

WOW!

Le magazine de la technique pour les jeunes

TechnoScope

3/14
by SATW

Aujourd'hui, une imprimante 3D à utilisation privée est disponible à partir de 1300 CHF.

Avec l'Allemagne et la Grande-Bretagne, la Suisse fait partie des pays ayant le plus recours aux techniques de fabrication additive.

Le frittage par laser et la stéréolithographie sont les processus de fabrication additive les plus proposés en Europe.

Le volume global actuel du marché des processus de fabrication additive s'élève à environ 2,5 milliards CHF.

Plus de 23 000 imprimantes 3D sont déjà utilisées à travers le monde.

En 1984, l'ingénieur américain Chuck Hull a conçu la première imprimante 3D au monde.

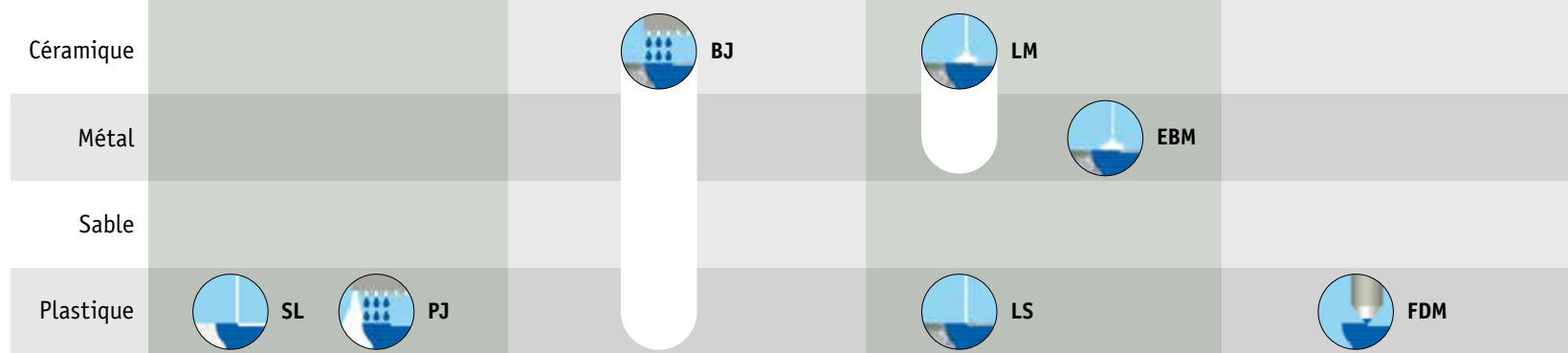
SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences

Impression 3D & Co

Couche après couche pour un composant sur mesure
De nouveaux matériaux grâce à l'impression 3D en métal
La construction à l'ère du numérique

Avec concours



Couche après couche pour un composant sur mesure

Ces dernières années, l'impression 3D a connu un véritable boom. Celle-ci fait appel à toute une panoplie de technologies, chacune avec ses avantages et ses inconvénients.

Fraisage, façonnage, sciage, meulage et perçage: il existe une multitude de procédés permettant de fabriquer un produit sur mesure à partir d'un matériau de base. Au cours des dernières années, cette gamme de procédés de fabrication a été complétée par l'impression 3D. Celle-ci regroupe une série de technologies également appelées «processus de fabrication additive». Leur point commun: les composants souhaités ne sont pas façonnés ou élaborés à partir d'un matériau prédéterminé, mais sont constitués couche par couche- d'où l'appellation «fabrication additive». On distingue quatre types différents de processus: la polymérisation, le collage, la fusion et la solidification.

Constitution par polymérisation

Dans ce processus, un plastique liquide spécial est durci par rayonnement UV. Lors de la **stéréolithographie**, la plateforme avec le composant se trouve dans un bain de plastique liquide. La mince couche supérieure de plastique liquide est durcie aux emplacements voulus par un laser UV. Puis le composant est légèrement abaissé et la couche suivante est appliquée. En revanche, lors du **modelage à jets multiples de photopolymère**, le plastique liquide est appliqué directement sur le composant par une fine buse et, le cas échéant, durci par une lumière UV.

Ces deux processus permettent de fabriquer des formes et des prototypes élaborés. Toutefois, il n'est possible d'utiliser que des matières plastiques qui durcissent sous la lumière UV. Celles-ci ne sont pas très stables et évoluent avec le temps, impliquant un vieillissement rapide des composants.

Constitution par collage

Lors de l'**impression par poudre**, une couche mince de poudre est tout d'abord déposée. Aux emplacements souhaités, la poudre est ensuite durcie au moyen d'une colle qui est appliquée par une buse. Le composant est ensuite abaissé de façon à pouvoir appliquer la couche de poudre suivante.

L'impression par poudre est un processus rapide et peu coûteux qui permet d'utiliser une multitude de matériaux. Toutefois, les composants fabriqués ne sont pas très stables. Le procédé convient à la fabrication de prototypes, de moules ou de composants qui sont ensuite transformés.

Constitution par fusion

Dans ce processus, un matériau en poudre est fondu couche par couche, puis durci. Lors de la **fusion sélective par laser**, une couche mince de poudre métallique est appliquée sur le composant et fondue aux emplacements souhaités à l'aide d'un laser. Dès que le métal fondu est solidifié, la plateforme avec le composant est abaissée et la couche suivante de poudre métallique est appliquée. Le principe est le même pour la **fusion par faisceaux d'électrons** à la différence près que le métal n'est pas fondu au moyen d'un laser mais d'un faisceau d'électrons. Ces deux processus permettent de fabriquer des pièces métalliques stables qui peuvent être transformées, mais ils sont relativement lents et coûteux.

Le **frittage sélectif par laser** est un processus similaire qui convient en particulier aux pièces en plastique. Contrairement aux deux autres processus, les grains de poudre ne sont fondus que partiellement dans le frittage par laser.

Constitution par solidification

Dans le **dépôt de fil polymère**, une matière plastique filiforme est fondue et appliquée en couches par une buse sur le composant où elle est solidifiée. Les matériaux utilisés sont des plastiques standards. Les composants fabriqués ont de bonnes propriétés mécaniques et peuvent également être retravaillés.

SL Stéréolithographie

PJ Modelage à jets multiples de photopolymère (Photopolymer-Jetting)

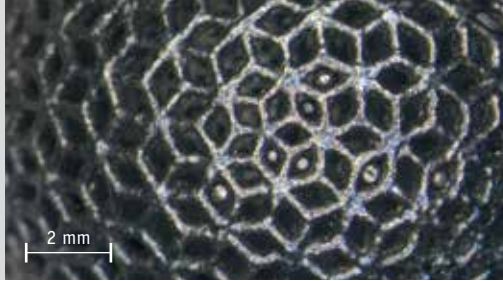
BJ Impression par poudre (Binder Jetting)

LM Fusion par laser (Laser Melting)

EBM Fusion par faisceaux d'électrons (Electron Beam Melting)

LS Frittage par laser (Laser Sintering)

FDM Dépôt de fil polymère (Fused Deposition Modeling)



Structures et composants métalliques sortis de l'imprimante 3D: gros plan d'une sphère en grille perforée en titane (à gauche) et d'une vanne «Woov» (à droite)
Source photos: ESA



Visualisation d'une base lunaire multi-dômes en construction: après le montage, les dômes gonflés sont recouverts d'une couche de régolithe lunaire imprimée en 3D par des robots pour protéger les occupants contre les rayonnements cosmiques et les micro-météorites. Source photos: ESA/Foster + Partners



Source photos: ESA-N. Vicente

Du nouveau grâce à l'impression de métal 3D

La fabrication de pièces métalliques avec des imprimantes 3D est en plein essor. Elle permet de produire des formes très complexes avec moins de déchets et de façon plus rentable.

Le temps est révolu où les imprimantes 3D n'étaient que les jouets de bricoleurs créatifs ou les chouchous de développeurs pour fabriquer des prototypes. Des produits prêts à l'emploi sont désormais fabriqués en petites séries avec la même imprimante, par exemple des pièces mécaniques complexes ou des implants médicaux. Il existe déjà des imprimantes 3D de la taille d'une armoire qui impriment avec des métaux au lieu de plastiques. La technologie de ces imprimantes n'est pas entièrement nouvelle, explique Andreas Mortensen, professeur au laboratoire de métallurgie mécanique de l'EPFL à Lausanne. Il y a plusieurs années, des premières pièces en alliages métalliques ont été imprimées à l'EPFL. «Depuis lors, l'évolution technologique a été fulgurante», explique Mortensen. «Aujourd'hui, les imprimantes 3D peuvent servir plus largement à la fabrication de pièces métalliques.»

Un point de fusion plus élevé augmente la complexité

Les processus les plus courants de l'impression 3D en métal sont le frittage et la fusion par la-

ser (voir le texte «Couche après couche pour un composant sur mesure»). Dans une mince couche de poudre, seules les parties métalliques donnant au final la forme de l'objet souhaité sont fondues ou frittées par faisceau laser. Ce processus est répété avec d'autres couches de poudre jusqu'à ce que l'objet souhaité soit entièrement constitué. L'excès de poudre métallique est enlevé à la fin. Ce processus permet d'imprimer quasiment tous types de métaux. Toutefois, plus le point de frittage ou de fusion d'un métal est élevé, plus il faut d'énergie pour l'impression et plus le processus est complexe. «Les grands défis en matière d'impression 3D métallurgique sont la qualité des pièces métalliques et la qualité des surfaces», explique Mortensen. Les surfaces sont toujours légèrement rugueuses en raison des centaines de couches de poudre empilées. Parfois, les matériaux eux-mêmes posent problème: par exemple, la poudre de magnésium peut exploser sous l'effet de la chaleur, et l'alumine qui se forme à la surface des fins copeaux d'aluminium empêche la fusion ou le frittage du matériau. Résultat: des pièces en aluminium défectueuses.

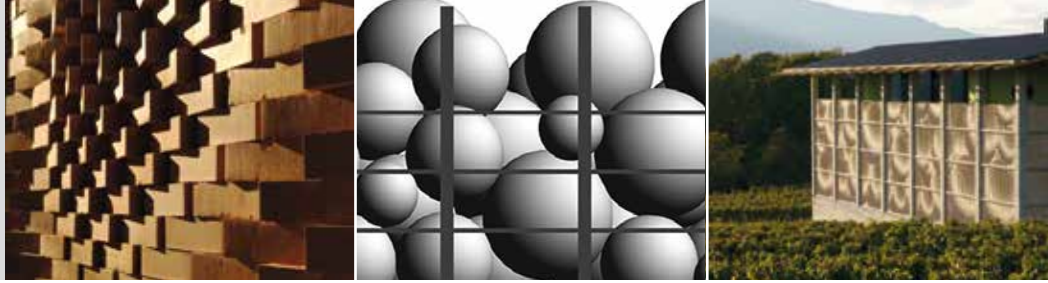
Nouvelles structures et multi-matériaux

Malgré tout, beaucoup de choses sont déjà réalisables aujourd'hui, par exemple la fabrication d'implants de genou prêts à l'emploi. Ceux-ci doivent être robustes: nous plions nos genoux chaque jour jusqu'à 1500 fois et, pour monter des escaliers, nous supportons jusqu'à cinq fois notre poids. Le gros avantage de ces implants imprimés: ils sont adaptés sur mesure au corps du patient. Chaque impression est une pièce unique, ce qui serait beaucoup trop onéreux avec des processus de fabrication traditionnels. Autre avantage: la liberté de conception. «Aujourd'hui, nous pouvons imprimer en peu de temps des structures métalliques qui seraient très complexes à fabriquer avec des procédés traditionnels tels que le coulage», explique Mortensen. Par exemple, le titane, qui est très poreux et qui ressemble à une éponge, est utilisé comme greffe osseuse. La structure permet au tissu osseux de grandir dans l'os artificiel et d'accélérer ainsi la guérison. De plus, l'utilisation de différentes poudres métalliques dans l'impression 3D permet de produire des «multi-matériaux». Autrement dit, des objets qui se composent aussi bien d'aluminium que de titane. La fabrication additive est de plus économique et écologique. En effet, avec l'impression 3D, il n'y a pas de déchets pro-

Dans l'espace avec l'imprimante 3D

Le projet «AMAZE» vise à faire encore avancer l'impression 3D de métaux. Idéalement jusque dans l'espace. Selon l'Agence spatiale européenne (ASE), les astronautes utiliseront à l'avenir des imprimantes 3D dans l'espace pour imprimer eux-mêmes leurs pièces de rechange et outils, ce qui leur évitera d'emporter des pièces de rechange encombrantes et coûteuses de la Terre. Les objectifs du projet «AMAZE» ne sont pas modestes: l'association européenne regroupant 28 entreprises et hautes écoles veut fabriquer les meilleures pièces métalliques de tous les temps grâce aux imprimantes 3D. Celles-ci seront utilisées notamment dans le domaine aérospatial, les avions et les réacteurs à fusion. Des petites pièces seront imprimées, mais également, selon les chercheurs «AMAZE», des composants d'ailes d'avions pouvant mesurer deux mètres – et même un jour, des satellites complets. Le laboratoire de métallurgie mécanique de l'EPFL est une institution partenaire d'«AMAZE». Il teste actuellement les propriétés des métaux imprimés.

venant d'un bloc métallique lors du fraisage ou du meulage. Le poids de ces déchets être dix fois supérieur au poids final du produit. Un argument décisif pour les entreprises, en particulier pour les métaux exclusifs et onéreux tels que le titane, le tantalum et le vanadium.



Un robot industriel peut poser chaque brique de façon précise selon des modèles préprogrammés. Pour le vignoble de Gantenbein à Fläsch (Grisons), les grains de raisins doivent être visualisés. La rotation des pierres et des ouvertures entre elles fait apparaître au niveau du mur composite l'image abstraite dimensionnelle de gros grains de raisin. Source photos: Gramazio & Kohler, ETH Zurich (images à gauche et au centre), Ralph Feiner_G&K (image à droite)



Ce toit se compose de plus de 45 000 éléments en bois qui s'entrelacent pour former une structure arquée avec ondulations. Source photo: Gramazio & Kohler, ETH Zurich

Construire à l'ère du numérique

Ces dernières années, les technologies numériques ont révolutionné les processus de travail et les modes de vie dans de nombreux secteurs. L'industrie du bâtiment continue toutefois de fonctionner selon des modèles traditionnels. Une situation que veulent changer les chercheurs de l'ETH Zurich.

La construction est un secteur traditionnel. Alors que les technologies numériques ont radicalement modifié les processus de travail dans d'autres secteurs, la construction des maisons respecte encore des méthodes établies. «Les technologies numériques sont déjà fort utilisées dans la planification. Mais sur le chantier, cela reste traditionnel», explique Matthias Kohler, professeur d'architecture et de fabrication numérique à l'ETH Zurich. Il souhaite combler ce «fossé numérique» entre la planification et la construction. «Comme on peut le voir ailleurs, non seulement les technologies numériques rendent les processus de travail plus simples et plus efficaces, mais offrent également des nouvelles possibilités techniques et économiques.»

De la colle au lieu du mortier

Kohler et son partenaire de recherche, Fabio Gramazio, proposent un exemple concret avec le mur de briques. Un robot industriel spécialement programmé empile les briques les unes sur les autres jusqu'à obtenir un mur sur mesure haut de plusieurs mètres. Aussi stable qu'un mur tradition-

nel, celui-ci dispose d'une structure plus raffinée. Sa particularité: les briques ne sont pas assemblées par du mortier, comme dans un mur classique, mais par de la colle. Cet exemple démontre la vision de Kohler: «Les techniques numériques permettent de combiner les matériaux de manière innovante, les concepteurs bénéficient d'une plus grande liberté de conception et les processus de construction sont plus efficaces car ces technologies permettent un gain de temps, de matériel et d'énergie.» En Suisse et en Angleterre, plusieurs maisons seront bientôt construites avec de tels murs.

Un toit constitué de 45 000 particules

Pour la construction en bois, Kohler dispose aussi d'un projet phare illustrant les nouvelles possibilités des processus de conception et de fabrication numériques. Dans le bâtiment de recherche «Arch_Tec_Lab», en cours de construction sur le campus de Höggerberg, Kohler testera à l'échelle réelle des processus de construction robotisée. Le toit d'une forme particulière du bâtiment, mesurant au total 2300

m², se compose de plus de 45 000 éléments de bois qui s'entrelacent pour former une structure arquée avec ondulations. Le mode de construction à commande numérique permet de préfabriquer les éléments de support individuels du toit de façon rapide et précise. Parallèlement, les différentes étapes de ce projet, depuis l'ébauche jusqu'à la fabrication des éléments de construction en passant par le calcul statique, sont plus que jamais étroitement liées de façon numérique.

Actuellement, concède Kohler, cette nouvelle «culture de la construction numérique» est peu perceptible au quotidien. «Nous devons encore

accomplir un gros travail de fond», précise-t-il. «Mais l'exemple du mur en brique, par lequel nous avons commencé en 2005, démontre que de nouvelles approches peuvent s'imposer en quelques années.» Dans les années à venir, Kohler souhaite développer les approches actuelles avec des chercheurs d'autres disciplines. «Dans le pôle de recherche national «Fabrication numérique», conjointement avec des chercheurs en architecture, conception de structures, sciences des matériaux et informatiques, électrotechnique, génie mécanique et robotique, nous voulons définir ce à quoi doit ressembler une culture de construction exploitant les possibilités de l'ère numérique.»

Le high-tech au lieu du travail manuel

C'est un instrument indispensable aux urbanistes et architectes: les modèles architecturaux en bois, papier, carton et plastique, qui reproduisent à l'échelle différents édifices, des rues entières ou des quartiers, et permettent aux participants de visualiser la concrétisation des projets. Souvent, ces modèles

sont des petites œuvres d'art qui cachent un gros travail manuel.

Au cours des dernières années, les technologies de fabrication numérique ont également révolutionné ce domaine: grâce à des processus modernes, les plans numériques donnent lieu rapidement et simplement à des mo-

dèles physiques. Des pièces exigeantes et même des modèles complets sont fabriqués de plus en plus souvent à l'aide de processus d'impression 3D. De cette manière, les modèles architecturaux peuvent être conçus de manière plus rapide, mais également plus précise et plus détaillée.



Dans le Fabrication Laboratory ou Fablab, les étudiants peuvent convertir directement leurs idées de design en objets tangibles, par exemple des écouteurs permettant de «partager» la chanson écoutée par pression d'un bouton sur l'oreillette.

▲ Serena Cangiano et «son» imprimante 3D: «Je suis convaincue que nous utiliserons presque tous des imprimantes 3D d'ici cinq ans.»

► Serena Cangiano, à la base spécialiste en communication, passe à présent ses journées dans un laboratoire avec des machines techniques sophistiquées.

La coopération est ce qui fascine le plus Serena Cangiano dans son travail au Fablab: «On apprend en groupe et partage des connaissances en fabriquant des choses ensemble.»

Fascinée par la technologie «relais»

Serena Cangiano dirige le «Fablab» de la Haute école tessinoise SUPSI où elle aide les étudiants à transformer leurs idées en prototypes avec des imprimantes 3D et des fraiseuses de précision.

Je me demande parfois comment j'en suis arrivée là: la semaine dernière, je dirigeais un atelier dans notre «Fablab» quand soudain la fraiseuse CNC s'est arrêtée. Cet appareil commandé par des données numériques peut fraiser avec précision des matériaux tels que le bois et le plastique. J'ai donc essayé de réparer la machine à l'aide des instructions téléphoniques du service technique. En fait, je ne sais pas grand-chose de la technique. A la base, je suis spécialiste en sciences de la communication, pas ingénieure. Et pourtant, je passe à présent mes journées dans un laboratoire avec des machines techniques sophistiquées.

La programmation pour les non-informaticiens

Comment en-suis-je arrivée là? J'ai pris le chemin du «Fablab» – abréviation de «Fabrication Laboratory» – après mes études. Autrefois, j'étais spécialisée dans la conception interactive. L'objectif

de cette discipline est l'interaction simplifiée de la technologie et de l'homme. Il y a cinq ans, j'ai assisté à un premier atelier à Zurich où j'ai utilisé pour la première fois une imprimante 3D. Je me suis rendue compte que ces appareils sont aussi faciles à utiliser et à programmer par des non-ingénieurs et des non-informaticiens. Si une personne est intéressée, elle peut elle-même acquérir le savoir-faire. Les logiciels utilisés sont généralement open source, donc accessibles gratuitement sur Internet et à la portée des amateurs. Aujourd'hui, grâce aux extraits de codes préprogrammés d'Internet, je sais programmer des interfaces simples entre un ordinateur et une imprimante 3D.

Ce qui me fascine le plus dans mon travail au Fablab, c'est la coopération. On apprend en groupe et partage des connaissances en fabriquant des choses ensemble. Cette expérience ne se limite pas à notre laboratoire. Les «makers»,

comme sont appelés les bricoleurs des Fablabs, échangent leurs idées et concepts via Internet dans le monde entier. Actuellement, il y a environ sept Fablabs en Suisse, et une centaine au niveau mondial.

Faire soi-même: la meilleure façon d'apprendre

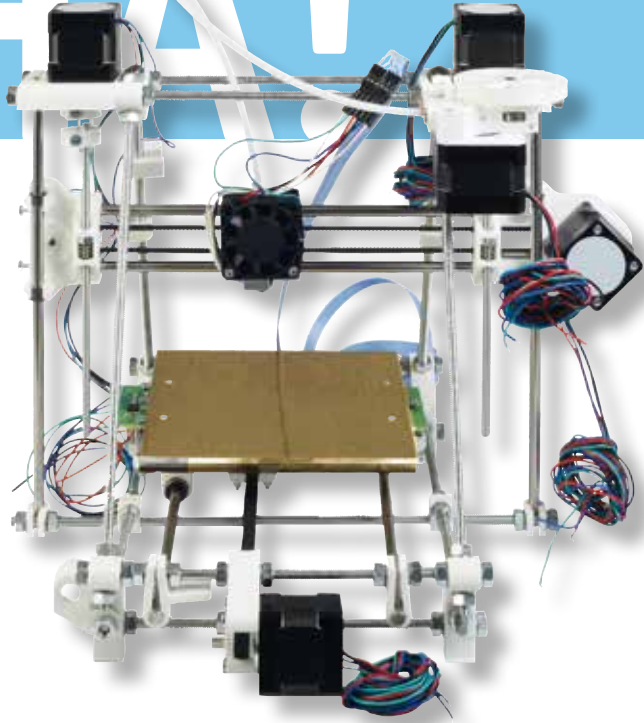
Après mes études, j'ai commencé mon doctorat et contribué à la mise en place du Fablab de la Haute école spécialisée SUPSI. Il offre aujourd'hui tout ce dont les étudiants ont besoin pour pouvoir créer: deux imprimantes 3D, un ciseau-laser, une fraiseuse de précision et toutes sortes d'outils, de matériaux et d'éléments électrotechniques. Le laboratoire est désormais une composante importante du master «Interaction Design». Les étudiants doivent écouter et prendre des notes, mais également apprendre en pratiquant. Dans le laboratoire, ils peuvent convertir directement leurs idées de design en objets tangibles. Par exemple, un étudiant a récemment conçu des écouteurs permettant de «partager» la chanson écoutée par simple pression d'un bouton sur l'oreillette. Il a conçu la

forme des écouteurs dans un programme de design numérique de façon tridimensionnelle et je l'ai aidé à fabriquer l'objet avec l'imprimante 3D. Outre l'encadrement des étudiants, nous organisons au Fablab des cours pour les externes qui s'intéressent à l'impression 3D, par exemple un cours «Construis ta propre radio», où on imprime en 3D les boutons du volume et des fréquences pour une radio taillée par laser.

En plus de ma fonction de directrice de laboratoire, je rédige actuellement ma thèse de doctorat. J'étudie l'influence des technologies open source et des Fablabs sur le design. J'aimerais ensuite travailler dans un environnement universitaire, cela me plairait beaucoup. Un emploi à temps partiel dans l'industrie m'intéresserait également, ou bien je pourrais organiser, en plus de mon poste à l'université, des cours en impression 3D et fabrication numérique pour les particuliers. Les besoins vont certainement augmenter. Je suis convaincue que nous utiliserons presque tous des imprimantes 3D d'ici cinq ans.

AHA!

Imprimante 3D: pas un substitut, mais un complément des processus de fabrication existants



L'impression 3D révolutionne-t-elle notre industrie?

Les processus de fabrication additive, souvent appelées impressions 3D, semblent offrir une alternative idéale aux processus de production traditionnels. Ils permettent de fabriquer des composants complexes sur mesure de façon relativement simple. Rien d'étonnant donc à ce que ces procédés soient utilisés concrètement dans de plus en plus de domaines. Des biens de consommation quotidiens aux prothèses dentaires adaptées en passant par les prototypes de nouveaux appareils high-tech – les possibilités semblent quasi illimitées. Comme il existe déjà des imprimantes 3D à usage privé permettant de fabriquer des composants à volonté, on peut se demander si ces technologies rendront la production industrielle superflue.

A y regarder de plus près, il est vrai que l'impression 3D connaît un essor fulgurant et se développera encore dans les années à venir, mais parler d'une nouvelle révolution industrielle serait trop optimiste. L'impression 3D est astucieuse mais présente de gros inconvénients par rapport à la fabrication traditionnelle. Elle a du mal à rivaliser notamment pour la fabrication de produits de masse. On y exige des qualités dont ne disposent pas les produits sortis de l'imprimante 3D: une qualité constante, une précision élevée et de faibles coûts par pièce. Il est donc peu probable que les nouveaux procédés supplantent les procédés actuels. Mais ils compléteront la gamme de processus de fabrication et offriront de nouvelles applications.



Source photos: PocketSize Me

Concours

Ces dernières années, les processus de fabrication additive, plus connus sous le nom d'impressions 3D, ont connu un véritable boom et sont utilisés dans de plus en plus de domaines.

Que sais-tu à propos de l'impression 3D?

Teste tes connaissances sur les «processus de fabrication additive» et gagne l'une des trois figurines à ton image en 3D. Le prix comprend la visite d'un scan studio et la fabrication de ton portrait. Le concours dure jusqu'au 15 avril 2015. www.satw.ch/concours

Fablabs

Les FabLabs – ou Fabrication Laboratories – sont des ateliers high-tech généralement organisés de façon ouverte, démocratique et simple, qui mettent des processus de production industriels à disposition des particuliers, tels que l'impression 3D pour les pièces individuelles. Ci-dessous une liste des FabLabs en Suisse:

FabLab Berne www.fablab-bern.ch

FabLab Fribourg www.fablab-fribourg.ch

FabLab La Côte www.fablab-lacote.ch

FabLab Lucerne www.luzern.fablab.ch

FabLab Neuchâtel www.fablab-neuch.ch

FabLab Lugano www.fablab.supsi.ch

FabLab Winterthour www.fablabwinti.ch

FabLab Zurich www.zurich.fablab.ch

FunLab Zurich www.funlab.ch

Starship Factory Bâle www.starship-factory.ch

Formation

La discipline «Interaction Design» étudiée par Serena Cangiano à la **SUPSI**, la Haute école spécialisée de la Suisse italienne (www.maind.supsi.ch), est également proposée par la **Haute école des arts de Zurich** (<http://iad.zhdk.ch/de>).

Impressum

SATW Technoscope 3/14, décembre 2014
www.satw.ch/technoscope

Concept et rédaction: Beatrice Huber
Collaborateurs rédactionnels: Felix Würsten, Samuel Schläfli
Photos: Franz Meier, Fotolia, ESA, ESA / Forster + Partner, ESA - N. Vicente, Gramazio & Kohler, ETH Zurich, Ralph Feiner_G&K

Photo de couverture: la directrice du laboratoire, Serena Cangiano, devant l'imprimante 3D du Fablab de Lugano.

Abonnement gratuit et commandes

SATW, Gerbergasse 5, CH-8001 Zurich
technoscope@satw.ch
Tél +41 (0)44 226 50 11

Technoscope 1/15 à paraître en avril 2015.