

Dans la future société du coût marginal zéro, les imprimantes 3D rendront-elles serviles ?

Jean-Paul Becar, Jean Vareille

▶ **To cite this version:**

Jean-Paul Becar, Jean Vareille. Dans la future société du coût marginal zéro, les imprimantes 3D rendront-elles serviles ?. Congrès National de la Recherche en IUT 2017 (CNRIUT2017), ADIUT, May 2017, Auxerre, France. hal-01691396

HAL Id: hal-01691396
https://hal.univ-brest.fr/hal-01691396

Submitted on 23 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dans la future société du coût marginal zéro, les imprimantes 3D rendront-elles serviles ?

Jean-Paul BÉCAR[1], Jean VAREILLE[2]

[1] LAMAV, CNRS 2956, IUT Valenciennes, UVHC - Campus Mont Houy - 59313 VALENCIENNES
[2] Lab-STICC UMR 6285 - Université de Brest, IUT de Brest-Morlaix, département GMP, CS 93837 29238 BREST CEDEX 3

THEMATIQUE – Energie - Environnement
CNU 27 et CNU 60

RESUME -L'impression 3D constitue un sujet phare de ces dernières années. L'industrie, l'éducation et les particuliers sont tous concernés par cette nouvelle technologie. Les applications sont à la fois prometteuses et ambitieuses, n'importe qui peut à moindre coût concevoir un produit unique. Elles concernent non seulement la matière inerte mais aussi la matière biologique. Le présent article examine les usages actuels et à venir de l'impression 3D dans les domaines cités. La première partie s'intéresse à l'usage des imprimantes 3D du monde industriel. La seconde partie fait l'objet de l'intégration des imprimantes 3D dans les laboratoires de fabrication mais aussi au sein des IUT. La dernière partie est dédiée aux aspects futuristes de la technologie comme la bioimpression qui soulève nombre d'interrogations notamment sur ses aspects éthiques.

Mots-clés—Développement durable, éco-industrie locale, globalisation

1. Introduction

Les imprimantes 3D constituent la dernière révolution numérique à l'image de celle de l'Internet. La conception assistée par ordinateur des nouveaux produits techniques se réalise désormais à l'échelle mondiale de façon collaborative à l'instar de ce qui se fait avec Wikipédia ou de SourceForge. La diffusion et le partage de connaissances brisent l'isolement des créateurs, contribuent à l'innovation et facilitent la conception. Elles nourrissent le monde industriel et participent à l'émergence d'une forme d'artisanat du 21ème siècle [1] [2] à base de Micro-Usines Personnalisées (MUP)[3].

La prochaine section de cet article s'intéresse à l'usage des imprimantes 3D du monde industriel. Les différentes technologies, dont en particulier l'usage intensif des courbes et surfaces Bézier, des thèmes comme la propriété industrielle, le développement durable, l'économie circulaire sont abordés. La section suivante fait l'objet de l'intégration des imprimantes 3D dans les laboratoires de fabrication -FabLab- qui s'ouvrent un peu partout dans le monde et en France en particulier. Quelques exemples au sein des IUT et des universités sont présentés. L'avant dernière section est dédiée à la bioimpression en marche accélérée depuis peu de temps et à ses aspects futuristes. Cette partie offre des éléments de réflexion sur la croissance de l'internet des objets tous domaines confondus. Il convient de mesurer avec grande attention dans ce cadre les effets de bord, voire le dérapage, de l'usage inconsidéré des nouvelles technologies de l'information et de la communication [4], et ne pas faire comme l'avait prédit Wells à propos d'Hiroshima, jouer avec les bombes qui exploseront un jour dans nos mains. La dernière section est une discussion suivie d'une conclusion qui évoque quelques pistes d'évolution future.

2. La place de l'impression 3D dans l'industrie

La phase de création d'un objet passe obligatoirement par un modèle de conception assistée par ordinateur. Un certain nombre de logiciels aident à la conception géométrique. CATIA, Autocad, ArchiCad, Creo (ex-ProEngineer) sont les plus utilisés dans le monde professionnel. D'autres gratuits ou en open source comme 123Design, TinkerCad, FreeCad, Sketchup, offrent des bases convenables à une initiation et au développement chez le particulier. Tous les logiciels de modélisation en volume de formes complexes ont eu comme point de départ le programme UNISURF créé par Pierre Bézier ingénieur chez Renault qui a su poser les bases mathématiques théoriques du calcul des courbes et surfaces en jeu dans le domaine de la conception géométrique assistée par ordinateur pour l'industrie automobile. Les courbes polynomiales sont décrites par une série points de contrôle et non plus par des équations ou des représentations paramétriques. Leur calcul repose sur des algorithmes dédiés dont le plus célèbre est celui de De Casteljau, ingénieur chez Citroën. Les logiciels dits de CAO ou de CFAO sont moins des logiciels de conception de mécanismes que des logiciels permettant de saisir des formes d'objets, en vue de leur réalisation concrète, ou plus rarement pour des simulations de comportement, ou pour les tester virtuellement dans des environnements immersifs. Dès leur origine ces logiciels avaient pour objectif de rendre les formes des objets explicites et univoques, de les conserver sous une forme numérique, et de leur associer des programmes exécutables par des machines outils à commande numérique (MOCN), au terme d'un processus d'industrialisation. Les programmes des MOCN ont ceci de particulier qu'ils partagent une structure de langage commune, le langage ISO. Cela correspond au fait que le calculateur de la machine gère les

déplacements de plusieurs axes mobiles dans l'espace pour contrôler la trajectoire suivie par un outil relativement à la pièce fabriquée. Il y a donc un genre d'Esperanto technique que partagent les logiciels de CAO et les MOCN. Mais chaque constructeur a son dialecte ce qui fait que pour un même objet à réaliser, le programme varie dans ses détails selon la machine qui l'exécute. Très naturellement les constructeurs des imprimantes 3D ont adopté la même structure de langage, le « g-code ». Par ailleurs ils se sont entendus sur un format de description des surfaces complexes des objets par des maillages de facettes orientées. Il s'agit du format stl, abréviation de stéréo-lithographie, qui était la dénomination initiale de l'impression 3D. Ainsi les logiciels de CFAO se sont trouvés directement en capacité d'enregistrer des fichiers stl par l'application d'un simple algorithme, ainsi que de produire du g-code par le biais d'un module particulier d'industrialisation. L'impression 3D est donc devenue progressivement depuis le début des années 2000 un outil courant dans les bureaux d'études.

Toutefois depuis la fin de la première décennie de ce siècle se sont produits deux phénomènes qui bouleversent l'utilisation industrielle du procédé. Le premier est la réalisation d'objets directement utilisables, ayant les propriétés mécaniques et techniques les rendant aptes à remplacer des pièces fabriquées par des procédés industriels. Cela a commencé avec des pièces matières plastiques peu sollicitées, des boutons, des capots, des carters de petits appareils. Désormais cela s'applique à des pièces métalliques ayant les caractéristiques requises pour leur emploi. Citons en particulier la société Fronius avec son procédé CMT (Cold-Metal-Transfer) ☞🌍 de soudure avec des poudres, qui permet aussi de fabriquer des pièces métalliques. Les entreprises utilisant ce type de technologies sont en train de naître et de trouver leur marché. Par exemple la société I3DConcept ☞🌍 installée près de Brive-La-Gaillarde fabrique des pièces métalliques par un procédé additif de fusion laser sur lit de poudre. Le second phénomène est l'appropriation de la technique par une communauté active de personnes partageant la philosophie de l'open source [5]. Ainsi les imprimantes 3D ont vu leurs coûts baisser de façon vertigineuse, avec des modèles premiers prix vendus en kit. Conjointement de nombreux logiciels gratuits de qualité professionnelle ont vu le jour. Certains fabricants d'imprimantes 3D mettent à disposition gratuitement leurs suites logicielles, que l'on ait acheté ou pas leur produit. Pour terminer, le vaste projet Industrie 4.0 intègre l'impression 3D dans les usines du futur.

3. Les FabLabs

Le premier FabLab a été créé au MIT en 2002 par le professeur Neil Gershenfeld. Sa création a été précédée par son cours donné à partir de 1998 « how to make almost anything ».

Aujourd'hui dans les IUT :

L'impression 3D trouve sa place à l'IUT aussi bien dans le domaine du prototypage rapide dans les départements de Génie mécanique que dans celui de la pédagogie, dans des départements à dominantes autres que la mécanique. Le côté moderne, la transversalité, l'usage de nouvelles technologies, le partage de savoir-faire et d'expériences constituent des points de passage incontournables dans les classes technologiques des IUT. L'idée de partage non seulement des connaissances, mais aussi du savoir-faire, entretient le coté attractif des formations dispensées à l'IUT. Le cadre des projets accompagnés, nécessairement moins directif que les leçons académiques, a fourni quelques opportunités développées ci-après. Le nombre d'étudiants est ici volontairement réduit afin de pouvoir suivre les travaux au plus près s'étalant sur un semestre.

Trois expériences ont été menées à l'IUT de Valenciennes dans ce sens avec comme thématiques 3D la découverte, le FabLab et la création. Dans la première expérience, il s'agissait de découvrir le monde de la 3D avec les technologies, les logiciels existants et enfin concevoir puis imprimer son propre objet. L'occasion a été fournie de pouvoir vivre et apprécier le partage global des connaissances et de produits quasi manufacturés. Motivés par ce thème, les étudiants du groupe ont souhaité continuer dans le domaine du 3D en participant au cours de fabrication en ligne Fun-Mooc ☞🌍 suivi avec la même idée de réalisation d'un objet 3D. La dernière et récente expérience est issue de l'opportunité d'accueil pour une courte durée de deux étudiants japonais souhaitant acquérir un savoir-faire sur l'impression 3D, en liaison avec l'électronique mais aussi découvrir une partie des méthodes pédagogiques en usage à l'IUT.

Dans un certain nombre d'IUT des machines de prototypage rapide existent et sont utilisées parfois depuis longtemps. Par exemple au département GMP d'Alençon ou à celui de Cachan, où les premières machines sont arrivées autour de l'an 2000.

Dans le cas de l'IUT de Brest après un premier achat malheureux en 1998, la question a été rediscutée chaque année, jusqu'en 2011 où la décision a été prise d'en racheter. Une subvention a été demandée au Conseil Général du Finistère, en lui soumettant un dossier intitulé « esprit FabLab », d'autre part une machine en kit RepRap fut achetée, montée et utilisée par des étudiants de licence professionnelle. Depuis 2014 une machine professionnelle a été installée, dont l'usage facile a complètement surclassé la première. Les deux machines ont été installées dans un local contenant par ailleurs un bras de mesure tridimensionnel doté d'une tête laser, une kinect pour le scanning 3D, et un vidéo projecteur 3D. Ce local ne peut être hélas ouvert à un public autre que les étudiants de l'IUT, et il n'y a pas de Fab Manager. Le site brestois de l'IUT n'est pas adapté à l'ouverture au grand public du fait de sa position et de ses accès. Par contre le site morlaisien en centre-ville dans une ancienne manufacture royale pourrait l'être.

Dans le cas de l'IUT de Bordeaux du fait d'une demande forte des entreprises industrielles du bassin et d'une politique volontaire, un FabLab de type associatif, ouvert vers l'extérieur a été créé en 2014 dont le nom est Coh@bit ☞🌍.

Dans le cas du site de Brive de l'IUT du Limousin, un FabLab de type associatif a été créé en 2015 au sein du département GEII, le FabLab19 ☞🌍. Il est ouvert à l'extérieur, fréquenté par des entreprises, il héberge des projets d'étudiants, et des projets de personnes qui y

viennent à titre individuel. Citons par exemple Monsieur Samuel Revol-Buisson, un extérieur, qui y a développé des structures en plaques de bois assemblées entre elles avec des élastiques, le système Elastiblock ☞🌍.

Dans les Universités :

En 2016 un FabLab a été créé en collaboration avec l'EESAB dont un des masters est de design : l'UBO Open Factory ☞🌍. Ce FabLab est un service général de l'Université, des locaux lui ont été attribués, et des Fab Managers ont été recrutés, deux d'entre eux sont issus de DUT avant d'avoir poursuivi d'autres études, dont l'un jusqu'à un doctorat d'électronique. Le directeur du service est membre du Lab-STICC. Bien que fonctionnant aujourd'hui dans des locaux provisoires, de nombreux projets s'y déroulent avec des étudiants d'horizons divers et quelques personnes extérieures. Il accueille des actions de formation à des logiciels techniques. Des personnels d'autres services y fabriquent des objets spécifiques. Une UE libre de niveau L1 à L3 a été ouverte à titre expérimental cette année, les étudiants de toutes les composantes peuvent s'y inscrire. L'ouverture de formations professionnalisantes sur la fabrication numérique est discutée, de niveau M2 voire de niveau L3.

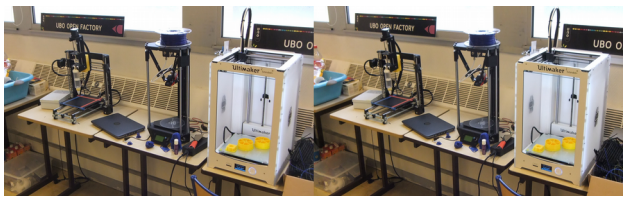


Fig. 1 : 3 imprimantes 3D de l'UBO Open Factory☞🌍

A Gennevilliers (93) l'Université de Cergy-Pontoise a créé en 2012 un FacLab ☞🌍, qui est un service commun. Il accueille des projets d'étudiants et un DU dans le domaine.

Dans tous ces exemples et toutes ces thématiques, le fil conducteur a été l'autonomie et l'accompagnement plutôt que la pression académique classique. Ce type de projet s'inscrit dans l'apprentissage vicariant appelé aussi apprentissage social [6].

De l'autre côté de la planète en Nouvelle-Zélande il y a un FabLab à l'université Massey de Wellington et un genre de FabLab particulier à Auckland : EdFab ☞🌏 . C'est une structure interuniversitaire créée en 2013 entre les deux universités voisines, celle de technologie et l'université généraliste, qui regroupe des acteurs de diverses disciplines qui sont dans des locaux séparés, mais pas très éloignés les uns des autres. Leur thème principal est relié à la construction rapide d'abris et de maisons pour les victimes de séismes. Il conçoivent des structures en bois assemblées sans clou, ni cheville, ni vis.

Dans les villes, leurs périphéries et les campagnes :

Toujours à Brest, un FabLab associatif, Les Fabriques du Ponant ☞🌍, a été créé voici deux ans. Il occupe environ 1000m² de locaux inutilisés d'un bâtiment du lycée technologique d'État Vauban. Il est très accessible car disposant d'une entrée distincte de celle du lycée. De nombreux projets s'y développent, dont les participants proviennent de tous les horizons. L'association anime plusieurs papiFab ☞🌍 (papi = point d'accès public à Internet) situés dans divers endroits fréquentés de la ville, en particulier dans la médiathèque qui vient de s'installer dans des anciens ateliers de l'arsenal de Brest.

La société Leroy Merlin lance actuellement des TechShops ☞🌍 dans différentes villes. Ce sont des ateliers qui occupent de vastes bâtiments de zones d'activité, fruits d'une association avec TechShop ☞🌍. Il est très probable que des activités vont naître entre les recycleries et ces structures qui sont aux frontières des villes, les produits nouveaux utilisant les éléments et les matériaux des anciens comme ressources. Nous verrons aussi se développer des ateliers-studios, des espaces ouverts de travail collaboratif avec des projets pluriels en nombre et singuliers en genre, comme MX3D ☞🌍..

Les idées de partage de savoir et de savoir-faire s'étendent aux cités par le projet de Fab City ☞🌍. La nouvelle approche socio-environnementale de la société du coût marginal zéro [1] visant une nouvelle révolution industrielle par la généralisation de l'économie circulaire, peut-elle être modélisée en utilisant la méthode de développement en X [7] et simulée avec des automates cellulaires [8] ? Quelles sont les chances de réussite des Fab Cities ?

La dynamique du partage et la fabrication d'outils personnalisés donnent naissance à un nouveau machinisme agricole respectueux de l'environnement comme l'Atelier Paysan ☞🌍, mieux adapté à l'agriculture raisonnée ou biologique, ainsi qu'à la permaculture.

4. Les applications dans le domaine du vivant

Parmi les applications récentes et prometteuses de l'impression 3D figure une technologie de pointe : la bioimpression.

Les imprimantes de matières organiques pour faire des produits alimentaires élaborés et cuits comme la MagiCrêpe ☞🌍, ou les machines plus récentes pour faire des pizzas ou des produits en volume, ont montré qu'il était possible techniquement de déposer des solutions contenant des cellules organiques véhiculées au sein d'une solution contenant du sucre et différentes substances nourrissantes. La transition vers l'impression de matière vivante était inéluctable.

L'impression de tissus vivants constitue la première étape vers l'impression 3D d'organes du corps humains comme le foie, les reins et le cœur. D'ici à quelques décennies un genre humain nouveau sera créé par les impressions 3D. Les problèmes d'éthiques soulevés par ces nouveaux procédés sont colossaux et donnent le vertige à ceux qui pensent encore que la science-fiction est dans un avenir lointain alors qu'elle est déjà à nos portes. La société russe Bioprinting Solution ☞🌍 a imprimé en 2015 des glandes thyroïdes ensuite transplantées sur des souris. Onze semaines plus tard, leurs thyroïdes ont été entièrement restaurées. Dans l'attente croissante d'une transplantation d'organes, l'impression 3D biologique offrirait une réponse rapide aux patients, voire aux jeunes patients. Le Pédiatre Makoto Nakamura ☞🌏 exploite les caractéristiques des classiques imprimantes à jet d'encre. Ayant constaté que les bulles d'encre ont la même taille que les cellules

humaines, il adapte cette technique à l'impression de ce type de cellules. Les cellules sont tour à tour imprimées sur du papier organique. Les feuilles de papier sont ensuite assemblées et soudées ensemble, puis le papier est dissout. La nature retrouve son chemin dans la mesure où les vaisseaux imprimés puis transplantés s'adaptent et se réarrangent à leur support. C'est ce phénomène remarquable qui stimule les travaux et leurs applications dans le domaine du bioprinting.



Fig. 2 : bio-imprimante 3D BioBots ☞ de l'UBO Open Factory ☞

La société américaine Organovo ☞ a ainsi imprimé puis greffé avec succès des nerfs sur des rats. Encouragée par ces résultats, elle envisage désormais d'appliquer cette ingénierie aux patients dont les tissus sont endommagés ou malades. Demain, le foie, les reins et la peau pourront être imprimés puis greffés. La chirurgie esthétique ne va plus se contenter de restaurer les visages mais les reprendre tels qu'ils étaient dix ans auparavant. La jeunesse éternelle sera t'elle possible? Les questions soulevées à la lecture de romans de E.A.Poe et O.Wilde [9][10] prennent un autre sens dans la mesure où l'attractivité de la nouvelle technologie entraînerait une dépendance voulue ou non.

5. Discussion

De notre point nous sommes à une époque que l'on pourrait qualifier de kairos, ce qui veut dire le moment opportun, ou le moment fort. Les kairoi sont ces moments où plusieurs futurs deviennent possibles, alors que nous n'avons pas les éléments objectifs pour en choisir un plus qu'un autre [11]. Pourtant une seule voie sera prise, et elle le sera collectivement. Pour Thomas Friedman nous vivons la triple accélération celles de la loi de Moore (1), du bouleversement climatique (2) et de la mondialisation des échanges. L'année du basculement aurait été pour lui 2007. Tous les signes étaient présents, mais personne n'a perçu qu'ils étaient réunis pour que le monde rentre en mutation. Aujourd'hui il change plus vite que nous ne sommes capables de nous y adapter. Dans ce monde où tout un chacun est pris de vitesse nous devrons apprendre les uns avec les autres, apprendre des uns, et apprendre aux autres. La formation aura lieu tout au long de la vie. Les maîtres seront élèves à la fois, chacun sera producteur et consommateur (prosumer).

Dans ces circonstances les IUT ont une chance à saisir, car la plupart des programmes pédagogiques nationaux laissent la liberté de consacrer 20% des heures à l'adaptation locale. Ainsi pourraient être mises en place des activités interdépartements, qui aboliraient les frontières entre les spécialités au sein des instituts le temps des projets. Ces adaptations pourraient être accompagnées par le dispositif IUT en ligne, les revues Gesi et AmbitionIUT voire autres comme A3DM ☞. Des outils de partage de documents avec interaction en temps réel pourraient être mis en place à grande échelle, comme Sakaï associé à BigBlueBoutton, ou les outils du réseau Renater.

6. Conclusions et Perspectives

Le réseau des IUT a aujourd'hui une extension mondiale, du fait de la création d'un IUT à Nouméa, avec un département MMI. Nous avons la possibilité d'apprendre à nos étudiants des techniques de Télétravail à participer à des communautés connectées, de décloisonner nos spécialités par des projets communs, d'apprendre à travailler en collaboration multidisciplinaire avec des personnes éloignées dans l'espace et dans le temps. Bien évidemment les rapports symétriques et alternés entre ceux qui apprennent aux autres et ceux qui apprennent des autres auront des conséquences pédagogiques, en particulier en ce qui concerne les évaluations.

Mais une question commence à poindre, deviendrons-nous progressivement des serviteurs d'imprimantes 3D tant du point de vue de nos métiers que comme source de cellules souches ?

7. Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement leurs instituts respectifs et l'organisation pédagogique qui les entourent sans lesquels un tel papier n'aurait pu se réaliser. La longue liste des collègues et collaborateurs qui ont accompagné, porté et supporté les auteurs, qu'ils soient tous remerciés ici.

Nous remercions également les personnes avec lesquelles nous avons discuté des idées présentées ici, Yves Quéré et alii UBO Open Factory☞, Michel Prigent du FabLab19 ☞, Yusef Patel & Dermott McMeel de l'EdFab ☞ (NZ), William Morris médecin en retraite, auteur ☞ et horloger ☞ à Pukenui (NZ), Stéphane Philippe et Arthur Wolf de Robotseed ☞, Sarah Poulton et Fabrice Marsaleix de M-Tecks ☞.

8. References

[1] J. Rifkin « la nouvelle société du coût marginal zéro », Les liens qui libèrent, Paris, 2014.

[2] C.Anderson Pearson, « Makers. La nouvelle révolution industrielle », Pearson, 2012.

[3] J. de Rosnay « Comment imprimer des objets chez soi, après les TIC voici les MUP », Le Monde, Paris, 2006.

[4] L. Ferry, « La révolution transhumaniste », Editions Plon Novembre 2016 .

[5] J.Vareille « Creativity and inovation processes » Crecos, Helsinki, 2008.

[6] A. Bandura. « L'apprentissage social »,. Éditions Mardaga : Bruxelles, 1976.

[7] M.Tahan, A.Touil, J.Vareille, P. Le Parc, La méthode de développement en X, XVIIème colloque national de la recherche en IUT, CNRIUT'11., Cherbourg, France, Juin 2011.

[8] G.Engelen, R. White, I. Uljee and P. Drazan, « Using Cellular Automata for Integrated Modelling of Socio-environmental Systems », 1995.

[9] O. Wilde, "The Picture of Dorian Gray", 1890 .

[10] E.A. Poe, "The oval portrait", 1842.

[11] G. Bernanos « La France contre les robots », 1947.