant difficiles à maîtriser.

Il n'empêche que l'usage domestique des techniques d'impression 3D appelle de nombreuses questions, en tout premier lieu d'ordre juridique, mais aussi concernant la sécurité des personnes ou leur santé.

Par exemple, si le partage illégal ou la « copie privée » autorisée dans le cadre familial de modèles 3D devenaient communs, ils nuiraient aux ayants-droit. Des solutions juridiques devraient rapidement être trouvées (mise en jeu de la responsabilité des utilisateurs finaux et des plates-formes d'intermédiation, promotion d'une offre légale...).

En outre, les pièces imprimées par les particuliers sont fabriquées en dehors de tout circuit de contrôle. Cela pose un problème de sécurité physique des personnes, la fiabilité des pièces imprimées et le respect des normes n'étant pas garantis. Par exemple, une pièce de rechange imprimée pour une automobile pourrait ne pas répondre aux exigences nécessaires et être la cause d'un accident. Se pose ainsi la question de la responsabilité en cas d'un accident dû à une pièce défectueuse imprimée en 3D. Le responsable de l'accident serait-il le fabricant de l'imprimante, celui du matériau, le concepteur du modèle 3D ou la personne qui a imprimé l'objet ?

Enfin, des études⁽¹⁰⁾ ont montré que, lors de l'impression, certaines imprimantes 3D « de bureau » émettent de nombreuses particules ultrafines (moins de 100 nanomètres) ainsi que des composants volatils dangereux. L'usage de ces imprimantes pourrait donc présenter un risque pour la santé, en particulier dans les lieux sans systèmes de ventilation.

■ Perspectives et préconisations

L'impression 3D ne semble être qu'à ses débuts. D'importantes recherches sont menées pour perfectionner les techniques existantes ou élargir le champ d'application de la fabrication additive : amélioration des rendements, nano-impression 3D et même impression 4D – procédé encore expérimental qui consiste à imprimer en 3D des matériaux « stimulables », qui changent de propriétés (couleur, forme...) dans le temps en fonction des conditions (température, humidité...).

Ainsi, bien que le marché de la fabrication additive soit aujourd'hui très modeste (quelques milliards d'euros à l'échelle mondiale) et que la place de l'impression 3D dans l'industrie demeure limitée, la situation pourrait évoluer au cours de la prochaine décennie. Des études menées au Royaume-Uni⁽¹¹⁾ et aux États-Unis⁽¹²⁾ tendent à montrer que la fabrication additive pourrait devenir un levier économique important, un facteur d'amélioration du pouvoir d'achat des citoyens, une source d'emplois qualifiés et un outil de réduction de l'empreinte carbone du secteur industriel.

C'est pourquoi, il convient de soutenir la recherche et les investissements en impression 3D, notamment par les subventions du programme d'investissement d'avenir (PIA) et de la Banque publique d'investissements (BPI), ainsi que les appels à projets de l'Agence nationale de la recherche (ANR) et du programme européen Horizon 2020.

Il convient également de renforcer la structuration de la filière en soutenant l'action de l'Alliance Industrie du Futur (AIF) et de l'institut Carnot Cetim, notamment par une mise en réseau des acteurs. Il convient de décliner territorialement cet effort en invitant les régions à y participer autour des pôles de compétitivité et des plates-formes de référence.

Enfin, les formations et l'information sur les techniques et les possibilités de l'impression 3D devront être développées pour faire reconnaître cette technologie de rupture et la populariser.

Sites Internet de l'Office :

<http://www.assemblee-nationale.fr/commissions/opepst-index.asp>

<http://www.senat.fr/opepst/>

Références

- (1) « Highlights of a Forum: 3D Printing: Opportunities, Challenges and Policy Implications of Additive Manufacturing », GAO, juin 2015 : <https://www.gao.gov/products/GAO-15-505SP>
- (2) American Semiconductor et Air Force Research Laboratory.
- (3) « New Flexible Silicon-on-Polymer Super Memory Chip Created with 3D Printing », Andrea Hunt, janvier 2018 : <https://all3dp.com/new-flexible-silicon-on-polymer-memory-chip-created-with-3d-printing/>
- (4) « GE is Using 3D Printing and Their New Smart Factory to Revolutionize Large-Scale Manufacturing », Scott J Grunewald, avril 2016 : <https://3dprint.com/127906/ge-smart-factory/>
- (5) EY's Global 3D printing Report 2016. EY, 2016.
- (6) Local Motors et Cincinnati.
- (7) « La première voiture imprimée en 3D dévoilée au salon SEMA de Las Vegas », 3dnatives.com, novembre 2015 : <https://www.3dnatives.com/local-motors-imprime-3d-sema-05112015/>
- (8) « À Nantes, une maison construite par impression 3D », CNRS le journal, novembre 2017 : <https://lejournel.cnr.fr/videos/a-nantes-une-maison-construite-par-impression-3d>
- (9) L'Oréal et Poietis.
- (10) « L'impression 3D est-elle dangereuse pour la santé ? », Lise Loumé, février 2016 : https://www.sciencesetavenir.fr/sante/l-impression-3d-est-elle-dangereuse-pour-la-sante_29920
- (11) « Made Smarter Review », étude indépendante commandée par le gouvernement britannique, novembre 2017 : <https://www.gov.uk/government/publications/made-smarter-review>
- (12) « 3D Printing and the Future of the US Economy », AT Kearney, 2017 : <https://www.atkearney.com/operations-performance-transformation/article?/a/3d-printing-and-the-future-of-the-us-economy-article>

Experts scientifiques consultés

Membres du conseil scientifique de l'Office :

- M. Patrick NETTER, membre de l'Académie nationale de médecine
- M. Antoine PETIT, professeur des universités, PDG du CNRS
- M. Guy VALLANCIEN, membre de l'Académie nationale de médecine et de l'Académie nationale de chirurgie
- M. Marcel VAN DE VOORDE, professeur à l'université technologique de Delft

Autres experts consultés :

- M. Raymond ARDAILLOU, membre du comité national des sciences physiologiques
- M. Philip BOUCHER, administrateur au service de prospective de l'Office d'évaluation des options technologiques et scientifiques (*Science and Technology Options Assessment*) du Parlement européen
- M. Arnault COULET, directeur de l'agence Fabulous
- M. Didier FONTA, Pollen AM
- M. Benoît FURET, enseignant-chercheur à l'université de Nantes responsable scientifique du projet Batiprint3D
- M. François SILLION, directeur général délégué à la science de l'INRIA

Contributions :

- Service enseignement supérieur, recherche et innovation de l'Ambassade de France au Royaume-Uni
- Services pour la science et la technologie de l'Ambassade de France aux États-Unis
- Service pour la science et la technologie de l'Ambassade de France en Allemagne
- Services pour la science et la technologie de l'Ambassade de France aux Pays-Bas
- Services pour la science et la technologie de l'Ambassade de France en Inde
- Académie des technologies