

L'impression 3D – ou fabrication additive

par Philippe Heinrich, Consultant-formateur en Nouvelles Technologies, Innovation et Systèmes d'Information

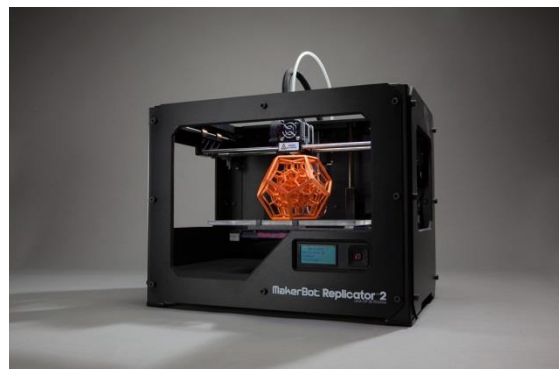
« Impression 3D » est un terme inventé à des fins marketing, pour remplacer le nom de stéréolithographie. On parle beaucoup plus maintenant, dans le milieu professionnel de « fabrication additive », voire de « e-manufacturing ». Ce procédé, qui est né au milieu des années 80 sous l'impulsion de chercheurs français et américains (1er brevet déposé par le Français Jean-Claude André en 1984, suivi par l'Américain Chuck Hull un mois plus tard), est utilisé depuis de nombreuses années dans l'industrie. Chuck Hull a créé son entreprise 3D Systems en 1984, et aujourd'hui 3D Systems pèse environ 2 milliards de dollars à la Bourse de New York.

Comme le dit Georges Taillandier, président de l'AFPR (Association Française du Prototypage Rapide), « *la nouveauté, ce n'est pas la technologie, mais la multiplication de ses applications grâce au numérique et à Internet.* »

Aujourd'hui, en effet, la technologie se démocratise, et pose un certain nombre de questions. Je vous propose d'aborder ce sujet de manière synthétique, et de vous présenter en quoi consiste cette technologie, ce qu'elle permet de faire aujourd'hui et ce qu'elle apportera demain, ainsi que les enjeux pour notre pays et le rôle que l'Etat peut jouer dans ce domaine.

L'impression 3D, qu'est-ce que c'est ?

L'impression 3D, ou plutôt la fabrication additive (par rapport à la fabrication soustractive qui consiste à enlever de la matière à un objet pour le façonner), consiste à **imprimer, strate par strate, de la matière afin de produire un objet réel, et ceci sur ordre d'un ordinateur qui gère un fichier numérique contenant les données en 3 dimensions de l'objet à produire.** Le plus souvent, la matière est du plastique, mais on peut également imprimer du métal (comme l'or, l'argent, le titane ou l'aluminium), ou encore de la céramique ou du béton.



Plusieurs procédés se cachent derrière le terme de fabrication additive, et les plus utilisés dans l'ordre sont :

- ⇒ la stéréolithographie (SLA) : une résine photosensible est solidifiée sous l'action d'un rayonnement ultraviolet.
- ⇒ le Frittage Laser Sélectif (SLS : Selective Laser Sintering) et les procédés par fusion laser (SLM) : un laser fritte ou fusionne des poudres afin de créer des objets 3D strate par strate.

- ⇒ le Dépôt Fil Tendu (FDM : Fused Deposition Modeling™ ou Fused Filament Fabrication), développé par Stratasys (USA) : le plus vendu car relativement peu cher et relativement rapide, consiste à déposer un fil de cire, de polyamide, polypropylène ou d'ABS (thermoplastique) par exemple, en fusion, sur une pièce en cours de fabrication.
- ⇒ le FTI (Film Transfer Imaging) par projection d'une image de coupe 2D sur un film transparent recouvert par une couche de résine photopolymère, film qui reçoit, pour chaque nouvelle couche, de la résine liquide.
- ⇒ le Modelage à Jets Multiples : de la même manière que le fait une imprimante 2D avec de l'encre, l'imprimante 3D dépose une couche de résine (acrylate ou polypropylène par exemple) pour chaque strate de l'objet à concevoir.

La stratoconception®, procédé développé en France, consiste à décomposer automatiquement un objet en une série de couches élémentaires (les strates), qui seront fabriquées par micro-fraisage rapide ou découpe laser, puis assemblées et imbriquées afin de reconstituer la pièce finale. Elle facilite également le prototypage rapide, mais ne constitue pas une rupture par rapport à la fabrication soustractive.

A l'origine, utilisée pour créer rapidement et à moindre coût des prototypes, l'impression 3D sert de plus en plus à créer des produits finis (20% des imprimantes 3D actuellement déployées servent à fabriquer des produits finis, selon Terry Wholers, analyste spécialisé dans ce domaine). Les raisons de ce succès sont les suivantes :

- ⇒ La fabrication additive permet d'éviter la création de moules d'injection plastique ou de moules pour pièces en métal, particulièrement coûteuse et longue (4 à 6 semaines) et rentable uniquement pour des grandes séries. Elle permet donc de réduire de manière considérable le temps de fabrication, et en conséquence le temps de mise sur le marché de nouveaux produits.
- ⇒ l'impression 3D permet la personnalisation des objets à moindre coût, puisqu'il suffit de modifier le fichier 3D et non plus l'outil de production.
- ⇒ L'imprimante 3D tient compte des vides, elle utilise la seule matière utile et ne génère aucun déchet. On peut imprimer en un seul tenant des objets articulés.
- ⇒ Les produits sont stockés sous forme numérique et non plus physiquement, ce qui peut générer de puissantes économies, notamment en termes de gestion de stock.

La fabrication additive aujourd'hui : les différentes utilisations

Vedette du CES (Consumer Electronics Show) de Las Vegas début janvier 2013, la fabrication additive est aujourd'hui utilisée par :

- ⇒ tous ceux qui ont besoin d'élaborer un prototype avant de lancer une éventuelle fabrication. On trouve bien sûr les industriels, les cabinets d'architecture, les designers, etc.

⇒ des entreprises industrielles, comme entre autres :

- l'industrie automobile : BMW, par exemple, réalise des outillages pour son usine de Regensburg. PSA et Mecachrome sont également utilisateurs de fabrication additive.
- Boeing, qui a installé plusieurs dizaines de milliers de pièces produites par fabrication additive dans ses avions. Airbus produit également des pièces de manière additive.
- Dassault, qui a utilisé 50 pièces issues de la fabrication additive pour son prototype de drone de combat, le Neuron.
- des entreprises du domaine de la cristallerie comme Daum et Baccarat.
- les fabricants de jouets, etc.



⇒ des artisans qui proposent des réalisations personnalisées comme cette société japonaise qui fournit à une personne, après un scan 3D et une impression 3D, de repartir avec une statuette identique au modèle vivant, à une échelle inférieure.

⇒ des sociétés comme Sculpteo, qui misent sur la personnalisation des objets du quotidien. Sculpteo vient d'ailleurs d'obtenir le prix de la meilleure innovation, dans la catégorie applications mobiles, du CES (8-11 janvier 2013), pour une application sur iPhone qui permet à tout un chacun de personnaliser sa coque de Smartphone et de la faire produire.



⇒ le monde médical, qui se sert de l'impression 3D pour les prothèses auditives, les implants orthopédiques, les couronnes dentaires. L'impression 3D permet une meilleure adaptation de l'objet à la morphologie de la personne, car elle est couplée à un scanner 3D qui va numériser en détail les paramètres morphologiques du patient.

Le marché actuel de l'impression 3D représente un volume d'environ 25000 imprimantes (+289% en 2012). Le marché globalement a un taux de progression à 2 chiffres et va le conserver pendant plusieurs années, selon le cabinet américain Wohlers Associates.

On assiste à une réelle démocratisation de l'impression 3D : les machines sont de plus en plus robustes et de moins en moins onéreuses, les logiciels de plus en plus intégrés : on trouve des imprimantes 3D à moins de 400 euros (15000 euros environ pour une imprimante 3D industrielle, parfois beaucoup plus en fonction de la taille).

Parmi les principaux acteurs de la production de machines, on va trouver:

- ⇒ 3D Systems et EOS, qui se partagent le marché du SLS (Frittage Laser Sélectif)
- ⇒ Stratasys, à l'origine du Fused Deposition Modeling
- ⇒ les sociétés françaises Stratoconcept, Stat'YM et Actarus SAS, présentes sur le marché de la stratoconception, forment avec le GIP-InSIC (Institut Supérieur d'Ingénierie de la Conception) le pôle VirtuReal, qui travaille sur la filière numérique du Développement Rapide de Produit.
- ⇒ l'américain MakerBot, qui commercialise des imprimantes 3D de bureau

Par ailleurs, selon le même modèle que l'Open Source dans le domaine des logiciels, un mouvement se dessine pour se réapproprier les moyens de production dans un idéal de partage, d'entraide, et d'autonomie par rapport aux fabricants actuels : ce sont les « Fab Labs »

Les perspectives de la fabrication additive

Voici une liste non exhaustive des domaines où la fabrication additive est porteuse de projets majeurs, qui peuvent impacter de manière forte la société dans laquelle nous vivons :

- ⇒ **le domaine médical** est un domaine fortement porteur d'innovations liées à l'impression tridimensionnelle, notamment à court ou moyen terme pour imprimer :
 - des vaisseaux sanguins (exploit réalisé en 2012 par l'Université de Pennsylvanie et le MIT, dans le cadre d'un projet complexe de transplantation d'organes complets sur des animaux)
 - du cartilage (réalisé par l'Institute of Physics en associant des matériaux à la fois naturels et synthétiques)
 - de la peau (Institut Wake Forest aux Etats-Unis, Collège impérial de Londres)
 - du muscle (technique mise au point par des chercheurs de San Diego, Californie, qui ont créé la start-up Organovo)

A plus long terme, certains envisagent d'utiliser le « bioprinting » pour imprimer des organes complets afin de pallier au manque de dons d'organes et aux problèmes de compatibilité entre donneur et receveur.



- ⇒ **l'alimentation**, avec notamment un sujet qui fait débat : l'impression 3D de viande, pour lequel une start-up américaine, Modern Meadows, vient de lever 350.000 dollars auprès notamment de Peter Thiel, co-fondateur de Paypal. Le procédé a été mis au point par le Professeur Gabor Forgacs de l'Université du Missouri. Vu l'impact de la consommation de viande sur les ressources naturelles, certains pensent qu'il ne sera plus possible de manger de la viande d'ici 2050, d'où l'existence d'un marché pour la fabrication additive de viande. Bien sûr, les questions soulevées sont nombreuses, autant en termes de goût, d'alimentation et en particulier d'alimentation bio, de label qualité, etc.

⇒ **l'électroménager**, dont certains fabricants pensent proposer des services d'impression 3D pour réparer les objets de notre quotidien.

⇒ **la construction de maisons individuelles** : c'est un sujet sur lequel travaille un professeur américain du nom de Behrokh Khoshnevis. Ce chercheur a mis au point une méthode d'impression par couches successives d'une maison entière, y compris la plomberie et l'électricité.



⇒ **l'aéronautique et l'automobile** : Selon un responsable de GE Aviation, dans les décennies à venir, au moins 50% des moteurs d'avion seront fabriqués par impression 3D. Dans le domaine de l'automobile, des Canadiens de Winnipeg ont construit un prototype de véhicule urbain, nommé « Urbee » (pour URban Electric and Ethanol) en utilisant la fabrication additive notamment pour les panneaux de la carrosserie. Ils prévoient de fabriquer avec cette technologie plusieurs pièces de l'intérieur et du châssis de leur second prototype.

⇒ **le domaine militaire** : l'armée américaine estime que l'impression tridimensionnelle réduit de 97% les coûts de production et de 83% le temps de production (source : www.nextbigfuture.com).

⇒ **l'artisanat personnalisé**, avec l'apparition d'un nouveau métier : l'artisan 2.0

⇒ **l'art**, notamment pour ce qui concerne la restauration de statues ou de bâtiments.

Ainsi, nombreux sont ceux qui croient en l'avenir de la fabrication additive, Amazon notamment, qui vient d'investir fortement dans MakerBot. Selon The Economist, c'est **une 3^{ème} révolution industrielle** qui est en cours (après l'introduction des technologies mécaniques utilisant la vapeur d'eau, et la convergence entre moteur à combustion interne et réseaux électronique qui va permettre la commutation et la communication électrique, donc par exemple téléphonique).. Certains parlent de « **Révolution Industrielle 2.0** » (New York Times).

Le marché des imprimantes 3D représentera 3 milliards de dollars d'ici 2016, 2 fois plus qu'en 2011, d'après l'institut de recherche IBISWorld.

Selon Clément Moreau, cofondateur de Sculpteo, *«l'impression en trois dimensions est inéluctable et va changer le monde. Pas tant via les imprimantes personnelles, qui sont un super jeu mais ne sont qu'un jeu, que via la fabrication de petites séries dans de petits ateliers.»*

Cependant, il subsiste quelques **freins** pour que ce marché se développe, notamment pour les particuliers :

- des **freins technologiques** : la vitesse d'impression (dans certains cas, pas plus d'1/2 h par cm), les matériaux disponibles pour être imprimés : pour l'instant, on ne peut imprimer que 200 matériaux, alors que des milliers sont disponibles. Par exemple, on ne peut pas imprimer le cuir, le bois ou les matières textiles. Dans certains cas, c'est la finition relativement grossière qui est un frein, mais cela n'est pas vraiment valable pour les imprimantes industrielles.
- des **freins financiers** : les imprimantes 3D performantes restent relativement onéreuses, certains matériaux coûtent 50 à 100 fois plus cher que ceux utilisés pour le moulage par injection plastique, même s'il semble possible de recycler le plastique des bouteilles de lait par exemple (<http://www.economist.com/news/science-and-technology/21565577-new-manufacturing-technique-could-help-poor-countries-well-rich-ones>) .
- des freins liés à la **normalisation** de la technologie : la traçabilité insuffisante autant sur le matériaux que sur les process de fabrication a longtemps impacté le développement du marché : chaque constructeur possédait ses résines, ses poudres propriétaires, et il était très compliqué d'obtenir des caractéristiques de process. Du coup, l'AFPR a créé deux commissions, la Fabrication Directe Métal et la Fabrication Directe Plastique, pour qualifier et normaliser les techniques de fabrication additive. ASTM International, aux Etats-Unis, a également lancé un projet de normalisation de la fabrication additive. Par ailleurs, l'Allemagne, suite aux travaux du DIN, préside le comité ISO/TC 261 qui vise à normaliser la fabrication additive.
- des freins liés aux **compétences** nécessaires, avant que la technologie ne se répande dans les foyers comme l'imaginent certains : l'utilisation d'un logiciel de CAO n'est pas des plus aisées. C'est d'ailleurs pour cela qu'il est plus probable que l'on voie surgir des entreprises qui proposent des services en ligne d'impression tridimensionnelle, comme Sculpteo.
- des **freins psychologiques** : nous sommes habitués à produire en enlevant de la matière.



Ces raisons amènent Christopher Mims, journaliste scientifique, à énoncer que *"le rêve de l'impression 3D de prendre en charge la fabrication traditionnelle, doit être qualifiée pour ce qu'elle est : une idéologie"* (Source : lemonde.fr). Par contre, s'il est pour l'instant impossible de concurrencer l'injection plastique pour ce qui est des grandes séries, la fabrication additive permet, elle, la souplesse et la personnalisation.

Par ailleurs, si la technologie de l'impression 3D se répand, comme cela a commencé, des **questions juridiques** vont rapidement se poser, d'autant plus que les scanners 3D se démocratisent : quid de la propriété intellectuelle si par exemple on peut scanner la dernière poupée Barbie pour la reproduire ?

Les enjeux nationaux



CROISSANCE :

289% de croissance pour le marché des imprimantes 3D. Quel autre domaine est sujet à une croissance aussi forte ? Qui peut se permettre de refuser d'investir massivement dans ce domaine ?

De nouvelles industries sont créées ou relancées, comme celle de la production d'imprimantes 3D bien sûr, mais aussi celle du design industriel, celle de la production de cartouches de matériaux pour l'impression 3D, etc.

RELOCALISATION :

Selon la Directrice Production de Sculpteo (coques de téléphone et autres objets personnalisés) : la fabrication additive est « une des technologies qui permet le plus de choses. En France, plus personne ne produisait de coques de téléphone, mais les importait d'Inde ou de Chine. Sculpteo montre que produire en France est redevenu possible.

Certains économistes sont persuadés que, comme pour les coques de téléphones portables, de nombreuses productions pourraient être relocalisées.

COMPETITIVITE DES ENTREPRISES :

Les départements R&D des grandes entreprises l'ont déjà compris : la fabrication additive présente de grands avantages en terme de prototypage rapide, et réduit fortement le temps de mise sur le marché d'un nouveau produit. En outre, elle favorise la créativité des équipes scientifiques et techniques, qui peuvent rapidement valider ou invalider leurs hypothèses. Comme dans l'exemple de SEB, la France sait être compétitive quand elle est tournée vers l'innovation. L'impression 3D est donc un domaine fondamental pour notre pays.

Par ailleurs, la possibilité réduire de plus de 90% les coûts de fabrication, de plus de 80% les délais de production de certaines pièces, donne un avantage concurrentiel certain aux entreprises qui investissent dans cette technologie.

Selon l'Atlantic Council (<http://www.acus.org/publication/could-3d-printing-change-world>), des chaînes d'assemblage pourront être réduites au strict minimum, ou éliminées. Le design des produits sera profondément modifié, car les fichiers 3D pourront être imprimés depuis n'importe où dans le monde. La production pourra avoir lieu à la demande, sans nécessité d'établir de nouveaux inventaires de produits finis ou de pièces de rechange. Une usine pourra être capable de produire un grand nombre de pièces sans changer d'outil de production. Chaque produit pourra être customisé sans coût supplémentaire.

EMPLOI :

Premièrement, la possibilité de relocaliser certaines productions, les perspectives de croissance qu'apporte la technologie de la fabrication additive sont essentielles pour notre pays, dans le sens où elles peuvent inverser la tendance actuelle de destruction d'emplois et de délocalisations.

Barak Obama ne s'y est pas trompé, en 2012, lors de l'inauguration d'un centre de recherche consacré à la fabrication additive (impression 3D), l'Institut National de L'innovation pour la Fabrication Additive (NAMII) : « Ce institut permettra de s'assurer que les emplois industriels de demain ne soient plus en Chine ou en Inde, mais ici, aux Etats-Unis ». L'Etat américain a investi 30 millions de dollars dans ce centre de recherche 3D et planifie, à travers 5 agences d'Etat, d'investir 45 millions. L'Institut a reçu 40 millions de dollars supplémentaires d'un consortium formé d'entreprises, d'universités et d'ONG.

L'Atlantic Council insiste sur les impacts géopolitiques que la fabrication additive aura : « la réduction des besoins en main d'œuvre pourra être la source de déstabilisation de certaines économies, tandis que d'autres, tout particulièrement les sociétés vieillissantes, bénéficieront de la possibilité de produire plus de biens avec moins de personnel, tout en réduisant leur dépendance aux exportations ».

Deuxièmement, avec l'impression 3D, de nouveaux métiers peuvent apparaître, comme celui d'artisan 2.0, un chef d'entreprise qui va surfer sur la vague de la création d'objets personnalisés, que ce soit dans le domaine de la bijouterie-joaillerie, de la sculpture, des souvenirs touristiques.

Enfin, comme le montre l'intérêt que portent certains acteurs du monde de l'électro-ménager, l'impression 3D peut permettre de rendre à nouveau rentable la réparation par rapport à l'achat d'un équipement neuf. Or ce domaine est fortement créateur d'emplois.

SCIENCES ET TECHNOLOGIES :

Les progrès du « bioprinting » apportent d'incroyables perspectives de guérison de lésions profondes de la peau, des muscles ou cartilages, à court terme. A plus long terme, ce seront peut-être des organes entiers qui pourront être remplacés. Les impacts sont donc potentiellement très forts dans le monde médical, autant par les progrès dans le traitement des patients, que pour le coût des techniques médicales et du traitement global. Par exemple, réparer une peau endommagée sérieusement par le feu ou des produits toxiques sera beaucoup plus facile et rapide, donc moins coûteux avec l'impression 3D qu'avec les techniques actuelles.

« L'impact de la fabrication additive sur des domaines scientifiques tels que les nanotechnologies, les biotechnologies et les technologies de l'information entre autres, est fondamental », selon l'Atlantic Council.

BUDGET DE L'ETAT :

Au-delà des impacts de la fabrication additive sur le coût des techniques médicales, c'est l'ensemble de la production de biens liés aux missions de l'Etat qui peut être impactée de manière très bénéfique par la fabrication additive. Quand l'armée américaine estime que cette technologie peut permettre d'économiser 97% du coût et 83% du temps de production des pièces dont elle a besoin, cela montre que c'est un domaine absolument indispensable pour notre nation.

En outre, avec la possibilité de relocaliser une partie de la production, et de développer de nouveaux biens, le déficit commercial extérieur, et donc l'endettement de la France, pourra être réduit.

ENVIRONNEMENT :

Si notre pays investit dans la fabrication additive, des impacts profonds pourront être observés dans le domaine de l'environnement, notamment pour les raisons suivantes :

- les besoins en transport depuis l'usine de l'Europe et l'Amérique diminueront puisqu'une partie de la production pourra être relocalisée, et rapprochée du consommateur.
- les besoins en énergie sont considérablement plus faibles avec cette technologie. Selon le Département américain de l'Energie, la fabrication additive permettrait d'économiser plus de 50% de l'énergie actuelle dépensée pour la fabrication « soustractive ».
- si cela devient plus économique de réparer ou de faire réparer nos équipements (petit ou gros électroménager par exemple), il est à espérer que l'on puisse mettre un terme au gâchis écologique (et humain) qui consiste à jeter un objet réparable tout simplement parce qu'il est moins onéreux d'en acheter un nouveau.
- l'utilisation de produits chimiques dangereux dans des process industriels sera moins nécessaire.

Globalement, l'empreinte carbone d'un produit donné sera réduite, à la fois par le moindre gâchis de ressources lors de sa production, et les modifications en terme de transport.

Pour l'instant, l'utilisation de la 3D à un niveau familial pose des questions environnementales, puisque le matériau utilisé dans ce cas est exclusivement du plastique, et l'adoption de cette technologie par les ménages pourrait conduire à une plus grande consommation de plastique, donc

une plus grande production de déchets. Nous avons cependant vu que les perspectives principales se trouvent, à court ou moyen terme, au niveau industriel.

Propositions

Dans le but de développer une expertise nationale de la fabrication additive, et de permettre à l'ensemble des acteurs économiques et politiques de notre pays d'appréhender les impacts de cette technologie, il me semble nécessaire de créer, sur le modèle américain, **un centre d'expertise, un pôle de compétitivité** rassemblant les acteurs du monde de l'enseignement supérieur, de la recherche, publique ou privée, du droit, ainsi que les entreprises privées impliquées dans le développement de cette technologie, et la Défense.

Par ailleurs, **l'Etat doit jouer un rôle d'encouragement**, par des actions de communication ou des soutiens financiers ciblés, voire des crédits d'impôts, auprès des établissements d'enseignement supérieur, des entreprises, comme auprès de l'ensemble de la collectivité. Les « Fablabs », ces laboratoires de fabrication ouverts à tous, sont un des éléments à privilégier pour une diffusion large et rapide de cette technologie au sein de notre société. Ils peuvent également servir de laboratoire d'essai pour l'implémentation de la fabrication additive dans les milieux industriels et artisanaux, afin de valider des pistes de développement de nouveaux produits ou de nouvelles méthodes.

Bien évidemment, les régions et les départements ont aussi un rôle à jouer pour favoriser le développement de cette technologie dans notre pays.

En Chine, les autorités ont déjà compris le formidable changement qui se prépare : Su Bo, vice-ministre de l'industrie et des Technologies de l'Information, a expliqué que son gouvernement allait établir des plans et mettre en place des incitations fiscales pour accélérer la recherche et le développement, ainsi que l'utilisation des technologies d'impression 3D : « C'est une technologie de production révolutionnaire. Une fois mise en œuvre à grande échelle, elle va permettre de diminuer la pression de la Chine sur l'énergie et les ressources naturelles. » Il a noté que la Chine possédait aujourd'hui seulement 8,6% des imprimantes 3D dans le monde, alors que les USA en ont 38,5%.

Pour conclure, il me semble fondamental que notre pays se mobilise autour de la technologie de la fabrication additive, et l'Etat doit jouer un rôle fédérateur, un rôle d'encouragement et d'incitation dans ce domaine. Même si la fabrication additive ne va effectivement pas remplacer les processus de fabrication traditionnelle à court terme, elle est porteuse de changements positifs pour notre pays si nous participons activement à son développement.

Sitographie (partielle évidemment)

<http://www.01net.com/editorial/531032/limpression-3d-bien-partie-pour-revolutionner-lindustrie/>

http://www.francetvinfo.fr/video-la-revolution-de-limpression-en-3d-est-en-marche_194065.html

http://www.huffingtonpost.fr/2013/01/22/impression-viande-en-trois-dimensions_n_2524482.html

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

<http://www.lesechos.fr/entreprises-secteurs/tech-medias/debat/0202523341789-l-impression-3d-a-l-assaut-de-l-industrie-532946.php?xtor=RSS-2130>

<http://www.franceinfo.fr/high-tech/nouveau-monde/l-impression-3d-pourrait-revolutionner-le-commerce-mondial-807399-2012-11-20>

<http://internetactu.blog.lemonde.fr/2012/03/07/limpression-3d-est-elle-le-moteur-de-la-fabrication-de-demain/>

http://www.chinadaily.com.cn/bizchina/2012-12/18/content_16027612.htm

<http://www.businessweek.com/technology/special-reports/ceo-guide-to-3d-printing.html>

http://www.acus.org/files/publication_pdfs/403/101711_ACUS_3DPrinting.PDF

<http://www.smartplanet.com/blog/business-brains/us-government-invests-30-million-in-new-3d-printing-center/25817>

<http://bits.blogs.nytimes.com/2011/11/13/disruptions-the-3-d-printing-free-for-all/>

http://www.washingtonpost.com/business/technology/what-can-be-made-from-3-d-printers/2013/01/07/1780dcce-591b-11e2-9fa9-5fbdc9530eb9_gallery.html

http://www.washingtonpost.com/blogs/innovations/post/a-view-from-inside-the-3d-manufacturing-movement/2010/12/20/gIQAVYzCgR_blog.html

<http://www.europe1.fr/MediaCenter/Emissions/Europe-1-Midi/Sons/Europe-1-midi-Notre-avenir-passe-t-il-par-l-imprimante-3D-08-01-13-1371505/>

<http://www.3ders.org/applications.html>

<http://www.economist.com/news/science-and-technology/21565577-new-manufacturing-technique-could-help-poor-countries-well-rich-ones>

<http://www.businessinsider.com/why-does-3d-printing-matter-2013-1>

http://www.deloitte.com/view/en_GX/global/industries/technology-media-telecommunications/tmt-predictions-2012/technology/ab173e14447a4310VgnVCM1000001a56f00aRCRD.htm

<http://www.technewsdaily.com/6105-3d-printing-boost-manufacturing.html>

A propos de l'auteur

Philippe Heinrich est consultant formateur en Nouvelles Technologies, Innovation et Nouvelles Technologies. Ingénieur Systèmes et Réseaux, chef de projets, Black Belt 6Sigma puis Directeur des Systèmes d'Information, de l'Organisation et de la Qualité, il cumule une expérience de 20 ans au service de la compétitivité, de la qualité et de l'innovation des entreprises.

Ses domaines de prédilection sont le développement de l'innovation en France, l'amélioration de l'organisation interne des entreprises et des administrations, l'optimisation des systèmes d'information, le management de projets complexes et le développement de la productivité et de l'employabilité des personnels.

Pour en savoir plus, son adresse mail : ph@heinrich-consultant.fr ,

et le site web www.heinrich-consultant.fr