

Le prototypage rapide

GÉRARD QUÉVRIN ET LUDOVIC FÉRY^[1]

Voici des extraits d'un dossier d'« Industrie & technologies » (« Imprime-moi un avion ») paru en mars dernier qui vous permettront de faire le point quant à l'état de l'art du prototypage rapide. Quels sont les procédés existants et leurs principes ? Peut-on produire en série ? Combien cela coûte-t-il ? Autant de questions qui trouveront ici des réponses concrètes.

Le prototypage rapide s'industrialise

Grâce à ses progrès technologiques, la fabrication 3D n'est plus cantonnée au prototypage. Elle permet aussi l'assemblage de pièces physiquement utilisables. Et fait ainsi de plus en plus d'adeptes, de l'usine la plus traditionnelle au nouvel acteur du e-commerce. Jusqu'où cette déferlante impactera-t-elle notre modèle industriel ?

Jusqu'à 5 millions de produits uniques fabriqués chaque année. Le hollandais Shapeways, qui n'était encore qu'une start-up il y a quelques années, est passé maître dans l'industrialisation de la fabrication 3D, avec son usine inaugurée cette année à New-York. Celle-ci comptera de 30 à 50 machines. Différents procédés de fabrication seront disponibles pour ses clients, ainsi qu'une variété de matériaux : plastiques, céramiques, sable... Un changement d'échelle révélateur de l'évolution du secteur dans son entier. La fabrication additive, qui consiste à assembler un objet couche par couche, n'est pas une nouveauté en soi. Mais les usages et les applications qui en découlent sont en plein boom. « Les technologies ayant évolué, plusieurs procédés permettent désormais de produire directement des pièces, en petite et moyenne série », confirme Éric Baustert, responsable R&D au sein de la société MB Proto, qui produit notamment des prothèses dentaires, en plus de son activité de

mots-clés

Procédé, prototypage, production

prototypage. Une tendance confirmée par le dernier rapport du cabinet de conseil Wohlers Associate. Ce document souligne que la part relative du prototypage dans les revenus issus de la fabrication 3D, écrasante au début des années 2000, a été ramenée en 2011 à 76 %. De fait, les raisons d'adopter la technologie pour un usage industriel sont de plus en plus nombreuses. D'abord, sur des petits volumes ou des marchés de niche, elle permet de réaliser des économies substantielles de temps et d'argent. Ainsi, par rapport à l'injection plastique, les coûts de fabrication peuvent être réduits d'un facteur dix et le cycle de production raccourci de quelques heures à quelques semaines, grâce à la suppression de l'étape de création d'un moule dédié.

Des atouts industriels indéniables

Autre critère d'intérêt pour les industriels : l'allègement des pièces. Un atout de plus en plus net dans un grand nombre de secteurs, dont les transports et l'électronique. Selon EADS,

qui construit des prototypes de vélo et de drones en matière plastique en fusionnant plusieurs pièces en une et en éliminant les éléments d'assemblage, comme les vis ou les écrous, un allègement de 65 % est possible à performances mécaniques égales.

De nouveaux débouchés

Le même type de résultats peut être atteint avec les métaux, en créant des structures plus fines. Le français Poly-Shape, qui utilise la fusion laser de poudre métallique, parvient par exemple à obtenir des roues de turbine en titane 50 % plus légères que des roues standard, en construisant des sections alvéolées.

En outre, comme le souligne la société de conseil Computer Sciences Corporation (CSC) dans un rapport sur la fabrication 3D, la technique est parfois la plus adaptée pour mettre en œuvre certains matériaux. C'est le cas du titane qui, malgré ses attraits, résiste mal aux moyens d'usinage conventionnels, comme la découpe ou le soudage.

La fabrication additive permet donc de produire mieux. Mais aussi et surtout d'ouvrir de nouveaux débouchés. Ainsi, les machines de frittage de poudre du français Phenix Systems sont à même de mélanger métaux et céramiques dans une même poudre, pour créer des composites à très haute performance mécanique ou thermique, inaccessibles

[1] Article extrait de la revue *Industrie & technologies*, n° 952, mars 2013.



par des techniques conventionnelles. L'industriel travaille aussi à fonctionnaliser des pièces. Ainsi, sur la même « tranche » d'un objet, il serait possible d'associer deux matériaux différents. Par exemple, sur une forme sphérique, un cœur en matériau conducteur et un pourtour en métal anticorrosion.

Du côté des poudres organiques, des recherches ont lieu pour mettre au point de nouvelles formules aux propriétés finement contrôlées, en termes d'homogénéité, via le contrôle de la taille des grains, comme de résolution des motifs (jusqu'au dixième de micron), ou d'ajout de fonctions comme la capacité à conduire le courant électrique ou à s'autoréparer, entre autres. Dans le biomédical par exemple, on peut envisager d'imprimer des matrices servant de support à des cellules pour reconstruire des tissus. À mesure que les machines progressent, des pièces plus grandes et plus fiables peuvent être fabriquées. « Pour les drones, il est déjà possible de construire des ailes en sections, puis de les assembler », souligne Terry Wohlers, fondateur de Wohlers Associates. Même si la perspective d'imprimer en 3D une aile d'avion paraît encore lointaine, les constructeurs aéronautiques ne perdent pas de vue l'objectif. En témoigne le projet de recherche européen Amaze, qui vise à produire par fabrication additive des composants métalliques de deux mètres d'envergure à l'horizon 2017. L'Agence spatiale européenne et Thales Alenia Space y sont associés.

Vers une transformation des usines ?

En arrivera-t-on, comme le prédit le cabinet CSC, à voir des machines de fabrication 3D dans toutes les usines ?



■ Poly-Shape réalise avec sa technologie de fabrication directe par fusion laser des pièces complexes en alliage de titane pour l'aéronautique. De plus, ce procédé permet des délais de production très courts.

Des procédés hybrides mélangeant impression 3D et usinage conventionnel verront-ils le jour ? Pour Terry Wohlers, le prix des machines industrielles pourrait freiner ce mouvement. À l'heure actuelle, celui-ci reste élevé, même pour un grand groupe.

« Certaines usines produisant des volumes faibles et des pièces très complexes seront concernées. Mais la technologie va surtout contribuer à créer de nouvelles opportunités commerciales : de nouveaux types de produits et de nouvelles façons de créer des pièces et des assemblages complexes », analyse l'expert. « Je ne vois pas la fabrication 3D devenir le mode de production universel », estime quant à lui le directeur général de Phenix Systems, Patrick Teulet. « En revanche les progrès permettront à cette technologie de se positionner sur des secteurs très techniques, comme le spatial ou l'aéronautique, avec la possibilité de créer de nouveaux matériaux et de miniaturiser les composants. »

À l'heure où l'avenir de certaines usines reste incertain, la fabrication 3D a au moins le mérite de promettre des lendemains industriels. ■

« Des normes pour garantir la qualité »



◀ Catherine Lubineau, directrice technique adjointe de l'Union de normalisation de la mécanique

Ingénierie de l'université de technologie de Compiègne, elle dirige l'UNM 920, la commission de normalisation française sur la fabrication additive, depuis sa création en 2010. Elle gère aussi un groupe de travail au sein du comité international ISO/TC 261.

Pourquoi la normalisation de la fabrication additive est-elle importante ?

Elle constitue un vecteur de diffusion des nouvelles technologies et contribue à leur adoption, en rendant l'information disponible sur le marché. De plus, elle aidera à donner confiance aux clients, en garantissant un certain niveau de qualité des pièces produites.

Sur quoi portent les normes ?

Sur le vocabulaire, la description des procédés, le cahier des charges, l'échange de données informatiques et les formats de fichiers de fabrication 3D. On se dirige vers une harmonisation entre les normes internationales, ISO, et américaines (AS TM), dans un contexte de réel intérêt des industriels français et européens à prendre part aux travaux de normalisation.

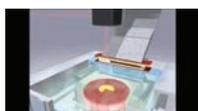
Comment le peuvent-ils ?

En participant aux travaux du comité de normalisation français, point d'entrée pour la normalisation internationale et européenne. Le programme de recherche Sasam soutient la rédaction de normes européennes sur la fabrication additive. Les industriels peuvent faire remonter leurs besoins via un questionnaire, dont les réponses serviront à établir une feuille de route pour peser sur les travaux du comité ISO.

7 procédés pour modeler la matière

Tous les modes de fabrication additive n'ont certainement pas encore vu le jour. Dans un souci de normalisation, sept catégories ont été créées pour distinguer la façon dont les couches successives du matériau de construction sont déposées.

Fabrication 3D : les procédés expliqués en images



Retrouvez sur le site d'I&T une sélection de vidéos et d'animations détaillant le fonctionnement des sept catégories de procédés de fabrication : www.industrie-techno.com. (tapez « photopolymérisation »)

Extrusion Le plus plastique

Principe
Un polymère est fondu et déposé pour réaliser la pièce 3D. Les supports nécessaires sont fabriqués avec une deuxième matière et retirés de la pièce après fabrication.

Machines
Dimension, Fortus

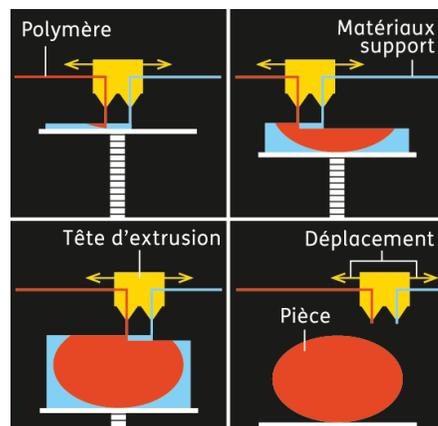
Constructeur
Stratasys

Matières compatibles
Thermoplastiques

Précision
De $\pm 0,1$ à $0,3$ mm

Avantage
Rapidité

Inconvénients
Monomatériau, nécessité du support



Projection Le plus polyvalent

Principe
Via une tête d'impression, la pièce est construite par dépôt de fines gouttelettes de résine photosensible. La résine est polymérisée au fur et à mesure grâce à une lampe UV fixée à la tête. Pour les objets complexes, il faut construire simultanément des supports et les éliminer après fabrication.

Machines
Connex, Eden

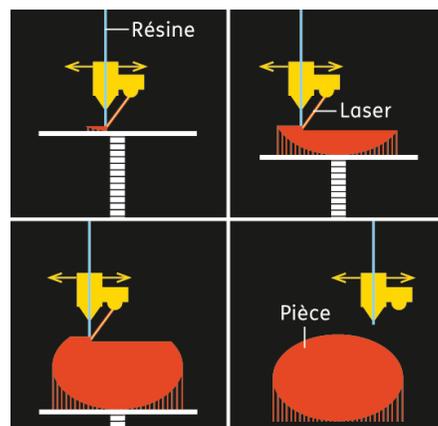
Constructeur
Objet

Matières compatibles
Résines photosensibles

Précision
De $\pm 0,02$ à $0,2$ mm selon les dimensions de la pièce

Avantages
Rapidité du procédé, possibilité de faire des pièces multimatériaux

Inconvénient
Nécessité du support



Projection de liant Le plus adaptable

Principe
Il s'agit de la technique d'impression 3D proprement dite, qui consiste à imprimer un liant sur un lit de matériau à l'état de poudre.

Machines
S-Print, M-Print, ZPrinter, Voxeljet

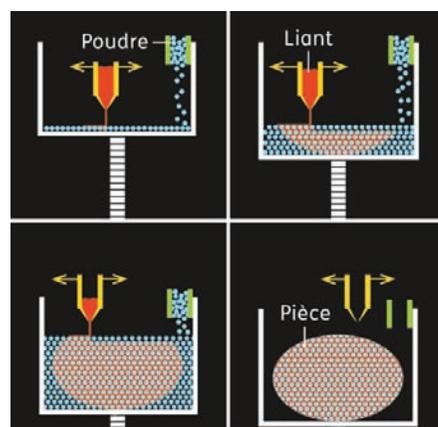
Constructeurs
Ex-one, ZCorporation, 3D Systems

Matières compatibles
Polymères, sable, métaux, plâtre

Précision
De $\pm 0,05$ à $0,1$ mm

Avantages
Adaptabilité au travail de matériaux légers, possibilité d'intégrer des couleurs

Inconvénients
Ajout d'étapes additionnelles à la fabrication, fragilité des pièces, prix des consommables



Stratoconception

Le plus intensif

Principe

Dans ce procédé, encore appelé usinage par empilement, un outil, fraise ou laser, vient découper chaque tranche de la pièce dans une feuille ou une plaque. Les strates sont assemblées sur un deuxième poste.

Machines

STM, CRI

Constructeurs

Charlyrobot, Stratoconcept

Matières compatibles

Bois, polymères, métaux

Précision

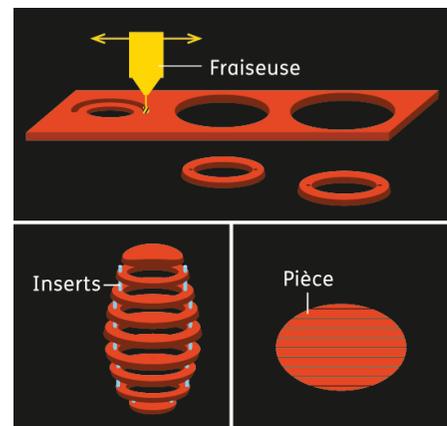
$\pm 0,05$ mm

Avantages

Possibilité de faire de grandes pièces, diversité de matériaux, niveau de précision

Inconvénients

Étapes additionnelles à la fabrication (ponçage, collage), déchets liés à l'usinage



Photopolymérisation

Le plus titanesque

Principe

On désigne parfois cette catégorie de procédé sous le terme stéréolithographie : un laser ou un rayonnement UV sert à solidifier certaines zones d'un polymère à l'état liquide dans un bain.

Machines

Mammoth SL, Viper SLA

Constructeurs

Materialise, 3D Systems, EOS

Matières compatibles

Polymères photosensibles

Précision

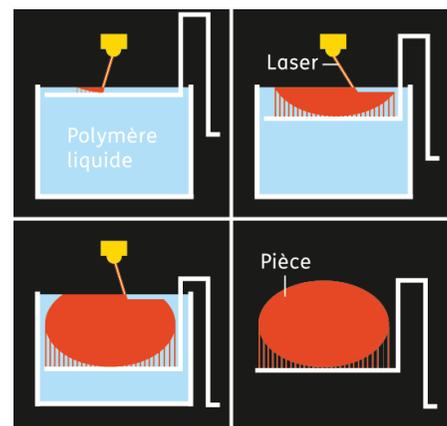
$\pm 0,2$ mm

Avantages

Possibilité de faire de grandes pièces, rapidité

Inconvénients

Compatibilité avec un nombre réduit de matériaux, nécessité de support, fragilité des pièces, ajout d'étapes postfabrication



Fusion d'un lit de poudre

Le plus industriel

Principe

Le procédé consiste à fusionner ou fritter un lit de poudre au moyen d'un laser ou d'un faisceau d'électrons.

Machines

sPro, EOSint, PXL

Constructeurs

3D Systems, EOS, Arcam, Phenix Systems

Matières compatibles

Poudres métalliques, polymères

Précision

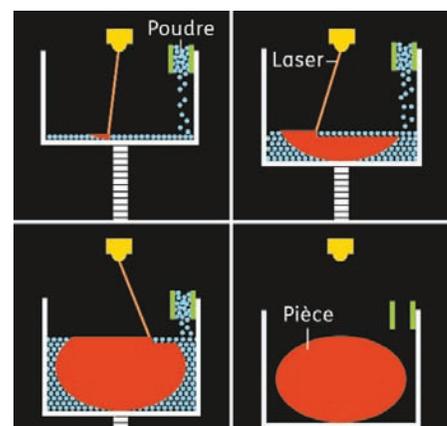
$\pm 0,1$ mm

Avantages

Rapidité, propriétés mécaniques des pièces

Inconvénients

Obtention d'état de surface nécessitant un post-traitement, nécessité d'un support



Dépôt énergétique direct

Le plus flexible

Principe

Une buse projette et fond la poudre en même temps, suivant cinq axes.

Machines

EasyClad, DMD, Aerosol Jet

Constructeurs

Beam, Optomec, Pom

Matières compatibles

Alliages métalliques

Précision

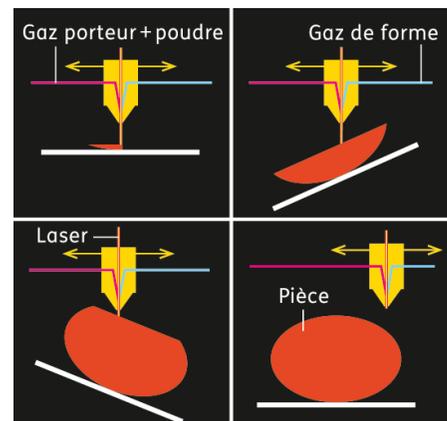
± 1 mm

Avantages

Absence de support, possibilité de réparer ou d'ajouter des fonctions à des pièces, possibilité de réaliser des pièces multimatériaux, possibilité de faire un dépôt/traitement de surface d'une pièce existante.

Inconvénients

Étapes de postfabrication, coût des machines, faible nombre de matériaux disponibles



La 3D fait forte impression

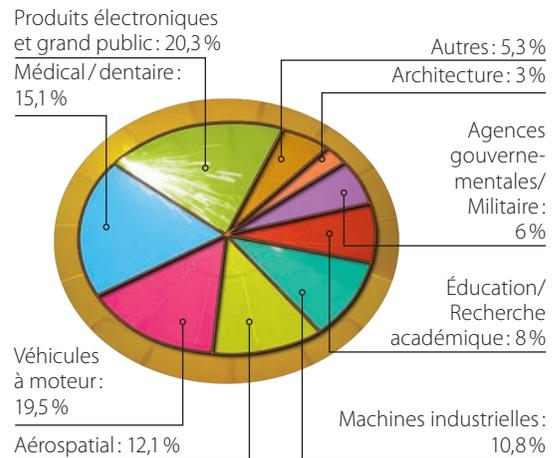
La fabrication additive rassemble les constructeurs de machines dites industrielles et les prestataires de fabrication personnelle. Deux usages coexisteront sans doute à l'avenir : la production technique dans les usines et une nouvelle économie numérique reposant sur l'échange de fichiers de fabrication côté grand public.

Une croissance record

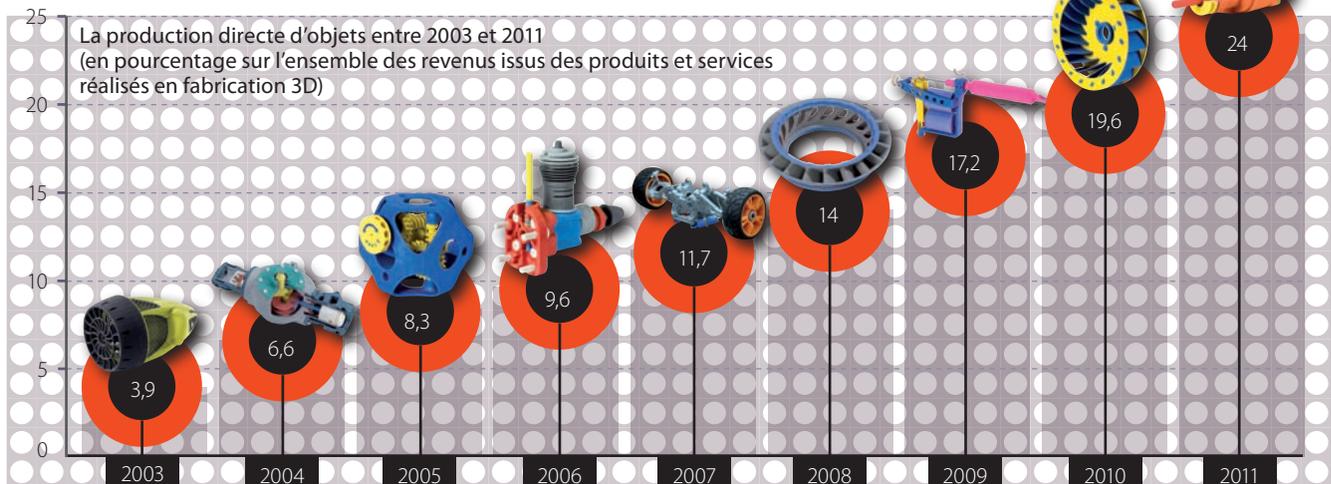
Sur 24 années d'existence, la fabrication 3D a connu quinze fois une croissance annuelle à deux chiffres. Une tendance qui s'est encore confirmée en 2010 et 2011.



Secteurs d'utilisation de la fabrication 3D (en pourcentage sur l'ensemble des revenus)

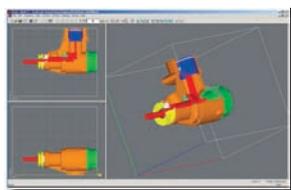


De plus en plus adoptée pour fabriquer des produits finis



Remise à zéro du modèle industriel

- ~~Prototype~~
- ~~Production~~
- ~~Assemblage~~
- ~~Distribution~~
- ~~Entreposage~~
- ~~Vente~~



De six étapes, l'impression 3D permet de passer à deux : envoi du fichier numérique et fabrication.

Fonctionnalités disponibles aujourd'hui



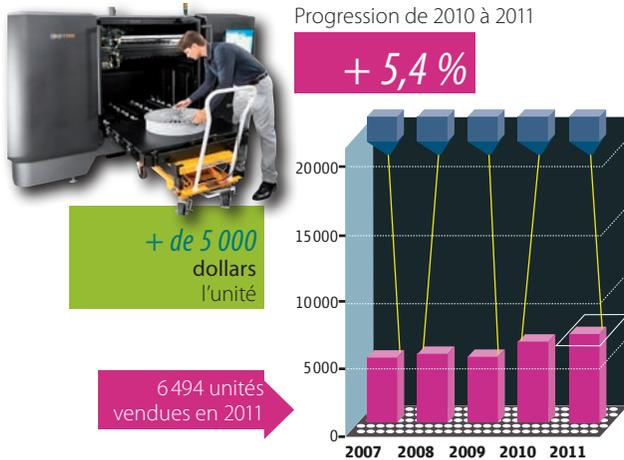
- Construction d'objets sur mesure, comme des implants, grâce au scanner du patient
- Allègement dans les transports (automobile, aéronautique...)
- Utilisation de matériaux variés : verre, plastiques, métaux ou céramiques

- Customisation ou restauration des pièces
- Service de fabrication 3D en cloud computing



Une technologie en pleine démocratisation

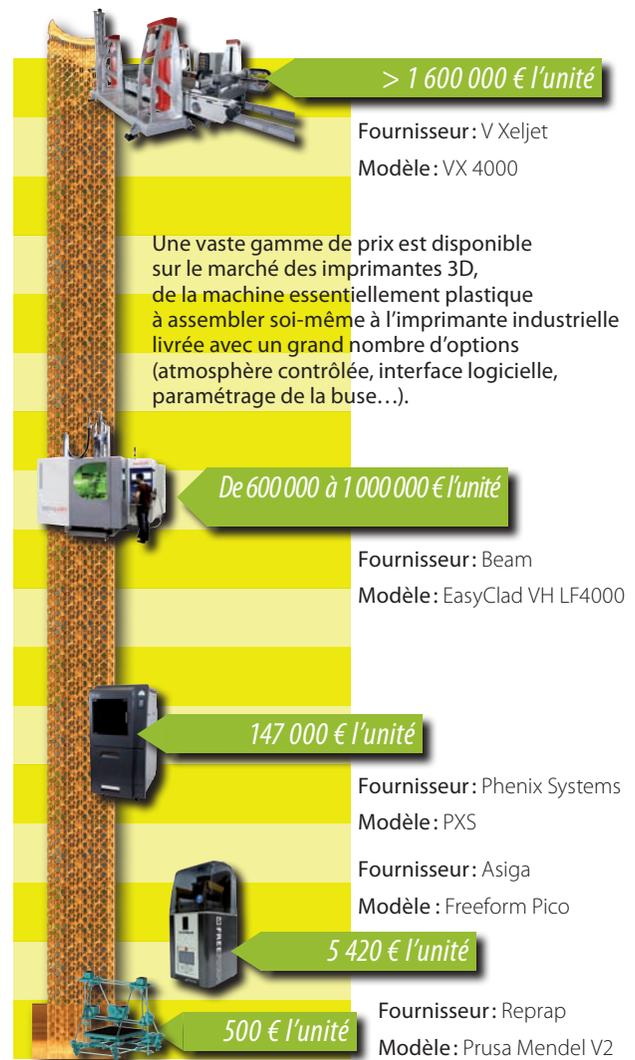
Machines professionnelles



Machines personnelles



De la plus chère à la moins chère

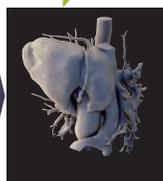


Axes de R&D



- Fabriquer en 3D en multimatériaux, notamment pour l'électronique
- Construire des pièces de grande dimension, comme des ailes d'avion, en une seule fois
- Imprimer en 3D des tissus humains et des organes simples
- Cocréer avec les clients

Scénarios futurs



- Intégrer les machines de fabrication 3D dans les usines
- Construire des véhicules entiers
- Passer d'une économie de biens à une économie d'échange de fichiers numériques
- Imprimer en 3D des organes complexes

SOURCE: WOHLERS REPORT 2012; INDUSTRIE ET TECHNOLOGIES