

© SASCHA POHFLEPP - FLICKR

sommaire >

- 1 Introduction
- 2 Le point technologique
 - 2.1 Principales technologies des imprimantes 3D "de bureau"
 - 2.2 Principales technologies des équipements industriels de fabrication rapide
 - 2.3 Quelques conseils pratiques de conception
- 3 Enjeux et perspectives
- 4 Témoignage d'entreprise : ERPRO
- 5 Le point de vue de l'expert : ASSOCIATION FRANÇAISE DU PROTOTYPAGE RAPIDE
- 6 Pour en savoir plus...

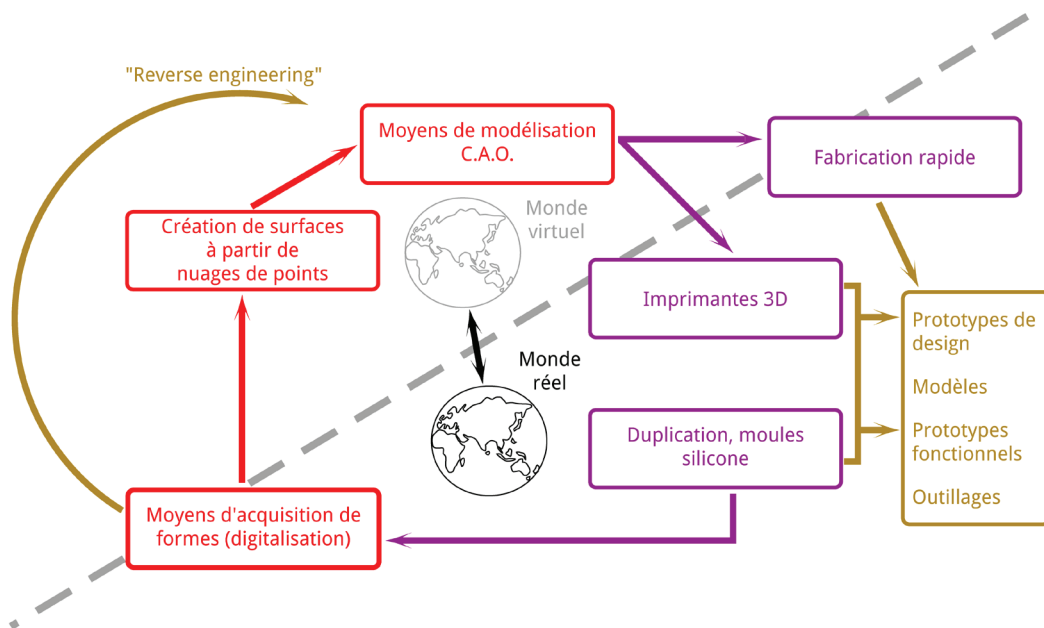
1 Introduction

L'univers de la fabrication additive est en effervescence continue, et, avec les progrès technologiques enregistrés ces dernières années, certains spécialistes augurent l'avènement prochain d'une nouvelle révolution industrielle.

Les imprimantes 3D deviennent en effet accessibles au grand public, avec des modèles d'entrée de gamme proposés pour moins de 1000 euros, quand les technologies de fabrication directe, autrefois réservées pour les prototypes ou les pièces infaisables autrement, approchent aujourd'hui du seuil de rentabilité pour la réalisation des pré-séries, et parfois même du produit final.

La Lettre technologique propose dans ce numéro un point sur l'actualité de ces univers technologiques, et le décryptage des enjeux associés pour les métiers de la conception.

2 Le point technologique



CHAÎNE DE LA 3D ET BOUCLES DE VALIDATION EN CONCEPTION.
 SOURCE : LYCÉE DIDEROT

L'expression "fabrication additive" désigne l'ensemble des techniques permettant l'obtention directe d'une pièce ou d'un outillage de production par addition de matière.

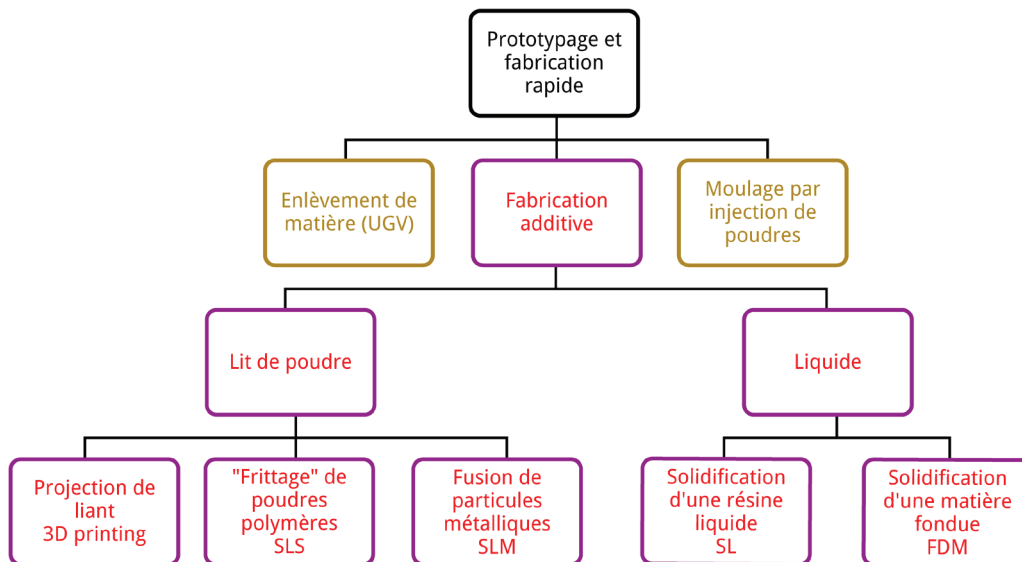
Elle remplace progressivement l'expression "prototypage rapide", signe du passage de ces techniques de l'activité de prototypage à la fabrication directe.

Pour fixer les idées, on peut classer les différentes technologies existantes selon l'état physique du matériau en entrée de processus :

- **Une poudre solide** : agglomérée couche par couche par différents procédés selon le type de technologie, comme la fusion laser ou la projection d'un liant.
- **Une matière liquide** : une résine polymérisée par différents procédés (laser, polymérisation sous UV, photo-polymérisation), ou une matière en fusion déposée par une buse chauffante.

Pour être exhaustif, on peut mentionner un autre type de fabrication additive, procédant par collage de couches découpées dans des feuilles de matière solide, mais il est beaucoup plus anecdotique.

Concernant les équipements, on peut distinguer deux grandes catégories, tout en précisant qu'il existe des machines intermédiaires : les imprimantes 3D d'entrée de gamme et les équipements industriels des sous-traitants spécialisés, qui peuvent coûter plusieurs centaines de milliers d'euros.



CLASSIFICATION DES METHODES DE FABRICATION ADDITIVE.
REPRODUCTION D'UN SCHEMA EXTRAIT DE LA THESE "FABRICATION ADDITIVE DE PIÈCES À BASE D'ALLIAGES MÉTALLIQUES COMPLEXES",
PAR ADNENE SAKLY, SOUS LA DIRECTION DE SERGE CORBEL ET VINCENT FOURNÉE DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE.

Comment choisir une technique de fabrication directe ?



Conseil préliminaire : ne pas oublier les techniques indirectes !

Selon les situations, la production d'un prototype ou d'une petite série de pièces peut s'avérer plus pertinente ou économique à l'aide des techniques de fabrication indirecte, comme l'usinage, la coulée sous vide et les techniques de fonderie rapide.

© PSA – PEUGEOT DESIGN LAB
ART TOY 010, UNE STATUETTE DESSINÉE PAR HOSSEIN BOROJENI ET RAZVAN BERECHET
DU STUDIO PEUGEOT DESIGN LAB, RÉALISÉE PAR L'ENTREPRISE ERPRO EN RÉSINE COULÉE.

Se poser les bonnes questions

Pour faire le choix judicieux parmi les différentes techniques directes et indirectes, voici quelques questions qu'il convient de se poser :

- **Quelle matière permettra d'obtenir les caractéristiques attendues pour le produit ?**
Propriété mécanique, tenue en température, tenue UV, vieillissement, couleur ...
- **Quelle technologie permet la mise en œuvre de cette matière ?**
- **Quelle doit être le niveau de qualité des formes et des surfaces ?**
Résolution, précision géométrique, précision dimensionnelle, état de surface...
- **Quel sera le coût global d'obtention du prototype ou de la série de pièces ?**
Investissement, consommables, usinage, main d'œuvre, délai...

Faire ou faire faire ?

Avec la baisse des coûts des imprimantes 3D, pour une TPE ou une PME qui a une forte activité de prototypage, l'acquisition d'une telle machine doit être à l'ordre du jour mais envisagée avec circonspection.

Le modèle de machine doit être choisi selon l'usage précis que l'on compte en faire, et son intensité (la machine fonctionnera-t-elle en continu ou par intermittence ?). Comme pour une imprimante 2D, le coût des consommables est un paramètre essentiel à considérer, d'autant qu'ils peuvent être périssables.

L'investissement doit toutefois être mis en concurrence avec le recours à des sous-traitants spécialisés. La taille et la qualité des pièces produites sur leurs machines sont incomparables avec celles des imprimantes 3D de bureau.

La typologie des projets de l'entreprise est importante pour faire son choix, selon qu'ils seront très semblables de l'un à l'autre, ou toujours différents.

Pour un studio de design, l'achat ou la location d'une imprimante 3D (ou mieux, sa fabrication... lire à ce propos l'encart "Do it yourself" dans les liens proposés en fin de numéro) peut se révéler très pertinent pour disposer d'un nouvel outil d'expérimentations et de recherches formelles. En revanche, pour la réalisation des prototypes destinés aux tests fonctionnels ou aux présentations client, dans des matières diverses, il est préférable de faire appel à un sous-traitant spécialisé.

Les paragraphes qui suivent détaillent les principales technologies proposées sur le marché.

Ils proviennent pour une grande part des informations dispensées par Denis Bonnenfant du Lycée Diderot, lors d'une formation organisée dans le cadre du programme "Mieux innover en mécanique" mené par le Centre Francilien de l'Innovation.

2.1 Principales technologies des imprimantes 3D "de bureau"

D'une mise en œuvre simple, et pour un coût d'investissement qui ne cesse de baisser, ces machines équipent un nombre croissant d'entreprises.

Jet de Résine Photopolymère

Les machines exploitant cette technologie sont équipées d'**une tête d'impression qui réalise les couches successives par projection d'une résine acrylique photosensible**. Chaque couche est polymérisée par flashage UV immédiatement après son dépôt.

Le coût associé est élevé ; les pièces produites ont une résistance mécanique moyenne, mais présentent une excellente qualité de rendu, avec des surfaces très propres et précises. Certains modèles peuvent de plus faire des pièces multi-matériaux.

Dépôt de thermoplastique en fusion (FDM)

Ce procédé mobilise **une buse chauffante alimentée par un fil de thermoplastique, qui dépose la matière couche par couche** à une température juste supérieure à son point de fusion.

Les pièces obtenues disposent d'une bonne résistance mécanique, mais d'une qualité de surface médiocre avec la présence de crénelages importants.

Collage de poudre

Ces machines créent les pièces à l'aide de **buses qui projettent de la colle dans un bain de poudre d'amidon**. Certaines machines haut de gamme sont équipées de têtes d'impression d'encre pour la production de produits en couleur directement en sortie d'appareil.

Les pièces demandent une opération de nettoyage fastidieuse pour retirer la poudre en excès, et un état de surface granuleux, mais elles présentent l'avantage d'être très faciles à retravailler (ponçage...).

Autres atouts, l'impression est rapide et les consommables sont très peu coûteux.

Polymérisation par faisceau lumineux et technologie DLP

Pour ce procédé, **la résine liquide est polymérisée par un faisceau lumineux à la forme de la couche à imprimer grâce la technologie de DLP** (Direct Light Processing).

En raison d'une capacité utile réduite, ces machines concernent la production des petits modèles.

Les pièces présentent une résistance mécanique moyenne mais un état de surface de haute qualité.

2.2 Principales technologies des équipements industriels de fabrication rapide

Destinés à un environnement d'atelier, ces équipements peuvent être comparés à des machines outils ; ils fonctionnent souvent en continu chez les sous-traitants spécialisés.

Stéréolithographie (SLA)

C'est la technologie de fabrication additive la plus ancienne et établie. **Les couches sont imprimées par polymérisation laser point par point à la surface d'un bain de résine photosensible**.

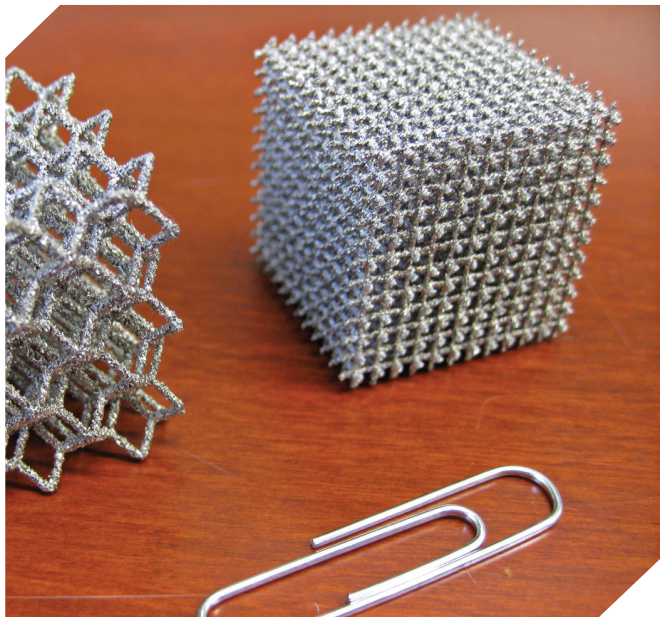
Elle propose une résolution très fine et une haute précision géométrique, pour des pièces présentant une qualité de surface inégalée.

Cette catégorie compte parmi ses modèles les machines dotées des plus grandes capacités utiles que l'on peut trouver en fabrication additive.

Les caractéristiques techniques des pièces (résistance mécanique, tenue aux UV ou à la chaleur, vieillissement...) dépendent de la résine choisie, qui peut être enrichie d'adjuvants ou de charges pour les améliorer (lire plus loin le témoignage de l'entreprise ERPRO).

Fusion de poudres par laser (SLS / SLM)

Ces technologies consistent à faire fusionner, à l'aide d'un faisceau laser, un matériau présenté sous forme de poudre. Elles s'appliquent principalement à des poudres de thermoplastiques, mais des métaux, des céramiques, des élastomères, des cires ou du sable de fonderie peuvent aussi être utilisés. On rencontre souvent le mot "frittage" pour les désigner, mais le terme n'est pas scientifiquement exact : au cours du process, les poudres ne sont pas frittées mais bien mises en fusion. Dans la communauté de la fabrication additive, l'usage semble retenir l'expression "frittage direct laser" (SLS, Selective Laser Sintering) pour la fusion des poudre plastiques, et "fusion directe laser" (SLM, Selective Laser Melting) pour celle des poudres métalliques (nous retiendrons donc pour ce document ces deux terminologies).



© YOUNG/NIST

Ces technologies permettent de réaliser des pièces "bonne matière" et "bonnes propriétés", mais avec une finition et un état de surface peu qualitatifs.

Concernant le "frittage" des thermoplastiques, le polyamide est le principal polymère employé (80 à 90% des poudres utilisées), en raison de sa polyvalence.

Pour les poudres métalliques, la fusion laser concerne encore un marché de niche mais en plein essor. Elle permet d'obtenir des caractéristiques équivalentes aux pièces de fonderie traditionnelle, avec l'incroyable liberté formelle de la fabrication additive. La mauvaise qualité de finition peut être corrigée par usinage en sortie de machine, mais la dureté des pièces est telle que l'opération est très coûteuse.

Dépôt de thermoplastique (FDM)

Ces équipements reposent sur le principe déjà exposé pour les imprimantes 3D de bureau, mais avec des dimensions et des degrés de précision largement supérieurs. Ils représentent un bon compromis entre le "frittage" de poudres plastiques et la stéréolithographie. La cadence de production est élevée, le panel des matériaux très large, et les pièces obtenues présentent de bonnes propriétés mécaniques.

2.3 Quelques conseils pratiques de conception

Si les technologies de fabrication additive lèvent bien des verrous en conception, elles n'en sont elles-mêmes pas totalement exemptes.

Les principales contraintes se posent surtout lors de la fabrication, pour déterminer la façon la plus judicieuse de produire une pièce, par exemple le choix de son orientation dans la machine pour optimiser les propriétés

mécaniques (les pièces étant produites par couche par couche, la résistance à la traction n'est pas la même selon que l'effort s'exerce parallèlement ou perpendiculairement aux strates).

Certaines technologies exigent des supports, pour éviter que les pièces ne s'effondrent lors de la fabrication, et il faut donc s'assurer qu'ils pourront facilement être retirés. Celles qui utilisent la matière sous forme de poudre s'en dispensent généralement, le bain de poudre dans lequel la pièce est immergée assurant son bon maintien. Pour d'autres en revanche, les supports sont souvent indispensables, notamment la stéréolithographie ou la fusion par dépôt de thermoplastique (FDM).

Pour cette dernière, ils sont toutefois moins contraignants, car ils peuvent être réalisés en matière soluble donc facilement évacués en sortie de production.

En entrée de machine, il faut également s'assurer de la qualité des fichiers 3D fournis. La référence pour la fabrication additive est le format STL, mais il sera bientôt remplacé par un nouveau standard, le format AMF (lire plus loin le point de vue de l'expert). La préparation des fichiers impose quelques précautions, en particulier la vérification que tous les solides du modèle sont bien fermés.

Enfin, pour la légèreté des fichiers, il convient d'ajuster le niveau de détail de la géométrie du modèle avec la précision de la machine sur laquelle il sera imprimé.

3

Enjeux et perspectives

Un nouveau paradigme de conception

La fabrication additive remet en cause deux principes fondamentaux de l'industrialisation classique, avec des conséquences retentissantes sur la conception :

→ **La réalisation des pièces par enlèvement de matière ou par moulage**, source de contraintes fortes en conception. Avec la fabrication additive, nul besoin de se soucier des contre-dépouilles ou des épaisseurs constantes imposées pour l'injection d'une pièce plastique ! La conception des produits en vue de leur fabrication directe présente une incroyable liberté formelle, avec la possibilité de créer objets jusqu'alors complètement irréalisables (il reste toutefois les limites liées à la physique même des objets, des pièces très fines réalisées en fabrication additive casseront bien évidemment toujours autant...).

S'il y a un défi à relever pour les designers et concepteurs, c'est peut-être celui de se défaire des réflexes acquis sous les contraintes de la fabrication classique !

→ **La production en série.** L'industrialisation traditionnelle repose sur la fabrication d'importants volumes d'une même pièce pour réaliser des économies d'échelle. Avec la fabrication additive, il est désormais possible de réaliser, à la demande donc sans stock, des produits uniques ou des produits de masse personnalisés. De nombreuses entreprises se développent actuellement sur ce créneau, en proposant la commercialisation en ligne d'objets imprimés à la commande. C'est une nouvelle place de marché pour les designers qui peuvent y proposer leur catalogue de produits.

Des imprimantes 3D chez "Monsieur Tout-le-monde" ?



© EDYTA ZWIRECKA – WIKIMEDIA

QUAND LA HAUTE COUTURE RENCONTRE L'IMPRESSION 3D...

La démocratisation des imprimantes 3D, que l'on connaît déjà dans les entreprises, s'opérera peut-être bientôt également auprès des particuliers. Le grand public peut déjà avoir accès à ces équipements, mis à disposition dans les réseaux de Fab Lab, ou chez certains acteurs de la distribution qui commencent à proposer le service à leurs clients.

Il est très probable que la vente des imprimantes 3D suscite de l'engouement auprès du grand public. Mais il reste à savoir le nombre d'utilisateurs qui trouveront une véritable utilité dans la possession d'un tel équipement ; les passionnés de bricolage ou de modélisme, et certains aficionados des nouvelles technologies y trouveront certainement leur compte, mais, pour une majorité d'utilisateurs, les performances des modèles actuels risquent d'en faire des gadgets high-tech plus qu'autre chose.

Piratage et propriété intellectuelle...

La fabrication 3D provoque, pour les secteurs manufacturiers, des inquiétudes proches de celles que l'on connaît depuis la fin du siècle dernier dans les industries de la musique, du cinéma ou de l'édition. Les produits physiques sont en effet à leur tour menacés de piratage, si tout un chacun peut facilement imprimer un objet à l'aide d'un fichier 3D échangé sur internet...

L'essor de la fabrication directe

Concernant les applications industrielles, l'essor de la fabrication directe semble certain. Pour les produits de masse, les techniques traditionnelles gardent pour l'instant leur compétitivité, mais, dans certains domaines d'application, les techniques additives ont désormais dépassé le seuil de rentabilité. Et cela ne s'applique plus seulement pour la production de pièces uniques, mais parfois des séries qui peuvent atteindre plusieurs milliers d'exemplaires.

La fabrication directe intéresse aujourd'hui plus particulièrement certains secteurs industriels : la fabrication d'outillages, l'aéronautique et le spatial, dont les séries de production sont limitées, ou encore le secteur médical, avec notamment la production de prothèses auditives et dentaires aux mesures précises des patients.

Avec les progrès considérables que connaissent ces technologies, nul doute qu'elles vont investir, à court ou moyen terme, un nombre exponentiel de secteurs d'activités.

4 Témoignage d'entreprise



Cyrille Vue / ERPRO

Dans son numéro 9 consacré au prototypage rapide, la Lettre technologique avait recueilli le témoignage de Cyrille Vue, dirigeant de ERPRO et Sprint Plastique. Il nous avait alors présenté les activités de ses sociétés, spécialisées dans le prototypage, la fabrication directe et l'outillage rapide. Trois ans plus tard, nous avons pris un nouveau rendez-vous avec l'entrepreneur, l'occasion de faire le point sur l'évolution des marchés et technologies dans ces domaines en pleine effervescence.

Depuis trois ans, comment ont évolué vos activités ?

Avec l'augmentation et la diversification des besoins de nos clients, nos marchés connaissent une forte expansion ; entre 2010 et 2012, nous avons enregistré une hausse de chiffre d'affaires de près de 30%. Nous avons soutenu cette croissance avec une importante politique d'investissement pour muscler nos capacités de production, tout en donnant à nos clients l'accès aux technologies de dernière génération.

Quels sont les équipements qui ont rejoint vos ateliers ces dernières années ?

Nous avons accueilli avec beaucoup d'enthousiasme une machine de fusion métallique. Cette technologie de rupture permet la fabrication directe à partir de métaux nobles (aluminium, acier inoxydable mais aussi acier "Maraging"), pour des pièces dotées d'une santé matière très élevée, et dans les géométries les plus élaborées ou complexes qui soient (surfaces à forme libre, fentes profondes, canaux de refroidissement en 3D...). Ce nouvel équipement nous offre beaucoup de perspectives, avec l'accès à de nouveaux domaines d'activité, notamment la production de pièces mécaniques pour l'industrie aéronautique. Il s'inscrit également avec beaucoup de valeur ajoutée dans notre activité d'injection de pièces plastiques, car nous pouvons désormais fabriquer nos moules et outillages dans des délais records.

Nous avons aussi fait l'acquisition de plusieurs centres de stéréolithographie, dont une machine aux dimensions extra-larges, disposant d'une capacité utile de 1500 x 750 x 550 mm. Elle complète idéalement nos capacités de production, et nous permet de fabriquer de grandes pièces monoblocs, comme des planches de bord, des calandres ou des pièces d'architectures, qui étaient auparavant fabriquées en plusieurs parties avant d'être assemblées.

Nous avons, d'une manière générale, renforcé tous nos postes d'activité, avec l'achat d'une imprimante 3D couleur, d'un nouveau centre d'usinage, d'une presse à injecter, d'une machine de coulée sous vide... Nous allons bientôt emménager dans des locaux plus spacieux, la place commence à manquer dans nos ateliers !



© ERPRO / KASPER
L'HOMME POISSON, CRÉATION DU SCULPTEUR KASPER,
RÉALISÉE PAR ERPRO EN STÉRÉOLITHOGRAPHIE.

Le parc machines de l'entreprise :

- 1 machine de fusion laser
- 4 centres de "frittage" de poudre polymère
- 8 machines de stéréolithographie
- 3 imprimantes 3D dont un modèle couleur
- 3 centres de moulage silicone
- 4 cabines de microbillage
- 2 cabines de peinture + 1 laboratoire de peinture
- 3 marbres
- 3 modèles de fraiseuses 3 axes
- 4 presses à injecter

Pour la stéréolithographie, quelles sont les nouvelles résines qui ont retenu votre attention ?

Avec les travaux de R&D menés par nos fournisseurs, la gamme des résines utilisables en stéréolithographie gagne chaque jour de nouvelles références, mais je peux vous parler de quelques nouveautés qui ont beaucoup de succès auprès de nos clients.

Pour les pièces qui doivent conjuguer résistance mécanique et qualité d'aspect, je peux citer la résine Xtreme™, dans la lignée de la résine Next™ que j'avais évoquée lors de la première interview. Leurs propriétés de solidité et de résistance aux chocs, combinées aux atouts de la stéréolithographie (résolution, précision géométrique et qualité de surface), en font une solution très appropriée pour la réalisation de prototypes fonctionnels ou de petites séries en fabrication directe.

Une autre référence est également particulièrement appréciée, la résine ClearVue™, dotée d'un niveau de transparence jusqu'alors inaccessible en stéréolithographie. Elle est tout naturellement prédisposée pour la réalisation des prototypes avec des éléments transparents, comme des flacons ou les parties vitrées d'une maquette automobile.

Dans un autre registre, je mentionnerai enfin la résine Nanotool™, une innovation très intéressante: chargée avec des nanoparticules de céramique, elle confère aux pièces produites une tenue à haute température, jusqu'à près de 250°. Grâce à cette caractéristique, elle est très prisée dans certaines applications techniques, par exemple pour la réalisation des modèles utilisés lors des essais aérodynamiques de l'industrie automobile et aéronautique.



© ERPRO
EN SORTIE DE STÉRÉOLITHOGRAPHIE, ERPRO PROPOSE, ENTRE AUTRES FINITIONS, LA GALVANOPLASTIE DES PIÈCES, OU "METAL COATING".
CE TRAITEMENT DE SURFACE PERMET D'APPLIQUER UN DÉPÔT MÉTALLIQUE (ENTRE 50 ET 150µM), POUR APPORTER UNE FINITION MÉTAL
HAUT DE GAMME, OU AUGMENTER CERTAINES PROPRIÉTÉS COMME LES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES OU LA TENUE AU VIEILLISSEMENT.

<http://www.erpro.fr/>

Technologie	Matière disponible	Avantages	Inconvénients	Coef prix	Remarques
STEREO MODE HR	RESINE type ABS blanche	Très bonne résolution des pièces, Épaisseur de couche 0,05mm, Détails = 0,1mm	Prix élevé, Process long	3	Process permettant d'avoir des pièces avec une définition inégalable, adapté aux petites pièces (125x125x200mm), une définition inégalable. Bien pour les pièces design avec des détails très fin, tels que logo de volant...
STEREO MODE EXACT	RESINE type ABS blanche ou translucide	Bonne résolution des pièces, Épaisseur de couche 0,1mm. Détails < 0,3mm	Process un peu plus long	1,3	Adapté à tous types de pièces avec d'excellente définition, bien pour les pièces design ou très techniques.
STEREO LITHOGRAPHIE	RESINE type ABS blanche	Aspect plastique blanc, pièce fonctionnelle, précision, géométrie	Tenue au choc et tenue T°<80°C	1	Adapté pour les pièces de présentation avec sollicitation mécanique modérée
	RESINE DSM Watershed XC	Pièces translucide et pièce fonctionnelle, précision, géométrie	Tenue au choc et tenue T°<80°C	1	Adapté pour les pièces de présentation avec sollicitation mécanique modérée
	RESINE Next blanche ou grise	Aspect plastique, pièce fonctionnelle, précision, géométrie, très bonne tenue au choc	Tenue au choc et tenue T°<80°C	1	Tous les avantages de la stéréo avec une solidité comparable au frittage. Adapté pour les pièces de présentation avec sollicitation mécanique
	RESINE Nanotool	Pièce rigide et résistante aux températures élevées, précision, géométrie			Idéal pour des pièces exposées à 200°C en continu
	RESINE Clearvue	Pièce transparente, pièce fonctionnelle, précision, géométrie	Tenue au choc et tenue T°<80°C	2	Adapté pour les pièces de présentation avec sollicitation mécanique modérée. Avec cette résine le coeff prix est fois 2 car il faut un temps de finition plus important pour avoir une transparence inégalable
FRITTAGE DE POUDRE	PA 2200	Très bonne tenue mécanique, similaire au PA 12	Aspect des pièces brutes, précision < stéréo	0,9	Adapté pour les pièces fonctionnelles
	FR 106	Excellente tenue mécanique, presque incassable, auto extinguable, classification FAR 25 V0	Aspect des pièces brutes, précision < stéréo	2	Idéale pour applications avec classification au feu, pièce "avionable". Idéale pour la validation de clippage, ou effet charnière.
	PA 11 NOIR	Excellente tenue mécanique, presque incassable	Précision < stéréo	1,5	Plus souple que le PA 12, idéal pour film-charnière. Teinté noir dans la masse.
	PA 3200 GF	Pièce rigide, très bonne tenue mécanique, similaire à du PA chargé verre, bonne tenue en T° (130 °C), état de surface meilleur que le PA 2200.	Plus cassante que du PA 2200, précision < stéréo	1,3	Adapté pour les pièces fonctionnelles, pièces sous capot moteur, pièces de styles.
	ALUMIDE	Pièce rigide, Très bonne tenue en T° (150 °C), aspect aluminium de type fonderie	Plus cassante que du PA 3200 GF. Précision < stéréo. Prix élevé, poudre non recyclable	2	Adapté pour les pièces fonctionnelles, pièces sous capot moteur, pour les présentations de pièces mécaniques, les outillages de contrôle...

Technologie	Matière disponible	Avantages	Inconvénients	Coef prix	Remarques
FRITTAGE DE POUVRE	CARBONE	Très bonne tenue mécanique, pièce très rigide (7200 Mpa). Très bonne tenue en T° (160°C). Aspect carbone noir.	Plus cassante que du PA 2200. Précision < stéréo. Prix très élevé	3	Peu remplacer des pièces de tôleries, des pièces issues de strat carbone
FUSION METALLIQUE	MARAGING (Acier)	Tenue mécanique, densité, précision (+/- 0,1mm), finesse des couches (0,04mm). Acier très dur convient aux outillages d'injections		6	Pour des pièces de taille moyenne (250x250x300mm), peut remplacer l'usinage car plus rapide et moins cher, surtout si la pièce est complexe. Plus la pièce est compliquée, plus il peut y avoir un intérêt économique.
	ACIER INOX	Acier inox, ne rouille pas, convient bien aux pièces protos		6	Pour des pièces de taille moyenne (250x250x300mm), peut remplacer l'usinage car plus rapide et moins cher surtout si la pièce est complexe. Plus la pièce est compliquée, plus il peut y avoir un intérêt économique.
	ALUMINIUM	Alliage d'aluminium, convient bien aux pièces protos		6	Pour des pièces de taille moyenne (250x250x300mm), peut remplacer l'usinage car plus rapide et moins cher surtout si la pièce est complexe. Plus la pièce est compliquée, plus il peut y avoir un intérêt économique.
MOULE SILICONE OU RIM	RESINE PU	Large gamme de résine PU permettant d'imiter des pièces caoutchouc, du PA, du PA GF, du PP, du PE, de l'ABS....	Rentable pour une Qté > 5 pièces	*	Permet d'obtenir une grande quantité de pièces (20 à 200) de grande qualité (esthétique, mécanique), rapidement et avec des outillages peu coûteux.
IMPRESSION 3D COULEUR	ZP 150 POWDER	Fabrication de maquette directement en couleur, délai de fabrication court, coût peu onéreux	Pièce non fonctionnelle, nécessite une imprégnation après fabrication	1,5	Idéal pour les maquettes de présentation couleur

5 Le point de vue de l'expert



Sylvestre Nunès / ASSOCIATION FRANÇAISE DU PROTOTYPAGE RAPIDE

L'AFPR fédère l'éco-système des développeurs et utilisateurs des technologies de fabrication additive depuis leur arrivée en France. La Lettre technologique s'est entretenue avec Sylvestre Nunès, le secrétaire de l'association, pour disposer de son point de vue éclairé et prospectif, et s'enquérir des enjeux de la normalisation pour ces technologies.

Les missions de l'AFPR

- Rassembler les partenaires de la Fabrication Additive
- Répondre à des besoins multisectoriels
- Favoriser la formation et le transfert de technologie
- Rassembler, capitaliser puis diffuser l'information la plus objective et la plus complète
- Soutenir les projets innovants
- Construire un lien d'échange didactique et technique
- Se positionner dans un cadre européen et mondial

La fabrication additive est-elle pour vous la source d'une nouvelle révolution industrielle ?

Oui, mais il faut préciser que nous en sommes encore aux prémises. La fabrication additive a fait son apparition depuis plus de vingt ans, mais elle est restée jusqu'à peu surtout dédiée à l'activité de prototypage. Le tournant a été pris depuis quelques années, avec l'évolution des équipements et des matériaux utilisés, qui ont considérablement élargi son champ d'application. Elle concerne aujourd'hui l'ensemble des secteurs d'activité et couvre tout le cycle de vie des produits.

Toutefois, il faut veiller à ne pas tomber dans la confusion induite parfois par la vulgarisation de ces technologies. On présente trop souvent, simultanément et sans distinction, les imprimantes 3D proposées sur le marché pour moins de 1000 euros, et les dernières applications des équipements de pointe... ce qui peut laisser croire que le particulier pourrait imprimer un cœur artificiel ou une pièce d'avion dans son salon.

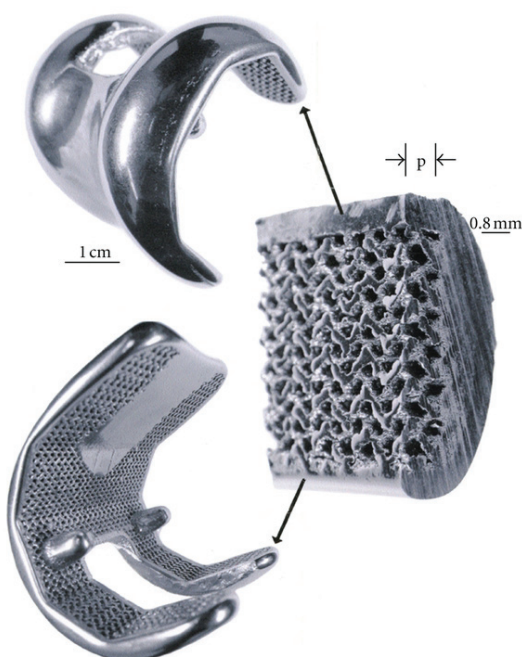
Un scénario qui sera encore longtemps de pure science fiction : les machines proposées en entrée de gamme peuvent tout au plus servir à fabriquer des objets décoratifs. Sans même parler de prothèses médicales ou de pièces aéronautiques, les matériaux des objets de notre quotidien répondent à des exigences que les matériaux de ces imprimantes 3D sont encore très loin de pouvoir respecter.

Pouvez-vous faire le point pour nos lecteurs sur les enjeux de la normalisation ?

En France, nous avons commencé à travailler sur le sujet dès 2006, avec le lancement des commissions de travail "Fabrication Directe Métal" et "Fabrication Directe Plastique", par la suite réunies autour d'un projet commun : la normalisation de la fabrication additive. C'est un facteur essentiel pour accompagner ces technologies dans le passage du marché du prototypage rapide au monde de la production industrielle.

Dans cette optique, la normalisation vise à définir un cadre standardisé pour tous les acteurs, spécifiant les procédés, les termes et définitions, les chaînes de processus (matériels et logiciels), les procédures d'essai, les paramètres de qualité, ou encore les accords clients fournisseurs.

Pour donner une illustration des enjeux concrets pour la filière, je peux vous évoquer l'un des verrous importants que la normalisation permettra de lever : la certification de la qualité des pièces qui se fait actuellement au cas par cas. Par exemple, un industriel qui dispose d'un équipement de stéréolithographie peut certifier qu'il obtient de bonnes pièces sur sa machine, pour un type bien précis de résine, et de stratégie de balayage... mais, s'il change l'un de ces paramètres, il doit aujourd'hui refaire toute la certification...



© 2012 LAWRENCE E. MURR ET AL.

PROTOTYPE D'IMPLANT FÉMORAL POUR UNE PROTHÈSE DE GENOU, RÉALISÉ EN ALLIAGE DE COBALT CHROME MOLYBDÈNE PAR FABRICATION ADDITIVE EBM ("ELECTRON BEAM MELTING" OU FUSION PAR FAISCEAU D'ÉLECTRONS). UNE TECHNOLOGIE ENCORE ÉMERGENTE, MAIS QUI AUGURE LA RÉALISATION FUTURE DE MATÉRIAUX MÉTALLIQUES ARCHITECTURÉS "SUR MESURE".

POUR CONSULTER L'ÉTUDE COMPLÈTE :

[HTTP://WWW.HINDAWI.COM/JOURNALS/IJBM/2012/245727/](http://www.hindawi.com/JOURNALS/IJBM/2012/245727/)

Les normes en cours abordent-elles le format des fichiers 3D ?

L'un des volets porte effectivement sur l'établissement d'une spécification pour le format de fichier 3D utilisé en fabrication additive. Aujourd'hui, le plus répandu est le format STL, mais il présente l'inconvénient de ne contenir que des informations sur la géométrie des objets. Le nouveau standard en cours de normalisation, le format AMF, contiendra des informations supplémentaires, comme l'état de surface, les couleurs ou les textures. Il est aujourd'hui entièrement défini, et la publication de la norme est prévue pour mai 2014. Ce sera donc à très court terme le format de référence au niveau international.

Quelles innovations marqueront l'univers de la fabrication additive dans un futur proche ?

Deux niveaux d'innovation peuvent être distingués : les progrès des technologies de fabrication additive, et les fruits de ces technologies.

Du côté des technologies en elles-mêmes, les différents procédés de fabrication sont bien établis, les progrès imminents concerneront surtout l'enrichissement de la palette des matériaux et l'amélioration des performances des machines.

Pour les innovations générées par ces technologies, les choses ne font que commencer, tant leur potentiel reste à exploiter dans son entière mesure. Elles concerneront les produits mais aussi les matériaux... les équipements atteignent aujourd'hui une résolution telle que l'on peut inventer de nouveaux alliages en composant les arrangements de la matière par fabrication additive!

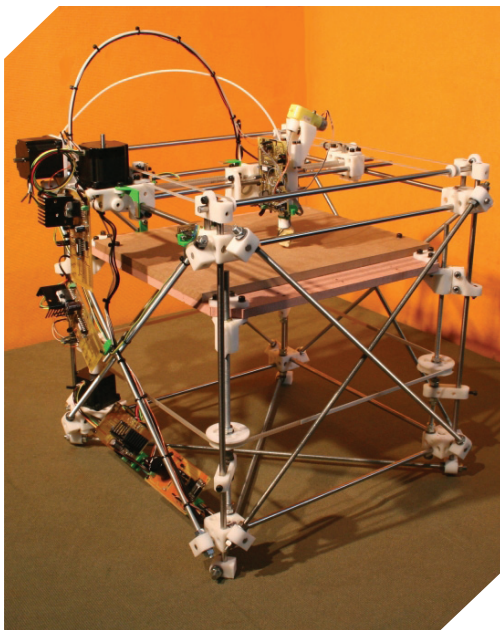
<http://www.afpr.asso.fr/>

6 Pour en savoir plus...

À la une...

"Do it yourself" : projets Fab@home et RepRap

Dans la lignée du mouvement général « Do It Yourself » (DIY), une importante communauté s'est développée autour de la conception de machines de prototypage rapide en open source (le logiciel de pilotage comme les plans de l'appareil sont proposés gratuitement sur Internet). Tout bricoleur un peu averti peut donc aujourd'hui se construire sa propre machine d'impression 3D, avec la possibilité de proposer des améliorations ou de la spécialiser pour de nouveaux usages et matériaux.



© CHARLESC — WIKIMEDIA
LE REPRAP 1.0 "DARWIN", MACHINE OPEN-SOURCE
DE FABRICATION ADDITIVE MULTI-MATÉRIAUX.

La communauté s'est structurée autour du projet Fab@home, qui a connu un prolongement récent avec le développement du projet RepRap, impulsé par l'Université de Bath. Il reprend les principes du Fab@home en y ajoutant l'autoréplication : les machines sont conçues avec une majeure partie de leurs composants réalisables en prototypage rapide. Le possesseur d'un appareil peut donc l'utiliser pour construire un nouveau modèle. Depuis la genèse du projet, en 2008, plus de 100 nouvelles machines et projets ont vu le jour, et leur nombre est en croissance exponentielle.

Fab@home :

<http://www.fabathome.org/>

Reprap :

http://reprap.org/wiki/Main_Page

<http://fr.wikipedia.org/wiki/RepRap>

Les Fab Labs

Apparus en France en 2010, les "laboratoires de fabrication" mettent à disposition du grand public un ensemble de machines-outils, dont des imprimantes 3D.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Fab_lab

<http://fablab.fr/>

<http://www.usinenouvelle.com/article/avec-un-fab-lab-produisez-pres-de-chez-vous.N171183>

http://www.liberation.fr/economie/2013/06/30/fab-labs-la-grande-bidouille_914807

Bercy ouvre une aide aux Fab Labs pour encourager le DIY

<http://www.numerama.com/magazine/26371-bercy-ouvre-une-aide-aux-fab-labs-pour-encourager-le-diy.html>

Carte de France des Fab Labs :

<https://maps.google.fr/maps/ms?ie=UTF8&oe=UTF8&msa=0&msid=200703077238835225991.0004afdf18d3e50cda730>

Fab Labs en Île-de-France :

<http://www.iledefrance.fr/fil-actus-region/fab-lab-creer-communaute>

Le Petit Fab Lab de Paris : <http://lepetitfablabdeparis.fr/>

Une imprimante 3D fabriquée au Fab Lab du Carrefour numérique : <http://www.iledefrance.fr/file/6837>

Centre de compétences : Lycée Diderot Paris

61 rue David-d'Angers

75019 Paris

Téléphone : 01 40 40 36 36

<http://www.diderot.org>

Contacts sur le thème de la fabrication additive :

Christophe Albier et Denis Bonnenfant

Informations générales

Retour sur les mythes et vérités de l'impression 3D :

<http://www.wired.com/opinion/2013/05/an-insiders-view-of-the-hype-and-realities-of-3-d-printing/>

Comment l'impression 3D va bouleverser l'économie de demain...

<http://www.bloomberg.com/news/2013-05-14/how-3-d-printing-could-disrupt-the-economy-of-the-future.html>

Journal des technologies de fabrication additive et d'impression 3D professionnelles :

<http://www.tctmagazine.com/>

Un diaporama très instructif conjuguant informations techniques et économiques :

http://cerig.efpg.inpg.fr/dossier/pagora-days-drupa-2012/PagoraDays2012_Rexer-Sarrasin_impimpression-3D-volume.pdf

Guide pratique sur le prototypage rapide :

http://sii-technologie.ac-rouen.fr/Microtechniques/STI2D/Prototypage/L_ABC_du_prototypage.pdf

Le site du GARPA (Global Alliance of Rapid Prototyping Associations), l'association internationale sur le thème de la fabrication additive :

<http://www.garpa.org/main/>

<http://www.impression3d.net/histoire-de-limpression-3d/>

<http://3dprintingindustry.com/>

Articles de presse

http://www.liberation.fr/economie/2012/10/01/l-impression-3d-nouvelle-revolution-industrielle_850035

http://www.liberation.fr/economie/2012/09/30/la-3d-fait-forte-impression_849903

<http://www.latribune.fr/technos-medias/informatique/20130709trib000774768/imprimantes-3d-ces-petites-machines-qui-vont-beaucoup-changer-le-monde.html>

<http://www.indexel.net/actualites/impression-3d-la-nouvelle-revolution-industrielle-3819.html>

Quelques applications

L'imprimante 3D qui transforme n'importe quelle matière en support mp3 :

<http://mdelmas.net/limprimante-3d-qui-transforme-nimporte-quelle-matiere-en-support-mp3/>

L'invisibilité possible grâce aux imprimantes 3D !

<http://www.gizmodo.fr/2013/05/16/invisibilite-imprimante-3d.html>

Imprimer des maisons...

<http://www.internetactu.net/2013/06/04/apres-la-smart-city-la-living-city/>

Automobile

Ford et l'impression 3D :

<http://www.lesnumeriques.com/3d-dans-processus-fabrication-prototypes-voitures-a1686.html>

Urbee 2 : autonomie record pour la première voiture imprimée en 3D :

<http://www.generation-nt.com/urbee-2-autonomie-record-pour-premiere-voiture-imprimee-3d-actualite-1702352.html>

Industrie spatiale

Bientôt une base lunaire grâce à l'impression 3D ?

http://www.lepoint.fr/science/bientot-une-base-lunaire-grace-a-limpression-3d-06-02-2013-1624611_25.php

La NASA veut nourrir ses astronautes avec des Pizzas issues d'une imprimante 3D :

<http://www.impression3d.net/la-nasa-veut-nourrir-ses-astronautes-avec-des-pizzas-issues-dune-imprimante-3d>

Secteur médical

Un corps neuf sur mesure grâce à l'impression 3D ?

<http://www.lalibre.be/societe/planete/article/819676/un-corps-neuf-sur-mesure-grace-a-l-impression-3d.html>

Du tissu musculaire fabriqué par une imprimante 3D :

<http://fr.euronews.com/2012/11/13/du-tissu-musculaire-fabrique-par-une-imprimante-3d/>

<http://www.generation-nt.com/imprimante-3d-capable-fabriquer-tissu-humain-actualite-1648692.html>

Des cellules souches pour créer des organes par impression 3D :

http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/biologie-3/d/des-cellules-souches-pour-creer-des-organes-par-impression-3d_44469/

Le secteur des équipements de fabrication additive, un marché qui suscite beaucoup de convoitise...

<http://www.3dvf.com/actualite-3476-impression-3d-fusion-d-objet-et-stratasys.html>

<http://frenchweb.fr/impression-3d-la-start-up-makerbot-rachetee-300-millions-deuros-par-stratasys/121187>

Acquisition d'une start-up francilienne par le géant américain 3D Systems :

<http://frenchweb.fr/3d-systems-soffre-la-start-up-francaise-co-web/95159>

3D Systems attaque son compatriote Forlabs pour violation de brevet :

<http://www.itespresso.fr/impression-3d-3d-systems-accuse-formlabs-violation-brevet-59172.html>

Le GROUPE GORGÉ vient d'acquérir 88% du capital de la société PHIDIAS Technologies :

http://www.info-financiere.fr/upload/ACT/2013/05/FCACT022891_20130522.pdf

Pour partager, acheter ou vendre des modèles 3D

http://cubify.com/store/marketplace.aspx?tb_shop_all

<http://www.fabster.com/physibles>

<http://polychemy.com/>

<http://www.shapeways.com>

<https://www.layerbylayer.com>

Quelques fournisseurs

Machine de prototypage rapide et matériaux :

www.eos.info

www.3dsystems.com

www.mcp-group.com

Résines de stéréolithographie :

http://www.dsm.com/en_US/html/dsms/home_dsmsomos.htm