

IMPRESSION 3D ET FABRICATION ADDITIVE – CONSEQUENCES POUR LA SANTE ET LA SECURITE AU TRAVAIL

Introduction

Le présent article sur l'impression 3D a été établi à la demande de l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (EU-OSHA). Ses auteurs passent en revue quelques questions essentielles concernant les possibilités et les défis liés à l'industrie émergente de l'impression 3D pour les employeurs, les travailleurs et les nouveaux entrepreneurs qui travaillent à partir de leur domicile ou dans des lieux de travail informels. L'objectif de ce document de réflexion est de présenter l'impression 3D et d'étudier son incidence possible tant sur l'environnement de travail existant que sur le nouvel environnement de travail. Enfin, il présente quelques recommandations à mettre en œuvre à l'échelle européenne concernant les mesures qui peuvent être prises afin de garantir que l'impression 3D favorise un environnement de travail plus sûr, plus sain et plus épanouissant, tant dans le cadre des relations employeur-travailleur existantes que dans le cas des nouveaux «auto-entrepreneurs» informels.

Qu'est-ce que l'impression 3D?

L'impression 3D est l'expression à la mode dans le domaine de l'innovation et le secteur de la création. Mais le grand public ne sait pas exactement ce que cette expression recouvre. Fabrication additive, production de bureau, prototypage rapide, fabrication numérique – cette nouvelle technologie est désignée par différents noms¹. Le processus de conception et de fabrication des produits étant entièrement informatisé, l'impression 3D s'inscrit dans le développement de la fabrication numérique au sens large². Cependant, le terme générique «impression 3D» prête à confusion lorsqu'il est utilisé pour désigner un large éventail de nouvelles technologies de production numériques, telles que les fraiseuses CNC (à commande numérique par ordinateur), les machines de découpe au laser, les traceurs informatisés sur acier, etc. Par exemple, la commande numérique par ordinateur est une technique traditionnelle de fraisage dans laquelle les mouvements de la machine sont commandés numériquement. Bien qu'elles offrent le même niveau de liberté en ce qui concerne les formes des produits et leur caractère unique, la plupart des techniques de fabrication numérique s'appuient sur l'enlèvement de matière d'un corps solide par fraisage, sciage ou découpage. Avec l'impression 3D, un produit est construit à partir de rien par ajout de matière. Le terme le plus clair pour décrire cette technique serait donc la fabrication additive³. À l'avenir, ces deux techniques numériques (par enlèvement et par ajout de matière) seront utilisées de manière flexible: une machine CNC et des robots peuvent être facilement transformés pour passer de la fabrication soustractive à la fabrication additive, par un simple changement de tête.

Dans le présent article, l'expression «impression 3D» sera limitée aux différentes techniques de fabrication de produits qui n'existent que sous la forme de fichiers informatiques par l'utilisation d'une machine ajoutant des matières premières en couches successives jusqu'à ce qu'un produit fini soit façonné⁴. Ce procédé débute par la conception d'un produit sur un ordinateur. Le document qui est le fruit de cette conception assistée par ordinateur (un fichier de CAO) n'est en fait qu'une série complexe d'instructions d'impression.

1 <https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>

2 <http://www.wired.co.uk/article/digital-fabrication>

3 <https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>

4 <http://additivemanufacturing.com/basics/>

Fonctionnement

Le dessin de l'objet généré par ordinateur est clivé numériquement en milliers de couches; ce découpage en couches est effectué à l'aide d'un logiciel qui convertit un dessin en une série d'instructions d'impression. Une autre façon de créer un fichier d'impression numérique d'un produit consiste à numériser un objet existant en trois dimensions. Les données ainsi obtenues peuvent être converties en instructions d'impression au moyen d'un logiciel dédié. Le prix des scanners nécessaires à ce type d'opération peut varier de 50 euros à 50 000 euros. Une imprimante 3D de bureau coûte environ 1 000 euros.

Le prix d'une imprimante 3D professionnelle destinée au prototypage et à la production en série limitée varie de 2 000 euros à 20 000 euros. Les investissements nécessaires pour remplacer une production sur grande échelle existante par l'impression 3D sont de l'ordre de 1 million d'euros.

On peut distinguer dans la technique d'impression 3D deux processus techniques différents. Les incidences que ces derniers auront à l'avenir sur la conception, la fabrication et la distribution des produits sont également différentes: la technique de liage est utilisée dans l'industrie de technologie très avancée tandis que la technique d'extrusion, plus rudimentaire, est communément utilisée sur le marché des produits de grande consommation ainsi que dans les expériences d'impression 3D partant de la base⁵.

Liage

La technique de liage utilise une tête d'impression [équipée d'un laser, d'un rayon ultraviolet (UV), d'un dispositif de chauffage, etc.] pour lier une matière synthétique qui est projetée. La qualité des produits est meilleure et il est possible d'utiliser une plus grande diversité de matériaux. Cette technique, plus onéreuse, nécessite également un niveau plus élevé de connaissances et de précision. Les imprimantes 3D utilisant cette technique sont plus onéreuses, de même que les matériaux employés. Par conséquent, le liage est principalement utilisé dans des processus très avancés et (semi-) industriels.

Extrusion

La technique d'extrusion utilise un matériau liant qui est extrudé selon un paramétrage chronologique et spatial précis. Il s'agit du procédé le plus communément utilisé par les imprimantes 3D à code source ouvert qui sont adaptées au grand public et généralement présentées sous la forme d'un kit de construction en contreplaqué (par exemple, Makerbot, Ultimaker, Airwolf). Le matériau extrudé peut se présenter sous la forme de liquide, de poudre, de filament synthétique ou de matériau organique comme la céramique ou le caoutchouc. De nombreuses imprimantes de ce type sont vendues sous la forme de kits à monter soi-même. La production est plus rapide et moins onéreuse, mais le produit final est moins soigné.

Matériaux anciens et nouveaux

Les premiers matériaux utilisés en impression 3D étaient des plastiques. Le nombre de matériaux utilisables par des imprimantes 3D a beaucoup augmenté au cours des dix dernières années. Des matériaux «traditionnels», comme la céramique, l'acier, le verre et même le bois sont aujourd'hui largement utilisés. Des recherches ont montré que les imprimantes 3D de bureau pouvaient présenter des risques d'émission d'une grande quantité de particules ultrafines (PUF; particules inférieures à

⁵ <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>

100 nm) ainsi que de certains composés organiques volatils (COV) dangereux pendant l'impression, bien que très peu de combinaisons de filaments et d'imprimantes 3D aient été testées à ce jour⁶.

Les matériaux utilisés pour l'impression 3D dans un contexte industriel sont différents de ceux utilisés dans un cadre résidentiel. Dans ce dernier environnement, les matériaux les plus fréquemment utilisés sont l'acide polylactique biodégradable (APL) et l'acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS), qui est un plastique à base de pétrole et donc plus toxique lors de son utilisation. La ventilation est recommandée lors de l'utilisation de l'APL et nécessaire avec l'ABS⁷.

Le matériau le plus couramment utilisé dans les processus industriels d'impression 3D est le polyamide (par exemple, le nylon) sous forme liquide et en poudre; le polyamide est une matière plastique produite à partir de pétrole. Lorsqu'il est chauffé, le matériau dégage des fumées toxiques, ce qui rend la ventilation nécessaire. Mieux encore, il est préférable de confiner l'imprimante pour éviter que les émissions ne se répandent dans l'air sur le lieu de travail.

Les produits chimiques plastiques, comme les résines époxydes, sont utilisés en stéréolithographie ainsi que pour le traitement de surface d'objets imprimés. Ils peuvent provoquer des dermatites de contact allergiques. Tout contact avec les produits chimiques plastiques non durcis doit être évité et il importe de prévenir toute contamination des surfaces et des vêtements. D'autres produits chimiques utilisés pour le post-traitement et le traitement de surface peuvent aussi être dangereux et doivent être manipulés avec précaution.

Le polyamide sous forme de poudre est parfois mélangé à de l'aluminium (alumide); bien qu'elle soit moins toxique, l'utilisation de ce matériau nécessite néanmoins des mesures préventives particulières en matière de sécurité et de santé. Parmi les autres matériaux utilisés dans l'industrie, le polysulfone (PSU) et le polyphénylène sulfone (PPS) sont des matières plastiques synthétiques qui nécessitent des mesures de sécurité en termes de ventilation et de manipulation⁸. Le métal est le matériau dont l'utilisation croît le plus rapidement dans l'impression 3D⁹. Son utilisation nécessite l'application de mesures de ventilation car le métal est combiné à des produits synthétiques à base de pétrole. Les températures élevées rendent également nécessaires des mesures de sécurité et de précaution pour la manipulation. Dans le cas de l'impression sur métal, il convient de tenir compte du fait que les métaux peuvent être cancérigènes et qu'il est donc nécessaire d'utiliser une protection respiratoire lors de la manipulation de poudres de ce type.

Les nouveaux matériaux sont des matériaux intelligents qui réagissent aux différences de température, de pression ou de lumière après la production. Les nanocarbones font également partie des nouveaux matériaux. Dans un avenir proche, ils devraient être utilisés à grande échelle dans l'industrie. L'introduction de ces matériaux de haute technologie nécessite un examen approfondi du point de vue de la sécurité car la plupart de ces matériaux sont encore expérimentaux¹⁰.

Un autre aspect important à prendre en considération est la manipulation préalable et a posteriori des matériaux d'impression et des objets imprimés. Dans le cas des matériaux d'impression sous forme de poudre, il est important d'éviter toute dispersion de ces poudres en utilisant, par exemple, une ventilation par aspiration localisée et en garantissant ainsi des méthodes de travail appropriées. Il existe également un risque de combustion spontanée des poudres (métalliques) qui doit être détecté, par exemple au moyen d'appareils antidéflagrants (appareils de détection destinés aux zones potentiellement explosives).

6 <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b04983>

7 <https://all3dp.com/pla-abs-3d-printer-filaments-compared/>

8 <http://www.stratasys.com/materials/material-safety-data-sheets/fdm>

9 <https://www.3dprintingmaterialsconference.com/3d-printing-materials/metals-are-the-fastest-growing-segment-of-3d-printing-metal-sales-growing-by-32/>

10 <https://www.sculpteo.com/blog/2016/09/28/top-10-future-3d-printing-materials-that-exist-in-the-present/>

La promesse d'une nouvelle révolution industrielle

Nous vivons à l'ère numérique. Les médias sociaux bouleversent le journalisme traditionnel¹¹. Les achats en ligne entraînent la fermeture des magasins traditionnels et ont détruit nos centres ville dynamiques. Les achats en ligne modifient même les conditions de travail, puisqu'ils sont devenus largement automatisés. La robotique modifiera la manière dont nous conduisons nos voitures et gérons nos foyers. En outre, notre manière de concevoir, de fabriquer et de distribuer nos biens de grande consommation à l'ère numérique sera finalement modifiée par les imprimantes 3D. Les attentes en matière d'impression 3D étaient tellement grandes ces dernières années qu'une nouvelle révolution industrielle, rien de moins, était imminente. C'est du moins ce qu'énonçait le rapport de 12 pages publié dans *The Economist* en 2012, qui a fait autorité.



The Economist, avril 2012

À cette époque, on prédisait que l'imprimante 3D serait un nouvel outil numérique qui trouverait bientôt sa place dans tous les foyers. Qu'elle sonnerait la fin de la production de masse. Plus exactement, c'est une révolution *post*-industrielle que prédisait *The Economist*. Tout le monde pourrait télécharger les plans numériques d'un produit sur l'internet et les imprimer chez soi d'une simple pression sur un bouton. Des modifications pourraient être apportées aux produits: par exemple, les personnes aux pieds larges pourraient facilement imprimer des chaussures un peu plus larges. La fabrication d'un produit unique et sur mesure ne coûterait pas plus que la production de masse dans une usine chinoise, ce qui ébranlerait le cadre économique existant en matière de production. La demande de nouveaux produits serait moins importante; la réparation deviendrait enfin une pratique courante car les pièces de rechange des appareils en panne pourraient aussi être facilement reproduites à domicile avec une imprimante 3D. Dans la mesure où la production s'installerait dans les foyers, le temps et l'énergie consacrés à la distribution des biens seraient limités. De plus, l'offre et la demande seraient en adéquation puisque les gens n'imprimeraient que ce dont ils ont besoin. Cela signifie qu'il n'y aurait plus de stock ni de surproduction; cette nouvelle révolution industrielle pourrait donc aussi être verte¹².

La date de parution de l'article dans *The Economist* n'était pas une coïncidence. La technique de l'impression 3D existait déjà au milieu des années 1980. La stéréolithographie a été brevetée en 1984 par le scientifique français Alain Le Méhauté. Pourtant, il a fallu attendre dix ans pour que le terme «impression 3D» soit inventé. À cette époque, seules les industries hautement spécialisées, comme les soins médicaux, la production automobile et l'ingénierie aérospatiale expérimentaient des imprimantes 3D de haute technologie pour produire des prototypes et parvenir à une production flexible. Cependant, au cours de la première décennie du XXI^e siècle, de grandes avancées ont été réalisées. L'impression 3D à grande échelle est désormais possible non seulement avec des matières plastiques,

¹¹ <http://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/news/how-journalism-faces-second-wave-disruption-technology-and-changing-audience-behaviour-0>

¹² <https://3dprint.com/144928/3d-printing-environmental/>

mais aussi avec du métal, des matériaux conducteurs, du verre, de la céramique et même des tissus organiques. De grandes entreprises comme Canon et Siemens ont entrepris des études de marché concernant des imprimantes 3D adaptées au grand public. Makerbot, une entreprise américaine, a vendu la première imprimante 3D de bureau pour un prix légèrement supérieur à 1 000 euros en 2008, rendant ainsi la technologie de l'impression 3D accessible au grand public. À peu près à la même période, les acteurs du projet de recherche RepRap («replicating rapid prototyper», concepteur de réplique rapide) ont mis au point une imprimante de bureau rudimentaire majoritairement composée de pièces de plastique pouvant être fabriquées à l'aide d'une imprimante de bureau. Les pièces mécaniques de l'imprimante issue de RepRap peuvent être précommandées en ligne. En d'autres termes, la RepRap est la première imprimante 3D qui peut s'auto-répliquer, pour un prix légèrement supérieur à 200 euros. Le logiciel nécessaire pour commander une RepRap est de source ouverte et peut être téléchargé gratuitement.

En bref, en l'espace d'une décennie, l'impression 3D est passée d'une méthode de production futuriste utilisée exclusivement par des passionnés d'informatique, des concepteurs de pointe et des industries de haute technologie, à un outil grand public adapté aux consommateurs permettant une production flexible à domicile. Ou, comme la définissait *The Economist*, «le début d'une nouvelle révolution industrielle». Les incidences de l'impression 3D sont perceptibles sur l'économie et sur les plans sociétal et humain. Les plus importantes sont l'amélioration du bien-être et les progrès résultant d'une fabrication efficiente et sur mesure peuvent être significatifs. L'impression 3D ouvre la voie à une production atomisée et fondée sur la demande, donc plus durable. Étant donné que l'impression 3D est ancrée dans une structure reposant sur le code source ouvert, elle est plus accessible pour les nouvelles entreprises et plus propice à l'innovation à petite échelle qu'à l'industrie manufacturière traditionnelle. Non seulement cette révolution industrielle sera plus verte, mais elle sera également plus impartiale et renforcera la position du consommateur.

L'incidence de l'impression 3D peut être examinée à deux niveaux:

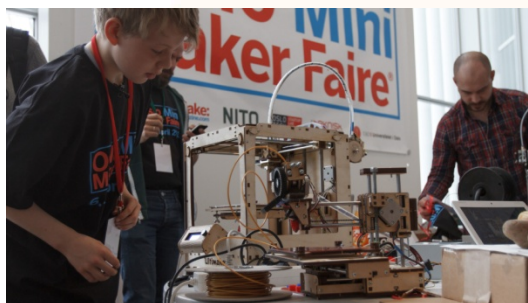
▪ Niveau sociétal

L'impression 3D renforcera l'inclusion sociale. Moyennant un investissement minime, n'importe qui pourra démarrer une petite entreprise depuis sa cave. Il suffira de disposer d'un ordinateur, d'une imprimante 3D et d'une connexion internet rapide. Les connaissances, les idées et, dans une large mesure, les logiciels nécessaires sont échangés librement. La fabrication numérique a donné naissance à un «maker movement», un mouvement de créateurs-consommateurs qui fabriquent des produits. Bien que le «maker movement» se situe au croisement du piratage informatique, de l'artisanat traditionnel et de l'expérimentation scientifique, l'imprimante 3D est considérée comme le cœur de cette tendance mondiale. L'incidence de ce mouvement sur les plans économique et sociétal ne peut guère être surestimée. L'effet d'Airbnb sur le secteur hôtelier est identique à celui que peut avoir l'impression 3D sur la production industrielle: une démocratisation radicale de la conception, de la production et de la distribution. L'impression 3D se caractérise également par la même perte de contrôle des conditions dans lesquelles les activités se déroulent.

▪ Niveau individuel

En résumé, l'impression 3D permet un accès individuel à de meilleurs produits. Les souhaits et les besoins individuels peuvent être satisfaits plus facilement. En outre, les produits seront fabriqués à partir de composants remplaçables et téléchargeables, ce qui facilite leur réparation. Le producteur-consommateur, ou *prosommateur*, aura une autonomie accrue et pourra améliorer sa vie quotidienne. L'incidence la plus forte de l'impression 3D sur les particuliers se fera probablement sentir au niveau psychologique. Comme le sociologue Richard Sennett le soulignait dans son livre *The Craftsman* (L'artisan), la fabrication de biens est un besoin profondément enraciné chez les êtres humains. Il favorise le développement personnel, l'estime de soi et la réalisation de soi. En quelque sorte, nous sommes ce que nous faisons. À notre époque, un mouvement de créateurs rendu possible par une technique de fabrication numérique accessible, telle que l'impression 3D, donne à l'individu une autonomie et offre aux personnes la possibilité de façonner leur propre vie tant sur le plan psychologique que matériel. Ce mouvement de créateurs crée également de nouveaux réseaux sociaux et une nouvelle cohésion, puisque les informations et les connaissances sont librement

partagées. Les événements «Maker Faires» organisés dans le monde entier sont des rassemblements de producteurs autonomes. On pourrait dire que l'impression 3D crée un mouvement *do-it-ourselves* (faisons-le nous-mêmes).



Maker Faire

Une évolution plutôt qu'une révolution

Mais aujourd'hui, cinq années après la parution de l'article de *The Economist*, cette révolution n'a toujours pas commencé. Loin de là. L'impression 3D ne s'est même pas encore généralisée¹³. Makerbot a quasiment fait faillite en 2015 et le projet RepRap a à peine progressé depuis son lancement. En raison de la nature désorganisée et fragmentée de l'industrie de l'impression 3D, il n'existe pratiquement aucune statistique sur sa contribution économique à l'échelle européenne. Toutefois, selon des estimations fiables, à peine 1 % des habitants des pays européens les plus développés possèdent réellement une imprimante 3D. Néanmoins, la majorité des produits imprimés en 3D sont fabriqués à domicile et distribués dans le cadre de l'économie du partage. L'impression 3D industrielle reste moins répandue que la production à domicile. À titre d'exemple, la contribution économique de l'ensemble de l'industrie de l'impression 3D aux Pays-Bas en 2015 a été estimée à environ 45 millions d'euros, soit 0,005 % du produit national brut (PNB) total du pays qui s'élève à 888 milliards d'euros. Rien n'indique que ce chiffre soit significativement supérieur dans d'autres pays de l'Union européenne (UE). La croissance annuelle moyenne de l'industrie de l'impression 3D au cours des cinq dernières années s'élevait à 30 %. Même si ce chiffre doublait, il faudrait au moins attendre cinq ans avant que l'impression 3D puisse rivaliser avec un secteur économique comme celui de la musique pop. L'incidence de l'impression 3D est difficile à prévoir. Néanmoins, une chose est sûre: l'impression 3D ne remplacera pas l'industrie existante, mais la complétera.

Un fossé est en train de se creuser dans l'utilisation de l'impression 3D. D'un côté, une nouvelle industrie hautement avancée et flexible émerge. Ces entreprises sont actives dans des domaines tels que les soins médicaux et l'industrie automobile, mais également dans la mode et les produits de consommation courante. De l'autre côté, une production à petite échelle et parfois presque à faible technologie, qui relève du bricolage, est aussi en croissance. Ces micro-usines et jeunes pousses sont mises sur pied par des concepteurs, des coopératives, des petites entreprises et des réseaux informels. Cependant, l'utilisation de l'impression 3D à grande échelle par les consommateurs fait toujours défaut. Le «maker movement» réunit des amateurs qualifiés et des adeptes précoces.

¹³ <http://www.techrepublic.com/article/why-desktop-3d-printing-still-sucks/>

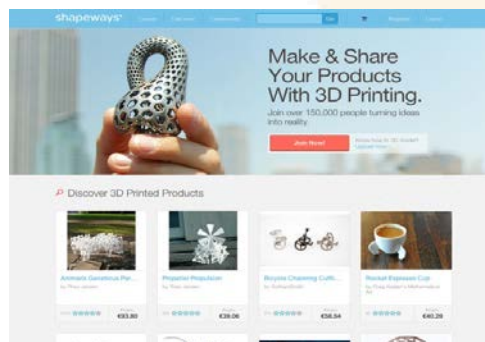
Une nouvelle industrie avec des imprimantes 3D

Perspectives et risques pour les employeurs

L'impression 3D engendre de nouveaux modèles d'entreprises. La plateforme en ligne Open Desk, établie à Londres, ne possède même pas d'unité de production. Elle propose une collection de meubles créés par des designers du monde entier. Tous les meubles sont fabriqués à partir de panneaux de bois. Lorsqu'un client passe une commande, Open Desk trouve le lieu de fabrication numérique le plus proche de ce client. Une fois que les coûts de production sont versés à ce fournisseur local, le bénéfice est partagé entre Open Desk et le designer. De cette manière, une entreprise opérant au niveau international dans le secteur du mobilier n'a pratiquement besoin que d'un service d'accueil téléphonique. Shapeways est une entreprise mondiale qui propose aux particuliers de faire imprimer leurs propres créations. Les designers professionnels peuvent également télécharger leurs créations afin que les consommateurs puissent les commander. Lorsqu'une commande est effectuée, le designer perçoit des redevances versées par Shapeways. Cette usine de production à la demande n'est actuellement établie qu'à New York, mais va bientôt développer ses activités sur différents sites dans le monde.

Les nouveaux défis pour les entreprises utilisant des imprimantes 3D à si grande échelle concernent le domaine de la santé et de la sécurité au travail¹⁴. Les préoccupations concernent notamment les expositions au gaz et aux matériaux, la manipulation des matériaux, l'électricité statique, les pièces en mouvement et les pressions¹⁵.

Par ailleurs, pour des motifs de respect des droits d'auteur et de prévention de la production illégale, une surveillance stricte des travailleurs est nécessaire. Ainsi, il est possible que la fabrication d'une réplique d'une figurine d'un protagoniste du film Star Wars enfreigne les droits d'auteur. Mais qui est responsable: le concepteur, Shapeways ou l'acheteur? Étant donné que l'impression 3D nécessite un procédé de fabrication précis, le lieu de travail doit être propre et organisé, et les interfaces utilisateurs doivent afficher des instructions claires et compréhensibles. Des erreurs de programmation, de réglage et de calibrage de l'imprimante peuvent facilement se produire. De plus, un produit final défectueux donnera plus facilement lieu à des actions en justice, étant donné que le consommateur moderne se caractérise par un degré élevé d'autonomie.



Shapeways

Il convient également d'accorder une attention particulière à la sécurité lors de la mise en œuvre de nouveaux produits. On peut citer comme exemple «De Kamermaker», qui est une unité d'impression 3D dédiée à l'architecture développée par le bureau d'architectes néerlandais DUS Architects. Cette imprimante 3D de très grandes dimensions permet de fabriquer par impression des éléments de construction de 50 cm sur 50 cm. Mais quelles sont les conséquences de pareille évolution pour la sécurité des travailleurs du secteur de la construction? À l'Institut de technologie du Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology – MIT) de Boston, un groupe de recherche

14 <http://www.cmu.edu/ehs/fact-sheets/3D-Printing-Safety.pdf>

15 <http://www.additivemanufacturing.media/articles/changing-the-rules>

dénoté Mediated Matters, dirigé par Neri Oxman, mène des expériences sur des constructions imprimées en 3D à partir de formes et de configurations naturelles. La fabrication hybride, dans laquelle ne sont imprimées en 3D que des pièces d'un produit, se généralise également.

Un système standard universel destiné tant aux particuliers qu'à l'industrie émergente fait également défaut dans le domaine de l'impression 3D. Ce système permettra l'échange de pièces détachées, ce qui aura un effet positif tant sur la durabilité que sur la sécurité.

Le studio de design italo-japonais Minale Maeda fabrique Keystones, une pièce de connexion imprimée en 3D qui permet de construire ses propres meubles avec des panneaux de bois normalisés. La résistance et la résistance à la traction de ces pièces doivent être validées et certifiées. Ces nouveaux produits et techniques sont souvent développés par un personnel spécialement formé au sein d'une entreprise. Mais qui contrôle la paternité de ces innovations? À défaut d'une réglementation adéquate, cet aspect est susceptible de générer des tensions entre l'employeur et le travailleur.

L'innovation d'une installation de production existante grâce à l'impression 3D nécessitera des investissements considérables. L'avantage réside dans le fait que les investissements dans des moules ou des machines spéciales ne sont plus nécessaires pour tester les prototypes. Les nouveaux produits peuvent être mis sur le marché presque immédiatement et à des coûts relativement faibles. Les nouvelles techniques offrent également de nouvelles possibilités. Par exemple, le stylo 3D est une imprimante qui ressemble à un stylo et permet de dessiner en 3D. Pour des raisons de santé et de sécurité, ces nouvelles imprimantes 3D commodes d'emploi doivent être soumises à des essais minutieux et à une réglementation rigoureuse car le chauffage peut présenter des risques pour la santé. De plus en plus de stylos de ce type utilisent une lumière UV.

Il existe une génération du millénaire, qui est attirée par les industries innovantes et numériques comme l'impression 3D, et a des exigences différentes en ce qui concerne la qualité du travail. En général, on assistera à une augmentation de la demande de jeunes travailleurs ayant une conception différente du travail: le temps libre et le développement personnel sont plus appréciés que l'argent et la sécurité de l'emploi. Le travail sur la base de contrats à court terme est la nouvelle norme. En contrepartie, les jeunes travailleurs exigent une participation (créative) et un environnement dynamique.

Ces innovations et développements constants nécessitent des efforts continus en matière de recherche et de développement, ainsi que des investissements dans une main d'œuvre hautement qualifiée et pour l'actualisation des compétences des travailleurs à travers la formation et l'apprentissage¹⁶.

Le tableau ci-dessous présente l'évolution des conditions de travail entre d'une part, une production flexible et à la demande avec l'impression 3D, et d'autre part, une production industrielle traditionnelle.

Tableau 1: Évolution des conditions de travail

Industrie traditionnelle	Fabrication numérique
Hiérarchie	Démocratisée
Centralisée	Ouverte
Réglementation	Responsabilité
Axée sur la production	Axée sur la communication
Promotion	Formation
Sécurité financière/de l'emploi	Liberté et flexibilité

¹⁶ <http://www.pwc.com/us/en/technology-forecast/2014/3d-printing/features/future-3d-printing.html>

Implications pour les travailleurs et leurs emplois

En ce qui concerne l'avenir des emplois, la question essentielle soulevée par l'impression 3D (comme par la robotique et les autres productions automatisées) est de savoir si cette technique remplacera ou modifiera le travail existant. La réponse est à la fois oui et non¹⁷.

D'un côté, la réponse est affirmative, car les machines prendront en charge la production flexible et artisanale. L'artisanat est numérisé. Une imprimante 3D permet de créer des objets de formes complexes et élaborées qui ne pouvaient auparavant être produits que par des artisans qualifiés. Avec l'arrivée de l'impression 3D à partir de matériaux comme le métal et le bois, l'artisanat traditionnel devient obsolète.

D'un autre côté, la réponse est négative, l'impression 3D ne conduira pas forcément à une hausse du chômage. En premier lieu, l'impression 3D créera également de nouveaux emplois, par exemple dans la conception et la production de matériel informatique (par exemple, les imprimantes 3D) et, plus encore, dans la création de logiciels qui permettent aux machines d'exécuter diverses tâches¹⁸. De plus, l'impression 3D peut facilement ouvrir l'accès au marché mondial. Dans le même temps, la production se fait de plus en plus localement. Par conséquent, le travail qui était auparavant délocalisé dans des pays à faible coût de main d'œuvre peut revenir en Europe. Cela signifie qu'il existera une forte demande de travailleurs qualifiés, tandis que la demande de main-d'œuvre produisant des biens moins perfectionnés diminuera. Le fossé entre les travailleurs instruits et ceux qui le sont moins se creusera.

L'utilisation prédominante de matières plastiques dans l'impression 3D provoquera un bouleversement des conditions de travail réelles. Il est essentiel de mettre en place une réglementation et une certification appropriées de ces matériaux synthétiques. La production par impression 3D est non seulement onéreuse, mais aussi chronophage.

Comme dans le cas d'autres technologies numériques (robotique, intelligence artificielle, etc.), cette évolution peut avoir de lourdes conséquences pour ceux qui effectuent ces tâches de routine. Le travail peut s'avérer ennuyeux et très peu créatif, comme regarder de la peinture sécher. En même temps, la technique d'impression 3D reste relativement complexe et exige un degré élevé de concentration. Il est facile de commettre des erreurs et les plus petites fautes entraînent des défauts majeurs dans le produit final.

Avec tout l'intérêt qu'elle suscite par son caractère innovant, l'impression 3D est une industrie séduisante. Comme dans le cas de nombreuses jeunes pousses, les travailleurs sont tentés d'y consacrer de longues heures; de la même manière, la limite entre les activités professionnelles et non professionnelles peut facilement s'estomper. La plupart des entreprises travaillant dans le domaine de l'impression 3D sont jeunes, connaissent une croissance rapide et sont par conséquent moins organisées. Dans un contexte où le personnel est variable, il est difficile pour les travailleurs de s'organiser. Cette situation soulève des préoccupations quant à la rémunération raisonnable, à la durée du temps de travail ainsi qu'à la sécurité et à l'hygiène des conditions de travail.

Lancer sa propre entreprise chez soi

L'impression 3D met en place une nouvelle chaîne de production informelle. Ce «maker movement» démocratique permet à tous de créer leur propre entreprise chez eux. Tout comme Steve Jobs, qui était un entrepreneur en informatique expérimenté lorsqu'il a mis sur pied une entreprise dans son garage, la plupart des petites entreprises et jeunes pousses dans le domaine de l'impression 3D sont gérées par des semi-professionnels. Ensemble, ils forment une industrie très désorganisée qu'il est difficile de réglementer. Un entrepreneur individuel dans le domaine de l'impression 3D peut travailler chez lui ou dans un espace de bureau informel (par exemple, un garage) qui ne respecte pas les

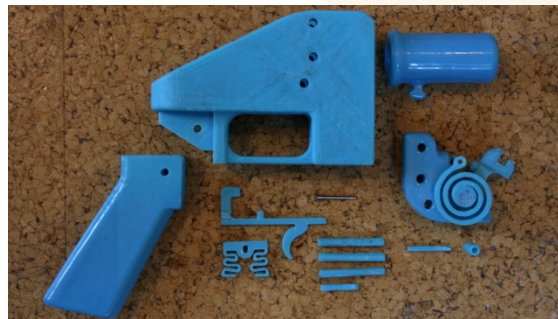
17 <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.5437/08956308X5606193>

18 <http://www.forbes.com/forbes/welcome/?toURL=http://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2014/09/15/demand-for-3d-printing-skills-is-accelerating-globally/&refURL=https://www.google.nl/&referrer=https://www.google.nl/>

conditions d'un environnement professionnel. L'ergonomie, la propreté de l'air, le temps de travail et l'équilibre entre la vocation résidentielle et l'usage professionnel du domicile engendrent des tensions.

La précarité est de loin le principal défi auquel le travailleur indépendant doit faire face dans le domaine de l'impression 3D. Si tout le monde peut devenir un fabricant par impression 3D, la concurrence entre ces *travailleurs participatifs* peut générer une pression élevée. Le marché a éprouvé d'énormes difficultés à réguler le prix de ces services d'impression 3D. Ce stress économique est encore renforcé par l'absence de droits sociaux et de réglementation financière. Ce qui semble être une avant-garde créative peut en fait devenir un nouveau prolétariat numérique. Dans cette *économie de passionnés d'avant-garde*, comme on la surnomme aux États-Unis, les imprimeurs 3D indépendants enchaînent les commandes. Il existe un risque sérieux qu'une nouvelle classe d'ouvriers journaliers des temps modernes apparaisse. Même le fabricant qui travaille chez lui et garde le contrôle des ventes et de la distribution en commercialisant son produit sur des plateformes en ligne, comme Etsy ou eBay, n'est pas à l'abri du danger. La pointeuse d'antan est remplacée par la pression des évaluations en ligne. La promesse d'une économie post-capitaliste peut devenir une forme d'hypercapitalisme dans lequel un grand nombre de personnes contrôlent la production mais personne ne contrôle le niveau minimal de sécurité sociale et économique.

Ces nouveaux types de petites entreprises offrent des perspectives d'emploi dynamiques mais très précaires. Dans ce secteur en plein essor, l'innovation d'aujourd'hui peut devenir l'obsolescence de demain. Dans les entreprises où la distinction juridique entre le concepteur, le fabricant et l'entrepreneur est floue, la responsabilité en cas de dysfonctionnement ou de qualité médiocre est difficilement définissable. Cette situation engendre des incertitudes en ce qui concerne les obligations et devoirs des différents intervenants. Dans la mesure où toutes sortes de produits sont devenus accessibles gratuitement par téléchargement (illégal) sur l'internet, le piratage et la violation des droits d'auteur sont des risques imminents¹⁹. Il est nécessaire d'établir des règlements et des contrats de travail fiables. Hormis ces questions juridiques, le problème des nouveaux dilemmes éthiques est également posé. Le Liberator Gun est une arme de poing que l'on peut imprimer sur une imprimante 3D de bureau après avoir téléchargé des instructions d'impression gratuites sur l'internet²⁰.



Liberator Gun

Il convient de mentionner les «fablabs» (abréviation de l'anglais «fabrication laboratory», laboratoire de fabrication), qui sont des lieux de travail coopératifs dotés d'appareils numériques et analogiques. Les fablabs jouent un rôle important dans le renforcement de l'autonomie des individus en leur permettant de créer des appareils intelligents pour eux-mêmes. Ils constituent, si l'on peut dire, le chaînon manquant entre l'impression 3D à domicile pour un usage personnel et les nouvelles entreprises. Un fablab est ouvert au grand public à condition que le procédé de production soit documenté. Les plus de 250 fablabs existant dans le monde (dont plus de 100 en Europe) ont créé une des plus grandes bases de données à codes sources ouverts sur l'impression 3D et d'autres techniques de fabrication numérique. Le nombre de fablabs ne cesse d'augmenter. La plupart sont sans but lucratif et proposent des services gratuits aux particuliers, comme des cours et des ateliers; le nombre de fablabs commerciaux a également augmenté. Étant donné que ces espaces de travail fonctionnent de façon

19 <https://www.technologysleage.com/2015/09/top-3-legal-issues-of-3d-printing/>

20 <http://www.3ders.org/articles/20151130-what-are-the-legal-aspects-of-3d-printing-a-european-law-firm-weighs-in.html>

informelle, les conditions de travail requises ne sont pas toujours remplies. Dans le cas d'appareils pouvant présenter un risque, comme des machines de découpe au laser et des fraiseuses informatisées, il convient d'accorder une attention particulière à la sécurité sur ces lieux de travail. De plus, il est facile de ne pas respecter une limite d'âge minimal et un nombre maximum d'heures de travail.



Fablab

Prochains signes

Les futures innovations auront une incidence considérable sur l'impression 3D et l'environnement de travail. Les cinq innovations les plus importantes qui seront introduites sont les suivantes.

Alimentation

La flexibilité de production et la liberté de création offrent d'immenses possibilités dans l'industrie alimentaire. Actuellement, la plupart des aliments liquides, comme le chocolat et la pâte à crêpe, sont utilisés pour l'impression 3D. Dans un proche avenir, l'impression 3D sera utilisée pour les aliments crus qui subiront un traitement ultérieur comme le réchauffement, ou qui seront traités par des processus naturels comme la fermentation ou la germination. Cette innovation présentera de nouveaux défis en matière d'hygiène, de sécurité et de conditions générales de travail (propreté de l'air, ergonomie, etc.).



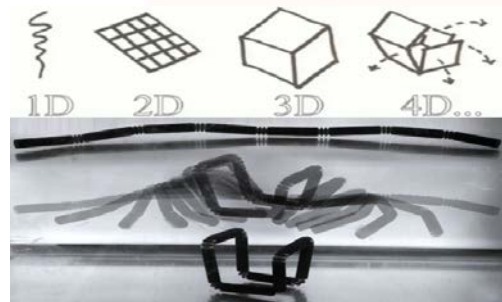
Impression 3D d'aliments

Impression 4D et matériaux intelligents

Les matériaux intelligents possèdent une ou plusieurs propriétés qui peuvent être considérablement modifiées de façon contrôlée par des stimuli externes, comme la température, la force, la lumière, l'humidité, le pH et les champs électriques ou magnétiques. Lorsqu'ils sont produits avec une imprimante 3D, ces matériaux intelligents peuvent former des objets qui s'adaptent à leur environnement en changeant de forme, de résistance tactile ou de dureté. Ce processus est désigné par le terme d'impression 4D, puisque les objets changeront à nouveau au fil du temps. Ces changements peuvent résulter d'une sensibilité à la lumière, à la pression ou à la température. Certains

de ces matériaux peuvent avoir une «mémoire», c'est-à-dire qu'ils retrouveront leur forme d'origine lorsque les conditions changeront à nouveau. Nombre de ces matériaux sont très expérimentaux et les risques qu'ils posent pour la santé et l'hygiène sont incertains. Des appels en faveur d'une réglementation ont déjà été lancés²¹.

Impression 4D



Impression 4D

Bio-impression

Le terme bio-impression désigne l'impression 3D de tissus organiques et/ou vivants. Les bio-imprimantes produisent des cellules à partir d'une tête de bio-impression qui se déplace vers la gauche et la droite, d'avant en arrière et de en haut en bas, pour placer les cellules exactement à l'endroit voulu. De cette manière, sur une certaine période de temps, un objet organique peut être construit en plusieurs couches très fines²². En plus de produire des cellules, les bio-imprimantes peuvent également extruder un gel soluble pour soutenir et protéger les cellules pendant ou après l'impression. De nombreuses expériences consistant à imprimer des matériaux «vivants» contenant des champignons ou des algues ont été couronnées de succès. Comme dans le cas des matériaux intelligents, cette technique présente des risques pour la santé et l'hygiène. En outre, elle soulève des problèmes éthiques²³.



Bio-impression

Nano-impression

La combinaison de l'impression 3D avec les nanotechnologies permettra de façonner des objets à l'échelle nanométrique ou moléculaire. En théorie, cela signifie qu'à travers la fabrication additive, il

21 <http://journal.georgetown.edu/programmable-matter-4d-printings-promises-and-risks/>

22 <http://www.explainingthefuture.com/bioprinting.html>

23 <http://www.computerworld.com/article/2486998/emerging-technology/bio-printing-human-parts-will-spark-ethical--regulatory-debate.html>

sera possible de fabriquer n'importe quelle forme d'objet dans tout type de matériau, dans n'importe quel volume ou forme. Cette technique demeure toutefois théorique; aucune prévision ne peut être établie quant à l'incidence de la nano-impression sur l'environnement de travail.

Conclusions

Les incidences d'une imprimante 3D sur la sécurité physique sur le lieu de travail au quotidien sont probablement limitées. Des risques existeront, mais il est difficile de prévoir si de nouveaux risques pèseront sur la sécurité physique. Après tout, cette imprimante n'est qu'une machine qui exige un travail manuel relativement limité. De plus, la plupart des matériaux utilisés dans l'impression 3D sont connus, tout comme leurs effets sur la santé par l'émission de gaz, les expositions aux matériaux, la manipulation des matériaux et l'électricité statique.

En revanche, l'incidence sur le bien-être du travailleur peut être considérable. L'impression 3D comporte de nouveaux risques en ce qui concerne la précarité de l'emploi, le temps de travail, la responsabilité, la monotonie et la routine au travail, le suivi des évolutions récentes par la formation et l'apprentissage, et, enfin, les risques pour la sécurité découlant de l'introduction de machines expérimentales. Il est vivement recommandé d'apporter une réponse à ces changements dans l'environnement de travail au niveau européen plutôt qu'au niveau national, car l'impression 3D est une industrie mondiale. Cet engagement devrait se manifester à trois niveaux:

1. Suivi et vérification

Quelles sont les innovations en marche? Quelle est la probabilité que cette innovation soit appliquée à grande échelle? Cette technique est-elle brevetée ou protégée d'une autre manière? Qui est responsable en cas de défaillances? La traçabilité des matériaux utilisés peut-elle être assurée?

Ce ne sont là que quelques-unes des questions qui se poseront. Le suivi des évolutions dans le domaine de l'impression 3D nécessite un dialogue permanent avec l'industrie. Ce dialogue peut être établi très facilement, et à moindre coût, par la mise en place d'une plateforme en ligne à laquelle peuvent participer à la fois les travailleurs et les employeurs. Pour contacter et suivre des particuliers, comme le consommateur (consommateur produisant lui-même), il est possible d'utiliser le vaste réseau de fablabs en Europe.

2. Réglementation et certification

Du fait de la nature dynamique, ascendante et parfois expérimentale de l'impression 3D, la réglementation fait défaut. La certification peut être un instrument solide. Actuellement, cette certification n'a été effectuée que par des sociétés de haute technologie qui protègent activement des techniques de production développées moyennant d'importants investissements. Leurs secrets et brevets ne contribuent pas à la réglementation du domaine de l'impression 3D en général. Le domaine de l'impression 3D dans l'environnement de travail doit être réglementé pour les raisons suivantes:

▪ **Contrôle de la qualité et de la sécurité**

L'impression 3D est constamment influencée par le développement de nouvelles techniques et de nouveaux matériaux. Cela présente un risque pour la sécurité liée aux imprimantes 3D et aux produits fabriqués.

▪ **Responsabilité**

L'introduction de nouvelles techniques et de nouveaux matériaux peut conduire à des conflits en termes de propriété intellectuelle et de propriété de la création entre l'employeur et le travailleur. De plus, les créations étant (pour la plupart) disponibles gratuitement en ligne, il existe de nouveaux risques de violation des droits d'auteur et de définition des responsabilités en cas de vices de fonctionnement ou de qualité insuffisante des produits. Des contrats types et des conseils juridiques peuvent être nécessaires.

▪ **Bien-être des travailleurs**

Les nouvelles contraintes de l'économie mondiale et l'environnement dynamique des jeunes entreprises actives dans l'impression 3D peuvent être stressants pour les travailleurs qui sont confrontés à des exigences plus élevées en matière d'horaires de travail, de flexibilité et de responsabilité. Étant donné que l'industrie de l'impression 3D est principalement composée de jeunes entreprises et de nouveaux types de micro-usines, l'organisation des travailleurs dans des syndicats traditionnels est limitée.

▪ **Santé et sécurité**

L'utilisation des matériaux et les émissions peuvent présenter des risques pour la santé.

▪ **Précarité de l'emploi**

Dans une industrie hautement innovante, la précarité de l'emploi peut être élevée. Cette précarité peut être réduite par des offres de formation visant à maintenir les compétences des travailleurs à jour.

▪ **Participation**

Le travail sur des machines automatisées, telles que les imprimantes 3D, peut être ennuyeux et stressant. La formation peut avoir une influence positive sur la motivation des travailleurs. En général, les travailleurs de l'impression 3D sont relativement jeunes. Les employeurs devraient également prendre des mesures supplémentaires pour les motiver en partageant les responsabilités et en leur offrant des conditions de travail flexibles.

3. Formation et éducation

Outre les problèmes liés à l'environnement de travail individuel, l'impression 3D offre des possibilités extraordinaires pour améliorer l'égalité dans le marché du travail en général. Nous vivons dans une société de la connaissance fondée sur la mise en réseau et la technologie. Le fossé se creuse entre les personnes qui ont accès à la technologie et qui en ont connaissance et celles qui n'y ont pas accès. Néanmoins, grâce à l'impression 3D et au «maker movement» qui l'appuie, l'accès aux connaissances est peu onéreux et relativement facile par l'internet. Les fablabs constituent les réseaux les plus importants de ce «maker movement». En collaborant avec les fablabs pour favoriser l'éducation et la formation, il est possible de combler le «fossé technologique» croissant, ce qui conduira à une plus grande égalité sur le marché du travail. Cette remarque est particulièrement pertinente dans le contexte économique de l'Europe où l'individualité, l'ouverture et l'innovation sont les principaux objectifs.

Pour en savoir plus

- *Printing Things. Visions and Essentials for 3D Printing.* Dries Verbruggen (editor). ISBN 9783899555165. Gestalten, 2015
- *Open Design Now: Why Design Cannot Remain Exclusive.* Lucas Evers & Bas van Abel (editors). ISBN 9789063692599. BIS Publishers, 2011
- *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World.* Jeremy Rifkin. ISBN 9780230341975. St. Martin's Griffin, 2013
- *Fabricated: The New World of 3D Printing.* Hod Lipson & Melba Kurman. . ISBN 9781118350638. Abe Books, 2013
- *Makers: The New Industrial Revolution.* Chris Anderson. ISBN 9780307720962. Crown Business Publishers, 2012

- *The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers.* Mark Hatch. . ISBN 9780071821124. MacGraw-Hill Education, 2013
- *3D Printing: The Next Industrial Revolution.* Christopher Barnatt. . ISBN 9781484181768. Create Space Independent Publishers, 2013
- *Postcapitalism: A Guide to our Future.* Paul Mason. ISBN 9781846147388 Allen Lane Publishers, 2011

Le présent document de réflexion s'appuie sur le résumé d'un article plus long rédigé par Jeroen Junte et intègre des informations fournies par le réseau de points focaux de l'agence.

Le présent rapport a été commandé par l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (EU-OSHA). Son contenu, y compris tout avis et/ou conclusion exprimé, n'engagent que leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement l'avis de l'EU-OSHA.