

ACHETER une machine de fabrication additive

Jean-Paul DUFOUR, Pôle Route des Lasers
Institut d'Optique d'Aquitaine, Rue François Mitterrand, 33400 Talence
jp.dufour@routedeslasers.com - www.routedeslasers.com

La fabrication additive (ou *additive layer manufacturing*, ALM) se diffuse aujourd'hui dans de nombreux secteurs. Du particulier à l'entreprise en passant par les laboratoires, cette technologie permet d'imaginer des géométries souvent inaccessibles avec les technologies de fabrication classiques tout en gagnant en rapidité et en souplesse. Cet article s'intéresse aux machines et applications professionnelles pour l'impression de matériaux polymères.

Le principe de la fabrication additive est simple, il s'agit de construire la pièce en déposant ou en solidifiant de la matière couche par couche. Cette innovation permet de passer rapidement de la définition numérique à la pièce physique avec moins de contrainte de fabricabilité. En effet, des géométries audacieuses sont possibles, l'accès de la fraise ou le démoulage de la pièce étant secondaires. La complexité ne génère pas de coût, même s'il subsiste des limites.

Il existe aujourd'hui une gamme très large de machines, allant de l'imprimante 3D personnelle à moins de 400 € jusqu'au matériel professionnel à plus de 200 000 €. La montée en gamme permet d'améliorer la précision du dépôt tout en augmentant la vitesse et la dimension des pièces obtenues. Pour fixer quelques ordres de grandeur, une imprimante personnelle aura typiquement un plateau de 10 cm avec une précision de positionnement horizontal au dixième de millimètre. Les machines professionnelles vont jusqu'à 60 µm de précision horizontale et des zones d'impression étendue de plusieurs dizaines de cm (volume > 10 litres).

Ce qui frappe lorsqu'on tient pour la première fois une pièce en main, c'est l'aspect un peu rugueux de la surface. En effet, l'état de surface dépend de l'épaisseur de chaque couche. Cela peut donner un effet « strié » aux objets, particulièrement sur les surfaces incurvées. Les machines 3D de haute qualité tendent à imprimer des couches plus fines¹ que les imprimantes grand public, ce qui améliore le rendu. Le post-traitement de la pièce, souvent nécessaire, permet de poncer la surface pour obtenir une qualité plus lisse.

Les principales technologies de fabrication additive polymère

On distingue les techniques utilisant une matière première sous forme solide qui sera fondue par le procédé et les techniques utilisant des résines photopolymérisantes qui seront solidifiées.

- La technologie du **dépôt de matière en fusion** (FDM - *fused deposition modeling*). Le principe consiste à ajouter le matériau fondu provenant d'une bobine de fil et extrudé à travers une

¹ Des résolutions verticales de 25 µm sont courantes.

acal | bfi

Solutions pour Imprimantes 3D

Augmentez
la densité d'énergie
de vos sources LED



Gamme spectrale UV - IR
Densité de puissance
jusqu'à 100 W/cm² @ 365 nm

Détection UV



Mesure d'insolation UV
Spectromètre OEM UV
Compact
Résolution 1,5 nm
Longueurs d'ondes 190-650 nm

Protection UV



Lunettes
Fenêtres et enceintes



www.acalbfi.fr

buse afin de construire un objet en 3D couche par couche. Le plateau support s'abaisse à chaque couche jusqu'à atteindre l'objet complet. La hauteur de couche détermine alors la qualité de la pièce 3D. Certaines imprimantes FDM disposent de plusieurs têtes d'impression permettant de déposer différentes couleurs.

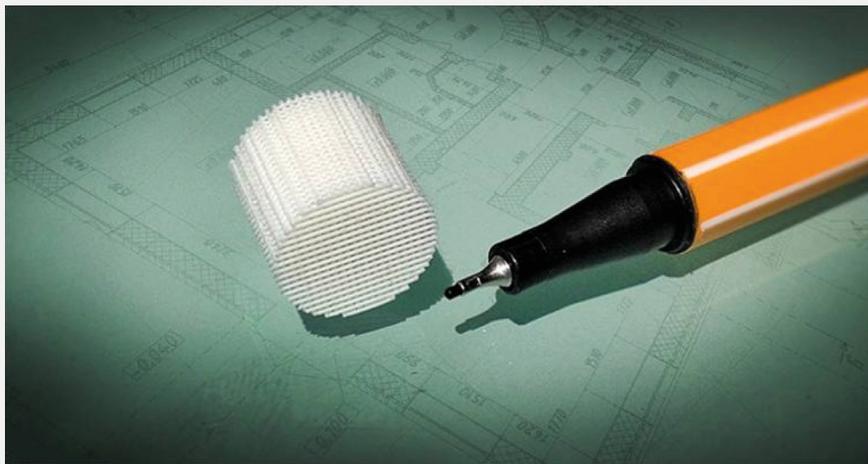
- La technologie de **frittage sélectif par laser** (SLS - *selective laser sintering*) est une technique de fabrication additive qui consiste à fabriquer un objet grâce à l'ajout de couches successives d'une poudre qui est ensuite généralement fondue avec un faisceau laser. Ce procédé facilite notamment la création de formes imbriquées complexes.

- La technologie de **stéréolithographie** (SLA - *stereolithography*). Cette technique utilise une cuve de résine photopolymère dans laquelle un laser UV va solidifier le matériau par polymérisation. La première couche est construite sur un plateau qui va descendre couche après couche selon l'incrément correspondant à la résolution de la machine. À la fin du processus, on retire la pièce du réservoir contenant le reste de résine non polymérisée.

- La technologie **Multijet** similaire à la stéréolithographie. Les procédés des machines 3D haut de gamme PolyJet et Multijet utilisent une lumière UV au lieu d'un laser pour traiter un photopolymère, avec une tête d'impression qui projette de petites gouttes de photopolymère. La LED UV attachée aux têtes d'impression fixe le polymère sur la couche en place. La plate-forme de construction s'abaisse alors en fonction de la hauteur de couche comme pour le procédé SLA.

FILTRE MICROPOREUX RÉALISÉ AU LPC, DIAMÈTRE 12 MM, HAUTEUR 10 MM, MAILLE 400 MICRONS (ESPACE INTER-BARREAUX)

« L'équipe Biomatériaux d'Edouard Jallot et Jonathan Lao fabrique par impression 3D des moules microporeux permettant la mise en forme d'implants osseux biorésorbables pour le dentaire. Ces implants sont constitués d'une matière active sensible qui ne peut être mise en forme par traitement thermique ; aussi les moules en PLA et ABS obtenus par impression 3D servent d'empreinte sacrificielle recevant la matière de l'implant. Après dissolution des moules, une porosité contrôlée et compatible avec la repousse osseuse est générée dans l'implant. » © LPC CNRS /IN2P3



Pièce réalisée avec une imprimante Volumic3D.

Citons également les imprimantes qui solidifient le matériau sous forme de poudre par un jet d'une colle liquide.

Les applications

À ses débuts, l'impression 3D s'est développée comme un moyen de prototypage rapide. Aujourd'hui, la fabrication additive est devenue un nouveau procédé de fabrication permettant d'obtenir des produits finis au-delà des prototypes et s'avère avantageuse dans certains cas lorsque les séries sont limitées. D'autres avantages apparaissent

comme la différenciation retardée pour personnaliser le produit, la réalisation de formes complexes, la production rapide de pièce manquante sur chaîne ou la simplification des assemblages. Dans certains secteurs, comme l'aéronautique, la fabrication additive est devenue une technologie clé; citons Airbus qui intègre déjà des pièces fabriquées par fabrication additive dans des avions en service.

Cependant, des critères d'industrialisation et de coût sur des séries importantes ou des composants relativement simples rendent souvent l'usinage, le formage ou l'injection plus compétitifs.

	APPORT DE MATIÈRE PREMIÈRE	TECHNOLOGIE	MATÉRIAUX	AVANTAGE/APPLICATION
Voie sèche	Fil	FDM	Thermoplastique extrudable	Diversité de matériaux, Résistance des pièces, prix peu élevé (coût fil 30 €/kg), pas de déchet
	Poudre	SLS	Poudre thermoplastique spécifique à la machine employée	Formes complexes, volume de construction important
Voie liquide	Résine	SLA Mutlijet, Polyjet	Résines époxyde et à l'acrylate photodurcible	État de surface, finesse des détails

Tableau 1. Encadré de synthèse

Critères de choix d'une machine de fabrication additive polymère

Tout va dépendre de votre application et de votre expérience sur le sujet, car les critères pour du prototypage ou de la production de petites séries seront différents. Cet article a principalement pour but d'éclairer les professionnels acquérant leur première machine et souhaitant faire du prototypage rapide.

Pour faire du prototypage, le prix sera un premier critère. On trouve aujourd'hui des imprimantes correctes dans une fourchette de 3000 à 15 000 euros. Vient ensuite la technologie avec un choix à faire parmi les trois grandes tendances citées ci-dessus: le fil, la poudre ou la résine. Les budgets réduits vous orienteront naturellement vers le fil. La taille du volume d'impression sera considérée également, typiquement 20 à 30 cm³ sont des dimensions courantes permettant de prototyper des pièces réalistes.

La résolution d'impression et la précision du positionnement des axes vont déterminer la précision de l'objet obtenu et l'état de surface. Notons



La société Silltec a développé, en coopération avec Prodways, un dispositif innovant d'impression 3D, réalisé par la projection successive, en 3 dimensions, d'images (jusqu'à 2 millions de points à 800 dpi) UV (365 ou 405 nm) dans un bain de résine liquide photo-polymérisable. Cette technologie permet d'atteindre de très hautes résolutions de l'ordre de 10 µm.

toutefois qu'une résolution de l'ordre de 50 à 100 microns (100 microns = un dixième de millimètre) est très suffisante pour obtenir des objets avec un bon état de surface en technologie fil. Des machines offrent même une résolution allant jusqu'à 20 microns.

Le type de matériaux d'impression et la variété de nuances sont aussi des critères importants. Le changement rapide de matériaux, voire la capacité à imprimer avec plusieurs têtes sont

RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR L'ACQUISITION D'UNE MACHINE DE FABRICATION ADDITIVE À L'ONERA

Entretien avec Christophe Coudrain, responsable de laboratoire

Quels étaient vos critères de choix et comment avez-vous sélectionné votre fournisseur?

Un critère important pour le prototypage de nos boîtiers caméra était la capacité du système à travailler avec un large choix de matière. Nous souhaitons commencer avec l'ABS mais nous savions que d'autres matières seraient nécessaires, sans savoir exactement lesquelles.

Sur le choix de la technologie, nous avons hésité avec la résine mais les machines sont plus chères et très dédiées. Nous avons donc opté pour une machine à fil avec un plateau chauffant possédant une grande stabilité et une grande dynamique. Nous avons besoin d'un produit professionnel, rodé, avec un vrai support technique et une formation. L'entretien par nos soins était aussi un critère pour éviter les temps d'arrêt trop longs sur un simple encrassement de buse par exemple.

Êtes-vous satisfait de votre choix et quels conseils donneriez-vous à un futur acheteur débutant?

Nous sommes satisfaits de notre choix car il répond à tous nos critères avec un prix raisonnable aussi bien pour l'achat (NDLR: environ 15 000 €), que pour l'entretien et les consommables.

Attention aux compétences nécessaires pour utiliser la machine et exploiter son potentiel. Il faut se former et bien gérer le côté « open source », ce qui prend du temps. La gestion du plateau et de son adhérence est un point que je trouve difficile.

Wave Suite

The most advanced metrology and adaptive optics control software package in the market backed by 20 years of wavefront sensing and control experience.



WAVEVIEW
WAVEFRONT ANALYSIS

WAVETUNE
ADAPTIVE OPTICS CONTROL

WAVEKIT
SOFTWARE DEVELOPMENT KIT

Contact us for more details:
contact@imagine-optic.com
or +33 1 64 86 15 60

des fonctions très utiles. Le prix des consommables doit également être examiné lors de l'achat. De nombreux fournisseurs de machines à fil ont des systèmes ouverts permettant d'acheter les matériaux sur un marché non captif. À titre indicatif, une bobine de fil en ABS (thermoplastique) coûte environ 40 € au kg, ce qui rend le prototypage rapide bon marché, surtout si vous devez faire de nombreuses itérations pour optimiser votre concept, ce qui est très souvent le cas.

La fiabilité, le SAV et l'efficacité du support technique du fournisseur sont importants également. Qui n'a jamais rencontré des problèmes d'installation ou de maintenance ? La rupture du fil ou l'encrassement d'une buse doivent pouvoir être solutionnés rapidement par l'utilisateur.

L'environnement logiciel doit être analysé. La machine doit être

compatible des logiciels CAO largement utilisés dans le monde de l'ingénierie et de l'architecture (logiciel CAD type OPENSCAD, Solidworks). Citons également ceux destinés aux particuliers, beaucoup plus faciles à prendre en main (Google SketchUp, Tinkercad, Autodesk 123D). L'open-source est généralement un argument de vente mis en avant.

Enfin, la vitesse ne semble pas être un critère important pour les applications de prototypage.

Les fournisseurs

Notre annuaire a été construit sur deux critères : nous avons sélectionné les entreprises offrant du matériel à destination des utilisateurs professionnels et assurant un service en France. Cette liste se veut exhaustive mais l'offre actuelle est importante et en forte croissance, ce qui rend toujours l'exercice difficile. La frontière entre l'utilisation privée et professionnelle est parfois floue.

POUR ALLER PLUS LOIN

[1] Revue spécialisée francophone, A3DM Magazine traite de l'actualité du secteur de la fabrication additive, plus d'info sur www.a3dm-magazine.fr

[2] *Fabrication additive, du prototype rapide à l'impression 3D*, par Claude Barlier et Alain Bernard. Collection Technique et Ingénierie, Dunod

[3] Le Pôle Route des Lasers organise le 29 novembre 2016 une journée technique intitulée « Fabrication additive et photonique » à Talence (33), www.routedeslasers.com

Tableau 2. Principaux fournisseurs en France

PRODUIT	SITE INTERNET	CONTACTS & DISTRIBUTEUR
Stratasys	www.stratasys.com/fr	CadVision , Guyancourt Tél. : 01 39 30 65 12
Leapfrog	www.leapfrog3d.com/	Multistation , 29 rue de l'isle celle, 35800 Dinard Tél. : 02 99 16 35 39
Envisiontec	http://enviontec.com/	Arkety 3D , Le Raincy Tél. : 01 43 00 05 28
3D Systems	www.3dsystems.com	3D Avenir SAS , 3 Avenue du Général de Gaulle, 91 Lisses Tél. : 01 85 74 25 41
Dagoma	www.dagoma.fr	Dagoma , 139 rue des Arts, 59100 Roubaix Tél. : 09 81 09 31 09 - sophie@dagoma.fr
Makerbot	www.makerbot.com	eu.makerbot.com/en
Volumic	www.imprimante-3d-volumic.com	Volumic , 2 rue Lascaris, 06300 Nice Tél. : 09 500 27 400
I3D Inno	www.i3dinno.com	I3D innovation , ZA Lann Vrihan, 56450 Le Hezo Tél. : 06 75 16 64 56
Tobeca	www.tobeca.fr	Tobeca , 10 boulevard de l'Industrie, 41000 Vendôme Tél. : 09 72 39 10 06 - contact@tobeca.fr
BBFIL	www.bbfil.fr	BBFIL , 203 Nord Route nationale, 67190 Heiligenberg Tél. : 03 88 87 84 14 - 07 78 15 85 36 - contact@bbfil.fr
Hewlett-Packard	www8.hp.com/us/en/printers/3d-printers.html	
EOS	www.eos.info/en	EOS Electro Optical Systems , 12 rue du Château d'Eau, 69410 Champagne au Mont d'Or
Voxeljet	www.voxeljet.de/en/	thierry.herrero@voxeljet.de
Prodways (groupe Gorgé)	www.prodways.com	3D NEW PRINT , 20 rue des clairières, 44840 Les Sorinières Tél. : 02 28 00 94 94 - www.3dnewprint.com
Tiertime (Chine)	www.tiertime.com	A4 Technologie , 5 avenue de l'Atlantique - 91940 Les Ulis, France Tél. : +33 1 64 86 41 00 - www.a4.fr , ab@a4.fr , e.b@a4.fr
Shareboot (It)	www.sharebot.it	Pour la France www.tridymaker.com/fr - contact@tridymaker.com
Volumic3D	www.imprimante-3d-volumic.com/fr/volumic-3d.cfm	Volumic 3D , 2 rue Lascaris, 06300 Nice, France Tél. : +33(0)6 28 07 13 77