

L'IMPRESSION 3D, PLUS QU'UN GADGET !

✉ Dominique Wynsberghe, Sciences et Techniques au Carré – SciTech²

Du bracelet en polymère à la prothèse en titane, à chaque application son mode de modélisation et d'impression.

L'impression 3D regroupe l'ensemble des techniques dites de fabrication additive, c'est-à-dire de fabrication couche par couche par ajout progressif de matière. Ces techniques ont vu le jour dans les années 1980, ce sont donc des techniques assez récentes et qui, ces derniers temps, se démocratisent. L'histoire des imprimantes 3D n'est en réalité pas très différente de celle des imprimantes classiques, des ordinateurs personnels... Autrefois réservées au monde industriel, les imprimantes 3D sont maintenant à nos portes, voire peut-être déjà dans votre maison.

Mais de quoi s'agit-il précisément ? Eléments de réponse dans ce cahier pédagogique !

DU FICHIER À L'OBJET

De même que, pour imprimer un document, il faut disposer d'un fichier adéquat et d'une imprimante, pour imprimer un objet en 3D, il faut disposer d'une imprimante 3D et d'un fichier informatique décrivant l'objet en trois dimensions. Ce fichier sera interprété par l'imprimante 3D qui imprimera l'objet couche par couche : c'est ce que l'on appelle une fabrication additive.

Il y a donc deux phases importantes dans le processus d'impression d'un objet en trois dimensions. D'une part, la création du fichier décrivant l'objet en trois dimensions et, d'autre part, le choix de l'imprimante adéquate en fonction de l'objet à réaliser, de ses fonctionnalités et du but poursuivi en l'imprimant. En effet, si vous imprimez un objet pour en vérifier la forme, le design... une impression

assez basique en polymère suffira. Si votre but est de vérifier la fonctionnalité de l'objet, le prototype imprimé devra être suffisamment résistant pour permettre toute une série de tests ; vous aurez donc recours à une technique plus évoluée et à un matériau plus performant.

UNE AIDE PRÉCIEUSE POUR LES ENTREPRISES

Dans le monde des entreprises, la création d'un nouveau produit passe par différentes étapes de conception, de réalisation, de commercialisation, d'utilisation... et enfin de recyclage, devons-nous ajouter aujourd'hui. C'est ce qu'on appelle le cycle de vie d'un produit.

La phase de conception est une phase qui peut s'avérer longue et dont l'entreprise a tout intérêt à réduire la durée. L'impression 3D est un atout incontestable pendant cette phase. En effet, elle permet d'obtenir rapidement, et surtout sans outillages, des prototypes représentatifs, et donc de valider, à différents stades de la conception, les choix qui se présentent. Si l'entreprise crée un produit pour un client, dès l'étape de design de l'objet, l'impression 3D permettra de présenter l'objet, tout comme un architecte présenterait la maquette de son projet. Avoir l'objet en main permet de mieux visualiser le produit final, d'identifier ses éventuelles faiblesses (défaut d'ergonomie, encombrement, esthétique discutable...), afin d'y parer dès les premières étapes. Elle permet également de réfléchir en parallèle aux opérations connexes à la production telles que l'emballage et de visualiser les outils qui seront nécessaires pour produire l'objet en grand série par exemple.

Pas étonnant que l'impression 3D soit communément appelée outil de « prototypage rapide », car elle permet d'obtenir un prototype de l'objet en un temps bien inférieur à celui qui serait nécessaire en utilisant des technologies plus anciennes comme la fonderie.

FOCUS SUR LE PROTOTYPAGE RAPIDE ET SON INTÉRÊT

Les étapes de conception aboutissent à ce qu'on pourrait appeler des « dessins de fabrication ». Ces dessins sont, depuis longtemps, réalisés par ordinateur grâce à des logiciels de CAO (comprenez « Conception Assistée par Ordinateur »). Mais de là à conclure que la production en grande série peut commencer, il y a une marge. En effet, il faut d'abord s'assurer que le produit que l'on va obtenir est conforme aux attentes.

Le prototypage rapide permet d'obtenir rapidement (par rapport à d'autres techniques telles que l'injection d'un polymère) des modèles des pièces à produire sans nécessiter d'outillage coûteux (dans le cas de l'injection, il faut évidemment d'abord concevoir et fabriquer un moule). Comme nous l'avons vu, il permet de visualiser les objets à produire et donc d'en apprécier la forme, l'esthétique, de valider leurs fonctionnalités, mais également d'en tester différentes variantes afin de retenir la plus adéquate. De ces prototypes, des options de fabrication seront également retenues comme le choix des opérations de fabrication et des moyens de production, l'optimisation des principes d'assemblage... Hé oui, dès la conception d'un produit, une réflexion sur la manière dont il sera produit et donc sur les outils qui seront nécessaires, voire devront eux-mêmes être fabriqués, est menée.

En fonction du rôle joué par le prototype et, donc, de l'étape du processus de conception (visualiser l'objet, tester ses fonctionnalités...), la matière



utilisée pour le réaliser sera différente. Ainsi, pour juger de l'esthétique de la pièce à produire, un matériau peu coûteux suffira. Par contre, un prototypage dit « fonctionnel » – dont le but est de vérifier les fonctions de la pièce – sera réalisé dans une matière proche de celle qui sera utilisée pour le produit fini.

L'IMPRESSION 3D, UN PROCÉDÉ DE FABRICATION PAR COUCHES

Les procédés de fabrication d'éléments de machine peuvent être classés en deux catégories : d'une part, les procédés basés sur l'enlèvement progressif de matière (fraisage, découpe...) ou la déformation locale ou globale d'une ébauche (pliage, estampage...) qui ne seront pas traités dans ce dossier, et, d'autre part, ceux basés sur l'ajout progressif de matière et repris sous le vocable de fabrication additive ou fabrication par couches. C'est ce qui sera étudié ici.

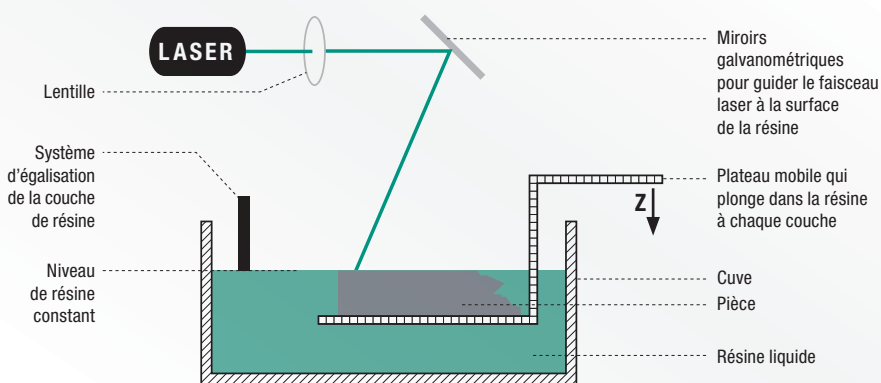
Si plusieurs procédés de fabrication par couches existent, ces procédés reposent tous sur le même principe. Tout d'abord, la pièce à réaliser est, soit conçue manuellement par CAO, soit issue de la numérisation 3D d'un objet existant. Ensuite, à partir de cette information numérique, le prototype est bâti couche par couche selon le procédé le plus adapté.

Les procédés de fabrication par couches peuvent être classés en trois catégories :

- liquide/solide ;
- solide/solide ;
- poudre/solide.

Les **procédés liquide/solide** mettent en œuvre une résine qui se solidifie sous l'action d'une source lumineuse, cette résine est dite photosensible. La source lumineuse peut être soit un laser focalisé qui solidifiera la tranche de résine point par point – on parle alors de stéréo-lithographie point par point – soit un flash ultraviolet qui éclairera la tranche de résine recouverte au préalable d'un masque cachant les parties qui ne doivent pas être solidifiées. Dans ce cas, on parle de stéréographie par couches entières. La figure 1 schématise le procédé point par point.

FIGURE 1



Les **procédés solide/solide** sont de 3 types :

■ **Extrusion et dépôt d'un fil**

Un fil de matière est chauffé et contraint de traverser un cylindre de petite section nommé filière, cette opération s'appelle l'extrusion. La matière extrudée est ensuite étalée (lissée) en couches minces successives. Chaque couche déposée se solidifie au contact de la couche précédente (Figure 2).

■ **Découpage et collage de strates**

L'opération consiste à découper des formes adéquates appelées sections, dans des feuilles ou des plaques du matériau utilisé, puis à les superposer. Le découpage s'effectue au laser, au couteau, à la fraise ou par jet d'eau. L'assemblage est réalisé par collage, fusion ou de manière mécanique (Figure 3).

■ **Projection de matière**

Dans ce cas, la matière est projetée sous forme de gouttes par une tête se déplaçant dans le plan x-y (plan horizontal), de manière à constituer les couches successives (Figure 4).

Les **procédés poudre/solide** sont classés en deux catégories, le frittage de poudre et la projection de liant.

Le **frittage** de poudre consiste à chauffer une poudre déposée en couches minces successives. Sous l'action de la chaleur, les grains de poudre se soudent entre eux, assurant la cohésion de la pièce. Cette technique est analogue à celle de la stéréo-lithographie, la résine photosensible étant remplacée par la poudre. Saviez-vous que la poterie est un procédé de frittage ?

Deux techniques se rencontrent :

- Soit un laser balaie la surface et provoque l'agglomération du matériau tout en restant en dessous de son point de fusion pour éviter que la poudre ne se liquéfie. Les pièces produites ont alors la caractéristique d'être poreuses (Figure 5).
- Soit un faisceau d'électrons est projeté sous vide sur la poudre et la fait fondre; dans ce cas, la pièce ne présente pas de porosité (Figure 6).

« À partir de la numérisation 3D, le prototype est bâti couche par couche selon le procédé le plus adapté. »

Dans l'équipement illustré à la Figure 6, le filament de tungstène chauffé émet des électrons qui sont accélérés et guidés par des bobines et projetés à grande vitesse sur la poudre aux endroits où celle-ci doit être solidifiée. Les particules de poudre ainsi bombardées s'échauffent et fondent. Le processus se réalisant sous vide, la poudre ne s'oxyde pas. À la fin du processus, la poudre non solidifiée est éliminée (soufflée par exemple) et peut être réutilisée immédiatement dans sa quasi-totalité.

Dans le cas d'un procédé par projection de liant, le liant liquide est projeté à la surface de la masse de poudre (Figure 7). Une fois qu'une tranche de la pièce est réalisée, une nouvelle couche de poudre est étendue et le processus est réitéré.

FIGURE 2

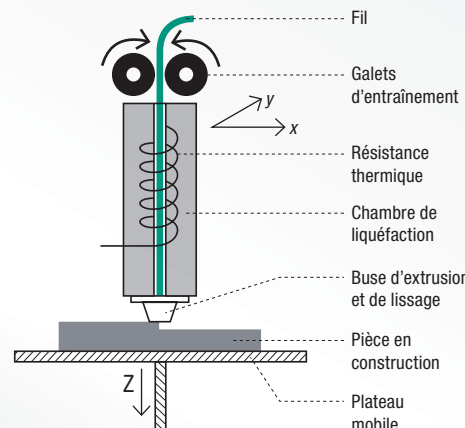
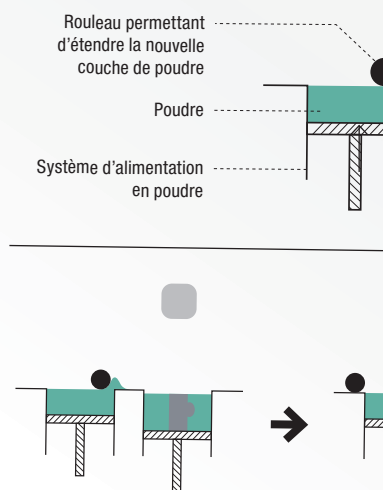


FIGURE 5



LA QUALITÉ DU FICHIER, UN GAGE DE RÉUSSITE

Comme nous l'avons vu, quel que soit le procédé utilisé pour fabriquer l'objet, le processus est piloté par un programme approprié et plus précisément par un programme de CAO.

Le fichier informatique à générer en vue de l'impression d'un objet en trois dimensions peut être obtenu de plusieurs manières.

■ **Soit vous disposez de l'objet à imprimer** – pensons à un musée qui voudrait créer le double d'une pièce rare afin que les visiteurs puissent la manipuler –, il « suffit » de scanner l'objet avec un scanner 3D. En fonction du type de scanner utilisé et de la finesse du scan réalisé, l'objet pourra être reproduit plus ou moins finement, la précision se payant par l'augmentation de la taille du fichier dont l'extension classique est .STL. Cette notion de définition ne nous est pas inconnue : nous savons bien que plus le nombre de pixels par centimètre carré est élevé, plus une

photo numérique sera nette et de bonne qualité lorsqu'on l'agrandira.

Le fichier CAO obtenu pourra être utilisé tel quel pour produire l'objet ou être modifié afin de répondre à d'autres critères. Cette technique permet un gain de temps considérable dans la conception. Elle porte le nom de « reverse engineering ».

■ **Soit l'objet à imprimer n'existe pas** et il vous faudra le dessiner à l'aide d'un logiciel de CAO, c'est-à-dire de Conception Assistée par Ordinateur.

Le soin et l'attention apportés à l'élaboration du fichier CAO ont une incidence directe sur la qualité de l'impression. Ainsi donc, si vous souhaitez imprimer une pièce qui présente une petite et une grande bases, l'impression sera de meilleure qualité et bien plus simple à réaliser en commençant par la base de plus grande dimension, comme l'illustrent les figures 8 A et 8 B. Dans la situation A, des supports provisoires seront indispensables, sinon les parties non soutenues se désolidariseront de l'ensemble, supports qui devront être éliminés une fois la pièce imprimée. Dans la situation B, ils seront inutiles.

AVANTAGES DE LA FABRICATION ADDITIVE

Outre l'intérêt lié à l'obtention rapide de prototypes sans nécessité d'outillage et aux pertes minimales de matière par rapport à des procédés par enlèvement de matière, la fabrication additive permet aussi de réaliser des pièces qui, par leur forme, ne pourraient être réalisées par d'autres procédés. Pensons à la fabrication d'un sifflet à roulette ! Sans procédé de fabrication additive, le sifflet se présentera en deux parties solidarisées après y avoir déposé la bille. En fabrication additive, l'ensemble du sifflet est réalisé d'une seule traite, la bille libre contenue dans le sifflet est réalisée en même temps que le sifflet lui-même.

« Le soin et l'attention apportés à l'élaboration du fichier CAO ont une incidence directe sur la qualité de l'impression. »

FIGURE 3

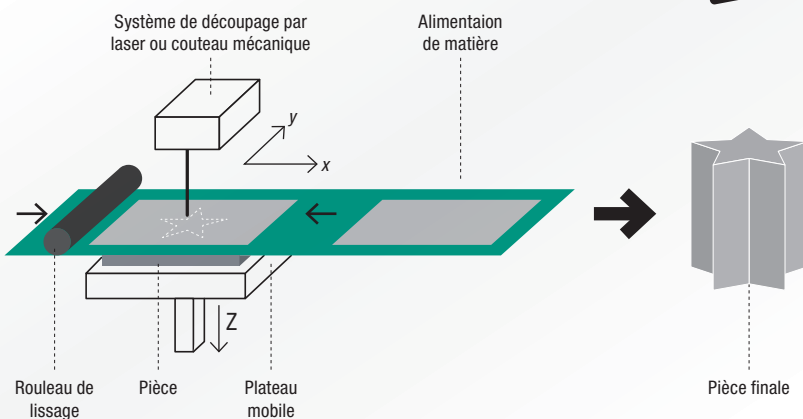


FIGURE 4

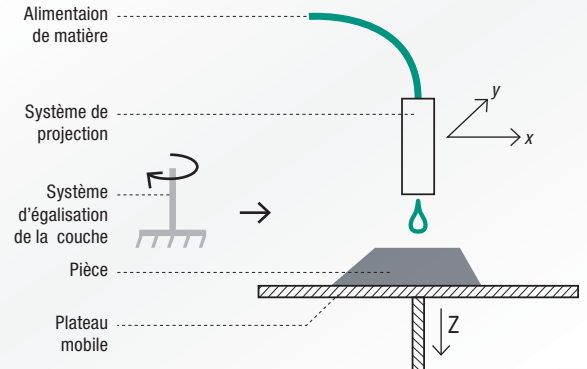


FIGURE 6

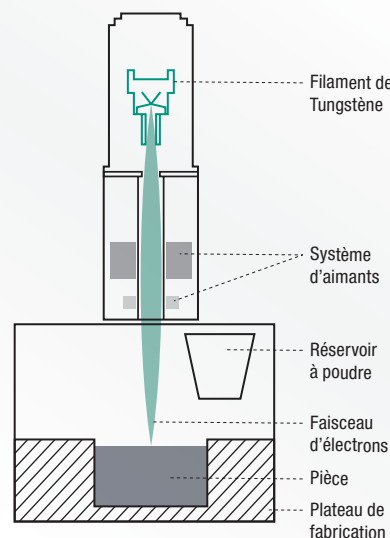


FIGURE 7

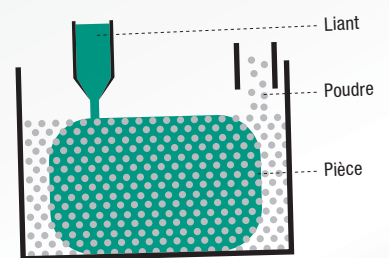


FIGURE 8



MYTHES OU RÉALITÉ ?

UNE IMPRIMANTE 3D SUR LA LUNE ... POUR Y CONSTRUIRE UNE BASE LUNAIRE

Eh bien oui, l'ESA – l'Agence Spatiale Européenne – travaille très sérieusement à ce projet. L'idée est de construire sur la Lune une base lunaire qui pourrait accueillir les voyageurs des vols spatiaux habités. C'est un projet qui met en œuvre bien des spécialités, à commencer par les géologues puisqu'il a fallu trouver sur Terre une matière première semblable à la couche de régolithe qui est la poussière qui recouvre le sol lunaire et qui serait utilisée comme matière première locale. Les géologues ont trouvé un volcan en Italie dont la roche basaltique est proche à 99,8% de la composition du sol lunaire ! Grâce à cette matière première, une imprimante spécialisée dont l'objectif est de construire un bâtiment entier en une semaine a déjà été mise au point sur Terre !

RECONSTRUCTION FACIALE PAR IMPRIMANTE 3D, EST-CE POSSIBLE ?

L'impression 3D est prometteuse dans le domaine de la reconstruction faciale. La technique actuelle consiste à modéliser la face du patient, à partir du scan préalablement réalisé, et à l'imprimer en 3D afin d'obtenir une copie conforme de la face dans une matière plastique. Le spécialiste peut alors utiliser ce modèle pour modeler précisément la plaque de titane qui viendra remplacer la structure osseuse manquante. Sans cette

technique, le modelage de la plaque de titane se fait directement sur le patient en cours d'opération. Ce modelage préopératoire constitue un gain de temps considérable (un gain de l'ordre de 3h sur les 9h d'intervention) et réduit donc certains risques pour le patient.

VERS L'IMPRESSION DE TISSUS HUMAINS...

Même si nous sommes encore dans le domaine du rêve à ce niveau, le rêve semble à portée de main. En effet, le « bio-printing » a le vent en poupe dans de très sérieux laboratoires, notamment à Harvard. Ici, le challenge est double car il ne suffit pas de reproduire une forme, il faut également reproduire les fonctionnalités. Pensons, par exemple, aux vaisseaux sanguins qui apportent l'énergie à nos cellules et les débarrassent de leurs déchets. Il faut donc pouvoir reproduire ce réseau complexe de vaisseaux. Par ailleurs, le processus étant un procédé par couches, il faut également que les couches puissent communiquer entre elles et ne pas être uniquement superposées. Actuellement, la technologie permet de produire des tissus extrêmement fins, ce qui est un début très prometteur. Enfin, il faudra pouvoir reproduire les différents types de cellules qui constituent nos tissus. C'est pour relever ces défis que les chercheurs travaillent à l'élaboration d'encre biologiques, les bio-encre. Outre la greffe de tissus issus du bio-printing, ces tissus bio-imprimés présentent également un intérêt important dans le domaine des tests pharmacologiques ou cosmétologiques.

DEMAIN JE SERAI...

Ces nouvelles technologies engendreront certainement de nouveaux métiers, mais à tout le moins, elles seront créatrices d'emploi. En effet, ces procédés généreront des recherches et des développements dans des domaines aussi variés que la modélisation, les matériaux... mais créeront également des demandes dans différents secteurs. **L'enseignement** pourra bénéficier de modèles pédagogiques 3D reflétant exactement les objets étudiés, suffisamment agrandis pour être facilement détaillés, palpés... **La médecine** et notamment les domaines liés à la reconstruction osseuse ; **la pharmacologie et la cosmétologie**... sont également en attente de progrès dans ces domaines.

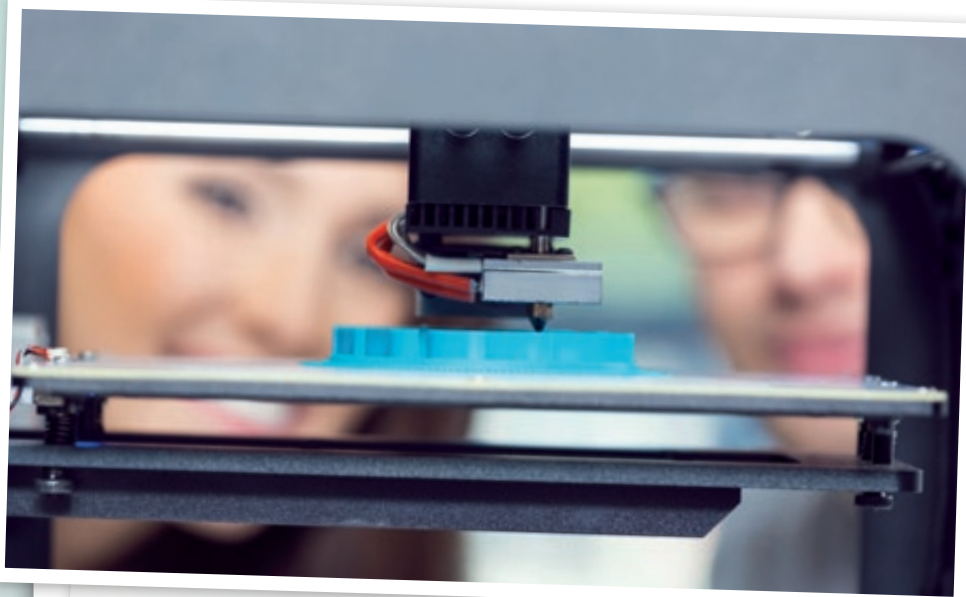
À VOUS DE RÊVER VOTRE AVENIR...

Demain je serai... plasturgiste, je sélectionnerai ou concevrai les matières premières qui alimenteront les imprimantes 3D afin de garantir, voire d'améliorer, les propriétés du produit imprimé.

Demain je serai... ingénieur spécialiste en éléments finis, afin d'offrir des techniques de numérisation à la fois très précises et suffisamment simples pour pouvoir être traitées par des ordinateurs classiques.

Demain je serai... ingénieur développeur de logiciels d'imprimante 3D, afin de répondre aux cahiers des charges des types d'objets à imprimer (haute résolution, haute précision, grandes dimensions...)

D'autres métiers techniques tels que assembleur d'imprimantes 3D, concepteur et réalisateur d'objets 3D, ou encore agent de maintenance et de réparation d'imprimantes 3D, verront le jour comme y travaille déjà, en dispensant des formations, l'ASBL Droits et Devoirs – avec laquelle la Polytech a des liens étroits – via le projet européen Declic'Industry (plus d'infos : <http://droitdetdevoir.com/acceuil>).



Comité scientifique

- Jean Ledocq, ingénieur et professeur émérite Polytech
- Enrico Filippi, professeur et chef du service de Génie Mécanique de la Polytech (UMONS)
- Soizic Mélin, physicienne de l'équipe de SciTech²
- Maxime Duménil, ingénieur de l'équipe de SciTech²

Sources

- Dossier sur l'impression 3D – Technique de l'ingénieur
- Conférences données le 30 octobre 2014 lors de la journée « Étudiant d'un jour en Polytech » à destination des élèves de fin de secondaire par Monsieur E. Filippi, professeur et responsable du service de génie mécanique de la FPMs – UMONS et Monsieur Julien Magnien, Ingénieur projet dans le département Additive Manufacturing – Sirris
- http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Building_a_lunar_base_with_3D_printing