

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

CENTRE REGIONAL DE RHONE-ALPES

**Exposé dans le cadre de l'UE "Information et
communication pour ingénieur"
Spécialité : INFORMATIQUE**

par

Galsungen

Impression 3D

Soutenu le 16 janvier 2014

JURY

PRESIDENT : [Civilité Prénom NOM *Fonction*]

MEMBRES : [Civilité Prénom NOM *Fonction*]

[Civilité Prénom NOM *Fonction*]

Sommaire

1. Introduction	3
2. Principes	3
2.1. Historique	3
2.2. Matériaux	5
2.2.1. Plastiques	5
2.2.2. Métaux	5
2.2.3. Céramiques, sables, bétons	5
2.2.4. Matériaux organiques	5
2.3. Procédés	5
2.3.1. Photopolymérisation	6
2.3.2. Liage de poudre	7
2.3.3. Dépôt de matière fondue : FDM	8
3. Débouchés actuels et à venir	8
4. Problématiques annexes et évolution des mœurs	11
5. Conclusion	12
6. Bibliographie	12
7. Glossaire	15

1. Introduction

Qu'entendons-nous par impression 3D ? Quel est ce phénomène qui semble ne faire parler de lui que par coups d'éclats proches de la fiction ? En effet, depuis quelques mois nous pouvons en entendre parler aux informations ou sur les sites d'informations techniques, nous en avons même des exemples dans nos séries policières. Lors d'évènements comme les journées du livre nous pouvons voir l'imprimante bricolée par le « hackerspace » du coin. Et si nous discutons avec les personnes de ce groupe nous entendons vite parler de FabLab. Nous semblons croire que cette technologie est récente dans nos vies, au delà de ce qui avait pu être imaginé dans les ouvrages d'anticipation, de science-fiction.

Nous allons, à travers ce dossier, survoler l'histoire de l'impression 3D et son principe qui ont déjà plus de 25 ans dans le domaine industriel. Nous verrons donc les grandes techniques existant actuellement et les principaux matériaux utilisés. Nous prendrons ensuite le temps de découvrir l'état de l'art dans différents domaines comme l'industrie, la médecine... Nous terminerons par un point rapide sur l'évolution des mœurs et de la législation, avant de conclure sur ce sujet en constante évolution.

2. Principes

En matière de production d'objets, nous pouvons considérer trois grandes techniques. Soustraire de la matière jusqu'à former la pièce souhaitée (sculpture, découpe, fraisage, forage...), combiner plusieurs matériaux (tissage, collage...) ou en déformer la matière (moulage, pliage...). La combinaison de ces différentes techniques est, bien entendu, le plus souvent utilisée en fonction des matériaux et des objets à créer. Et il faut, la plupart du temps, plusieurs étapes pour atteindre le produit fini.

L'impression 3D nous apporte une nouvelle technique où nous créerons la pièce, l'objet en une seule fois, en l'imprimant à partir de sa base et en le construisant couche par couche à raison de un ou deux centimètres par heure. Et contrairement à ce que nous pourrions penser, cet objet pourra comporter des mécanismes internes (roulement à billes...), des formes tissées ou entrelacées, des creux, courbes... Cette technique est dite "additive", car nous ajoutons de la matière à chaque couche pour que l'objet prenne forme.

Pour créer une impression 3D il nous faudra une imprimante dite 3D (de nombreux modèles existent), un modèle 3D créé sur ordinateur et une matière qui sera traitée par l'imprimante. Plusieurs matières sont possibles, que nous décrirons plus loin dans ce dossier.

2.1. *Historique*

L'impression 3D semble être un phénomène de mode récent, une technologie nouvelle qui commence à peine son expansion. En effet, il ne se passe pas une

semaine sans que de nouvelles créations ou évolutions dans des domaines variés ne fassent la une d'une presse de plus en plus grand public. Nous la voyons même apparaître dans les séries hollywoodiennes comme « Les Experts », « Bones », « Big Bang Theory » ou « Elementary ».

Mais il s'agit bien d'une technologie utilisée dans le monde industriel depuis 25 ans. C'est sa démocratisation qui date de ces trois dernières années.

C'est en 1988 que la première imprimante 3D fut lancée par 3D Systems. Cette imprimante utilisait le procédé de la stéréolithographie, c'est à dire la solidification d'un matériau liquide et sensible aux ultraviolets.

Dans le courant de la même année, la société Stratasys s'est lancée et elle présenta un an après un modèle permettant de créer des objets par dépôt d'une matière liquéfiée, imprimés couche par couche. Ce procédé est nommé FDM (Fused Deposition Modeling) qui est le procédé à l'origine des imprimantes personnelles.

En 1993, le MIT (Massachusetts Institute of Technology) mit au point le procédé 3DP (Three Dimensional Printing). Ce dernier s'inspirait des imprimantes 2D à jet d'encre. Une glu est projetée sur une surface de poudre afin d'imprimer un objet couche par couche. L'entreprise Z Corporation obtiendra le droit d'utilisation exclusif de ce procédé auprès du MIT.

En 1995, trois modèles d'imprimantes 3D seront lancés, la Genisys de Stratasys, l'Actua 2100 de 3D Systems et la Z402 de Z Corporation. C'est le début de l'impression 3D dans les usages. C'est aussi le moment où elle a commencé à entrer dans le langage courant en terme de prototypage rapide. Jusqu'en 2006 l'impression 3D restera cantonnée au monde industriel.

Petit à petit, certains auront l'idée d'étendre le cœur de cible de cette nouvelle technologie au public. C'est ainsi que naissent les sociétés Shapeways (Hollande/USA) en 2007 et Sculpteo (France) en 2009. Ces deux sociétés proposent à tout un chacun d'imprimer ses propres modèles 3D ou de commander les œuvres proposées par d'autres personnes.

De même, nous verrons fleurir d'autres initiatives comme RepRap en 2005 qui est la première imprimante autorépliquante [DOUTRIAUX et al. - 2013]. Nous avons aussi pu voir se développer les FabLab issus de la culture "hacker". Leur principe a été défini par Neil Gershenfeld, professeur au "center of bits and atoms" du MIT en 2001. Ils se veulent un réseau d'ateliers accessibles au plus grand nombre, dans lesquels on peut fabriquer à peu près "n'importe quoi". [WOLF et al. – 2013].

Le marché de l'impression 3D est en pleine expansion et semble tendre vers une phase de transition importante. Nous trouvons des modèles d'imprimantes grand-public pour moins de 500 €. Cela va du modèle à monter soi même au modèle prêt à l'emploi. Nous constatons des fusions comme entre Stratasys et Objet. Les médias se sont emparés du sujet, multipliant les publications. Toute une communauté, un marché, un écosystème s'est créé autour de ce procédé. Pour exemple, le nombre d'imprimantes personnelles est passé de 355 unités en 2008 à 23 265 en 2011 [BERCHON – 2013] et à près de 56 000 unités en 2013 (source Gartner). Nous rencontrons une croissance du marché de 42 % pour l'Europe de l'ouest à 49 % au niveau mondial. En 2013, ce marché représente environ 669 millions de dollars avec

536 millions pour les entreprises et 133 pour les particuliers [GOY - 2013]. Les analystes donnent en prévisions une croissance identique pour l'année à venir. Le marché est donc clairement en pleine expansion.

2.2. Matériaux

Les matériaux se sont très diversifiés ces dernières années, mais certains conservent le haut de l'affiche. Nous pouvons ainsi citer, dans l'ordre, les plastiques, métaux, céramiques et matières organiques.

2.2.1. Plastiques

Les matériaux les plus utilisés sont la résine, le polyamide et l'ABS (acrylonitrile butadiène styrène). Chacun a, en revanche, sa technique de prédilection. La résine est utilisée à l'état liquide en stéréolithographie ; le polyamide à l'état de poudre en frittage laser et l'ABS sous forme de filament avec le dépôt de filament fondu (FDM).

2.2.2. Métaux

C'est la technique ayant la plus forte croissance actuellement. L'impression 3D en métal permet un rendement de presque 100 % de la matière première tout en permettant des économies énergétiques. Certains secteurs comme l'aérospatiale investissent donc fortement dans ce domaine.

Les deux principaux métaux employés sont l'acier inoxydable et le titane pour la méthode additive. Les métaux précieux sont eux fondus avec des moules à cire perdue imprimés en 3D.

2.2.3. Céramiques, sables, bétons

La céramique conserve encore une méthode fastidieuse d'utilisation, mais son emploi est croissant. De la même manière, nous voyons apparaître l'utilisation d'autres matériaux comme le sable ou le béton. Dans le cas du sable, un produit additionnel est nécessaire afin de le lier. L'usage du béton ouvre, quant à lui, tout un univers au secteur du bâtiment.

2.2.4. Matériaux organiques

C'est une branche plus récente mais qui attire de nombreuses recherches. On y trouve actuellement le chocolat, des fromages et des pâtes alimentaires. La NASA a d'ailleurs investi plus de 125 000 \$ en 2013 sur un programme de nourriture imprimée par ces technologies [space.com – 2013a]. Nous en avons aussi entendu parler au niveau du grand public avec les prototypes d'imprimantes à pizzas.

Le milieu médical étudie également activement les possibilités offertes par ces technologies notamment pour la production de tissus ou d'organes. En mars 2013, le chirurgien Anthony ATALA a notamment présenté un rein imprimé à partir de cellules humaines lors de conférences TED [ATALA - 2013] mais aussi des vaisseaux sanguins ou tissus [ATALA - 2011].

2.3. Procédés

Dans tous les cas de figure ci-dessous, nous aurons une machine dite imprimante, composée de divers éléments, mais toujours reliée à un ordinateur équipé d'un logiciel de CAO. C'est ce logiciel qui transmettra les ordres d'impression. Il se chargera, si besoin, de découper le modèle en fines tranches, mais aussi de prévoir des attaches pour des parties mobiles, ou qui pourraient tomber lors de l'impression.

2.3.1. Photopolymérisation

Il s'agit d'un procédé utilisant des polymères liquides se solidifiant à la lumière. Il est à la base de la plus ancienne technique à savoir la stéréolithographie, mais aussi de la technologie DLP et PolyJet.

2.3.1.1. Stéréolithographie

Aussi nommée SLA, elle a été mise au point en 1986 par 3D Systems. On solidifie couche par couche des photopolymères liquides à l'aide d'un rayon laser ultraviolet. L'imprimante est composée d'un réservoir de plusieurs litres de photopolymères liquides, d'une plateforme mobile immergée, d'un laser à ultraviolet et d'un ordinateur muni d'un logiciel de CAO.

L'objet est imprimé couche par couche à raison d'une fraction de millimètre à chaque passage. Une phase de finition sera à prévoir avec un rinçage par un solvant et le passage dans un four à ultraviolets. C'est ce qui permettra de nettoyer l'objet, de dissoudre les attaches du support mais surtout de le solidifier.

Cette technologie est la plus aboutie du marché, mais aussi la plus coûteuse (matériaux, complexité). Elle permet vraiment une grande précision et aussi l'impression de grandes pièces (jusqu'à 2 m). En revanche, le nombre de matériaux disponibles est limité. Les pièces produites demanderont toujours un travail de finition (vernissage, enduit...). Elle est donc surtout utilisée dans un but de prototypage.

Depuis les années 2000, les travaux ont conduit à l'utilisation de cette méthode pour produire des pièces de céramique en mélangeant des poudres céramiques (alumine, zircon, hydroxyapatite...) à une pâte de résine photosensible. Après la polymérisation par le laser et un traitement thermique (déliantage, frittage), on obtient une céramique dense. [Wikipedia - 2013]

2.3.1.2. Procédé DLP

Le DLP ou Digital Light Processing utilise aussi un processus d'exposition d'un polymère à la lumière. La lumière provient d'une puce contenant jusqu'à deux millions de miroirs comme dans les vidéoprojecteurs des salles de conférences.

Contrairement au SLA, où la lumière se déplaçait pour tracer la pièce, ici seul le plateau est mobile sur l'axe vertical. Ce type d'impression est 2 à 5 fois plus rapide. De plus, nous réduisons aussi d'un tiers le coût, tout en conservant une grande précision (0.2 mm à 138µm). Les matériaux sont aussi plus variés. Aux résines, nous pouvons ajouter des cires de moulage.

2.3.1.3. Technologie PolyJet

Ici, nous fabriquons l'objet par jets de photopolymères sur une surface. Un traitement ultraviolet est immédiatement appliqué, solidifiant directement la pièce.

La finition de la pièce se fait par un simple passage à l'eau, afin de nettoyer les attaches de support. Le matériau de support étant un gel soluble à l'eau cette phase est courte. De plus cette technologie permet d'imprimer directement avec plusieurs matériaux.

2.3.1.4. 2PP : l'échelle nanoscopique

La « Two-Photon Polymerization » est une technique qui permet de travailler à l'échelle nanoscopique. Un laser à lumière pulsée est concentré sur une solution photopolymère, la polymérisation n'ayant lieu qu'à l'endroit où la lumière est la plus intense. On peut donc imprimer des objets uniquement visibles au microscope de l'ordre du milliardième de mètre. C'est un procédé qui reste très long.

2.3.2. Liage de poudre

2.3.2.1. Frittage laser

La technologie SLS (Selective Laser Sintering) a été mise au point en Allemagne par la société EOS. On fusionne de fines particules de poudre avec un laser très puissant. Un rouleau applique une fine couche de poudre sur la surface avant que le laser ne la parcourt, fixant une couche de l'objet à créer. Le rouleau applique alors une autre couche et ainsi de suite. Au fur et à mesure de l'impression, le support d'impression descend au sein d'un bac. La pièce sera exhumée de ce carcan à la fin. Cette poudre peut-être de plastique, céramique, verre ou métal. Si elle n'utilise qu'un composant, nous parlerons de Direct Metal Laser Sintering (DMLS), mais elle est, la plupart du temps, au moins composée de deux matériaux.

La précision standard est de 0.1 mm. C'est une technologie économe en matériaux vu qu'on pourra réutiliser la poudre non employée. Les pièces étant en général d'apparence sableuses et rugueuses au toucher, une finition sera nécessaire (suivant l'usage souhaité).

2.3.2.2. E-Beam

La technologie E-Beam ou EBM (Electric Beam Melting) a été mise au point par la société suédoise Arcam. Ici nous avons un laser à électrons qui va fondre une poudre de métal dans une chambre à vide, à une température comprise entre 700 et 1000 °C.

L'EBF, aussi appelée EBDM (Electronic Beam Direct Manufacturing) est une variante de cette technologie qui permet d'imprimer dans des environnements à zéro gravité. Ce procédé a été développé par une équipe d'ingénieurs de la NASA.

Ces méthodes permettent de travailler sur une grande variété de matériaux et notamment de métaux. Dans le cas de l'EBF, nous pouvons réutiliser immédiatement les matériaux non fusionnés pour une nouvelle impression, ce qui n'est pas le cas dans l'EBM où il faudra d'abord les certifier.

2.3.2.3. Technique 3DP

La technologie 3DP ou Three-Dimensional Printing a été inventée par le MIT. Ce principe permet des impressions 3D avec plusieurs centaines de milliers de couleurs. Une plateforme est abaissée successivement et un rouleau y étale une très fine couche de poudre. Une tête d'impression dépose ensuite de minuscules gouttes de glu pour encoller ce matériau. C'est la colorisation, teinte, des glus qui permettent de jouer sur les couleurs. Il faut en général en combiner 4 pour arriver à la couleur désirée. Une fois la pièce imprimée, il faudra la chauffer en finition, et supprimer la poudre excédentaire.

Cette technologie permet aussi de jouer sur la structure des pièces ou d'imprimer des parties de pièce en surplomb. La règle étant de conserver un moyen d'extraire la poudre excédentaire.

Son plus gros avantage est le faible coût de ces imprimantes, en revanche on baisse souvent en qualité d'impression, en précision. Le plus gros défaut est la solidité moindre des objets créés par rapport aux autres technologies, et son aspect en général rugueux.

2.3.2.4. Techniques à jet d'encre

Il s'agit de la technologie la moins utilisée. On y projette de la cire fondue comme matière première. C'est ce qui rend cette technologie particulièrement adaptée à la fabrication de moules. L'objet est solidifié, au fil de l'impression, par application d'une glu. L'inconvénient majeur de ce procédé vient des propriétés physiques des matériaux à utiliser (faible viscosité mais tension suffisante...).

2.3.3. Dépôt de matière fondue : FDM

La technique FDM (Fused Deposition Modeling) ou dépôt de filament fondu a été développée en 1980 par S Scott Crump. C'est la technique la plus connue, notamment grâce au projet RepRap ou aux modèles commercialisés au grand public. Attention l'appellation « Fused Deposition Modeling » et son abréviation FDM sont des marques déposées par la société Stratasys. On trouve comme autres noms pour cette technique FFF (Fused Filament Fabrication) et MPD (Molten Polymer Deposition). Une buse d'extrusion va déposer un filament de matière fondue suivant le fichier de CAO, créant l'objet couche par couche.

Les matériaux utilisés sont en général des thermoplastiques de type ABS ou PLA. Certaines imprimantes acceptent aussi d'autres matières comme des polycarbonates (PC), polycaprolactones, polyphénylsulfones, fromages ou cellules.

Son principal avantage réside dans sa simplicité d'utilisation et sa rapidité. Nous perdons malheureusement beaucoup en précision, en comparaison aux autres méthodes.

3. Débouchés actuels et à venir

Les débouchés de ces technologies sont nombreux et s'adressent à tous les secteurs, comme l'industrie, la mécanique, l'automobile, les jeux, la bijouterie, la santé, l'armement, l'alimentation... Avec leur démocratisation, ces usages explosent. Nous allons en faire un tour rapide afin de voir, non exhaustivement, l'état de l'art et les possibilités offertes ainsi que les pistes de recherches.

Au niveau de l'industrie, nous pouvons produire des objets, même complexes, sans assemblage. Rien qu'au niveau de la fabrication d'outillage, nous avons en général des chaînes spécialisées, les usines s'adaptant à leur production. Ici c'est l'inverse. Nous avons une usine générique et ce sont les objets créés qui vont s'adapter. Nous pouvons aussi bien envisager une production de masse et, dans la même usine, la création de pièces uniques à la demande, sans pour autant remettre en cause tout le processus de production en place.

Nous pouvons, de plus, envisager une réduction des coûts de production. Par exemple pour des objets en métal, avec un mode de production classique, nous avons 80 à 90 % de perte [BERCHON - 2013], alors qu'ici la matière perdue est

réutilisable. Et si le temps d'impression peut être plus long, le gain de temps se fait sur la phase de prototypage.

Nous pouvons aussi citer le monde de la mode qui a commencé à embrasser les possibilités offertes. Nous avons pu voir naître des robes imprimées (tissées) [FOC - 2008] et des robes plus rigides comme celles créées par le Studio XO pour l'artiste Lady Gaga [TATIANA - 2013], ou cet ensemble présenté lors d'un défilé de Victoria Secret cet hiver [DUANN – 2013a]. Nous pouvons aussi citer le monde des accessoires de mode avec cette collection de 12 chaussures uniques par l'artiste Sebastian ERRAZURIZ [ESKIN - 2013] ou de bijoux articulés, qui par extension peuvent aller jusqu'à former des vêtements complets [DUANN – 2013b].

Un autre débouché est l'impression de formes géométriques complexes et imbriquées. On peut ainsi modéliser des fractales, des créations numériques mais aussi nombre de jeux, casse-têtes (puzzles, labyrinthes, rubik's cubes...) [HO - 2013].

Un autre domaine qui semble très prometteur est celui de la santé. Nous l'avons déjà abordé au point 2.2.4 avec les matériaux organiques et notamment les conférences TED de Anthony ANTALA sur l'impression d'organes (reins, valves pour le cœur...) ou de tissus pour aider à guérir. L'impression d'organes fonctionnels apporte beaucoup d'espoir à la communauté médicale, car elle permettrait de ne plus avoir à attendre la disponibilité d'un donneur pour sauver un patient ou pour lui rendre sa vie. De nombreuses autres pistes sont en cours d'étude, comme l'impression d'os ou tout simplement de plâtres aérés et adaptés à chaque patient [NARAMORE – 2013a]. Sur le même principe, de fortes avancées sont rendues possibles pour l'impression d'exosquelettes comme avec le projet « Titan Arm » par exemple [Titan Arm - 2013] ou la création de prothèses adaptées à chacun. Nous pouvons ici citer le projet « Open Hand » [NARAMORE – 2013b], qui suite à un appel aux investisseurs privés (particuliers), a permis de réaliser un prototype fonctionnel de main robotique imprimée pour un petit garçon. C'est un domaine en pleine expansion et si nous n'avons pas encore implanté un patient avec un organe imprimé, nous avons déjà des cas où l'impression 3D a permis de créer un support personnalisé ou des prothèses osseuses mieux adaptées. C'est le cas du petit Nerja qui était né sans nez. Les médecins ont pu imprimer un support spécialement adapté à son cas afin d'aider à la reconstruction de son nez [STARNES – 2013a].

Une nouvelle piste actuellement étudiée est l'impression de crânes ou d'organes afin de réaliser des simulations d'interventions chirurgicales avant la vraie, ou tout simplement de permettre aux étudiants de s'exercer. Cela pourrait permettre de réduire considérablement les risques [MAXEY – 2013a].

Notons que nous utilisons déjà ces technologies depuis plusieurs années dans la création de moulages dentaires ou pour la création de prothèses auriculaires.

Les secteurs de l'aérospatiale ou de l'automobile ne sont pas en reste sur l'utilisation de ces technologies. Au niveau des constructeurs automobiles, cela permet une facilité dans le prototypage, bien sûr, mais aussi la création de pièces personnalisées en masse comme des leviers de vitesse ou des tableaux de bord. Aujourd'hui les avions de lignes commerciales contiennent tous des pièces en métal imprimées en 3D, dans les systèmes de ventilation ou le fuselage, par exemple. De plus l'impression 3D a permis des économies de matériaux et une optimisation des

formes des pièces utilisées en aéronautique. Il est, par exemple, possible de mieux adapter la pièce et de l'imprimer avec une structure en nid d'abeille, ce qui économise du matériau et permet à la pièce d'être plus légère, tout en proposant des caractéristiques physiques équivalentes voire meilleures. L'allègement permet donc a posteriori des économies importantes de carburant.

La NASA s'est aussi emparée du sujet. Nous avons pu le voir dans la partie 2.2.4 sur les matériaux organiques avec la possibilité d'imprimer une grande variété de nourriture, mais nous pouvons aussi citer l'utilisation industrielle. En effet, il a été prévu d'envoyer dans l'espace des imprimantes 3D afin que les astronautes puissent imprimer directement les pièces de rechange nécessaires lors de réparations [TAYLOR REDD - 2013].

Le secteur qui a fait le plus parler de lui, bien qu'il ne soit pas forcément le plus actif est bien sûr celui de l'armement et des armes personnelles imprimées. Comme avec l'aéronautique, nous pouvons déjà trouver des pièces imprimées dans les véhicules, les drones. Mais nous pouvons aussi imprimer des armes comme des pistolets ou des mitraillettes. Si tout le monde se souvient du premier du genre, le « Liberator » [Wikipedia - 2013] dont les plans avaient été libérés sur Internet, il faut savoir que l'industrie de l'armement s'est intéressée à bien d'autres techniques citées plus tôt. Nous avons maintenant des modèles en métal, certes détectables ceux là, mais parfaitement fonctionnels et ce, même dans la durée. Le premier modèle a été un M1911 de calibre 45. Plus de 600 tirs ont été effectués sans incident majeur [MAXEY – 2013b]. Ce modèle va d'ailleurs entrer en phase de commercialisation.

Un autre domaine intéressé est celui de l'alimentation. Il est, en revanche, le plus en retard et ce, même si la NASA s'y intéresse fortement. Pour le moment, nous restons sur un principe d'impression de type FDM et nous nous limitons à des pâtes alimentaires ou des matières malléables (chocolat, fromages...). D'autres solutions sont à l'étude, notamment sur la base d'agrégats cellulaires [STARNES – 2013b]. Cela pourrait permettre de recréer tout type d'aliment en jouant sur la composition moléculaire des cellules.

Un développement intéressant à citer est aussi les solutions d'impression à la demande. Lancées sur Internet en 2007 par Shapeways et en France en 2009 avec Sculpteo, les boutiques en ligne ont connu une forte croissance tant au niveau du chiffre d'affaires, que des matières disponibles (plastiques, métaux...). Si on peut y envoyer nos propres créations pour les faire imprimer, de nombreux artistes, créateurs, n'hésitent pas à vendre leurs créations ou à les proposer gratuitement. Plus récemment, des boutiques physiques se sont ouvertes dans le monde afin d'offrir ce type de service [3ders – 2013a]. Certains constructeurs d'imprimantes ont d'ailleurs signé des accords avec des chaînes de magasins pour que des imprimantes y soient disponibles en démonstration et à la vente [3ders – 2013b]. Mais l'actualité la plus intéressante sur ce point est l'équipement, dans trois bureaux de poste en région parisienne, en imprimantes 3D disponibles au public, lancé, en partenariat avec Sculpteo. Les clients peuvent venir imprimer des objets issus d'un catalogue, ou leurs propres modèles au bureau de poste près de chez eux. Si l'essai de six mois est concluant, ce nouveau service pourra être étendu à d'autres sites [STARNES – 2013c].

Les domaines sont donc variés, de la pièce de rechange à la production personnalisée et peuvent toucher tous les corps de métiers, du civil au militaire, du particulier à l'industrie aérospatiale... De quelques millimètres (voire micromètres ou nanomètres) à plusieurs mètres. Des projets étudient même la possibilité d'imprimer des maisons complètes directement en béton [KHOSHNEVIS - 2012]. C'est-à-dire que nous passerons directement du maquettage, déjà bien utilisé, à la production directe. Les exemples cités ci-dessus nous permettent déjà de nous faire une bonne idée des possibilités s'offrant à nous par ces technologies.

4. Problématiques annexes et évolution des mœurs

La plupart des problématiques rencontrées par l'impression 3D, d'un point de vue technique, semblent se résoudre assez rapidement avec l'engouement pour ces technologies. Par exemple, la création additive à partir de bois ou de verre est encore à un stade expérimental, mais de récentes avancées semblent promettre sous peu un usage industriel avec une impression à partir de pâte de bois.

L'autre point d'achoppement qu'il pourrait y avoir concerne le droit d'auteur. La problématique est la même que pour des fichiers numériques comme les mp3 et la musique par exemple. Un particulier peut-il scanner et reproduire de lui-même un objet pour son usage personnel ? Qu'en est-il s'il se met à commercialiser sa production ? Comment un créateur peut-il protéger une création originale ? Nombre de ces questions se sont retrouvées dans le livre blanc « It will be awesome if they don't screw it up » publié en 2010 par Michael Weinberg [WEINBERG - 2010]. Une grande partie reste encore sans réponse, comme si un vide juridique existait alors qu'il n'en est rien. Il s'agira de statuts à définir sur les libertés de chacun.

Dans le cas de la reproduction d'une pièce, nous pouvons en conclure qu'elle reste soumise au droit d'auteur et à l'autorisation des ayants droit. Et ce, même si le modèle 3D est recréé par un tiers. S'ils mettent à disposition le modèle 3D en ligne, nous pouvons en conclure qu'ils acceptent son impression, voire sa modification. Cela a été le cas pour la coque du Nokia Lumia 820 par exemple.

La création est donc toujours préférable pour éviter ces soucis. En revanche, il nous faudra prêter attention à « l'infraction naïve » qui n'est pas reconnue comme défense valable. Si nous créons un objet déjà existant, alors que nous l'ignorions, cela reste une violation du droit d'auteur. Il nous faut donc nous documenter au préalable. Et pour protéger nos œuvres, le procédé est identique soit par un dépôt de brevet (bien souvent long) auprès de l'INPI ou par le dépôt de fichiers, preuves auprès du même organisme. Il est toujours intéressant de conserver des preuves de tout le processus de création (essais, plans, descriptions...) dans ce cadre.

Les connaissances techniques et informatiques ne semblent plus être un frein sur le développement de ces technologies. En effet les logiciels de CAO sont de plus en plus simples et adaptés à divers publics. Certains professionnels offrant des services en ligne proposent même des logiciels simplifiés pour tout un chacun. De plus nous pouvons trouver de l'aide et du conseil dans les lieux de création comme les FabLab ou Hackerspace par exemple.

5. Conclusion

L'impression 3D est une technologie en pleine expansion. Le cabinet d'études Gartner l'a même placé au sommet de sa courbe des tendances pour l'année 2013. Nous entendons aussi parler de troisième révolution industrielle, y plaçant de grandes attentes. Il est clair que ces technologies nous présentent des perspectives importantes. Nous pouvons y voir la possibilité d'une relocalisation de la production, de réindustrialisation par de micro usines ou structures directement dans les quartiers, auprès des consommateurs. Nous pourrions ainsi simplifier énormément le processus de production passant directement du designer au consommateur économisant transport, stockage et de nombreux intermédiaires. C'est une révolution d'ampleur de la chaîne de production.

Nous avons pu voir que nous avons une forte économie de matière mais aussi un recyclage possible de cette matière. Nous nous ouvrons aussi des perspectives au niveau de la personnalisation, nous orientant d'une production de masse vers une customisation de masse.

Un travail important est néanmoins encore nécessaire avant d'en arriver à cet état. En effet, la vitesse de production actuelle reste trop lente. Il nous faudrait l'augmenter d'un facteur cent pour qu'elle puisse réellement concurrencer efficacement la production de masse. De même, la variété limitée de matériaux et leurs coûts de production freinent encore ce développement. Enfin, certaines formes peuvent être parfois difficilement reproductibles, voire instables, empêchant leur utilisation dans de bonnes conditions de sécurité ou de pérennité.

Il reste donc beaucoup de travail avant que ces technologies ne bouleversent complètement notre environnement, mais il s'agit de technologies d'avenir, dans l'ensemble, révolutionnaires. Les débouchés et possibilités semblent infinis et son attrait intellectuel s'adresse aussi bien aux technophiles qu'aux néophytes.

6. Bibliographie

DOUTRIAX C., KORBER A., GASTFALL U., LEJEUNE J., WOLF A., CARESMEL G., ROLAND ASSILEVI K., DE CASTRO GUERRA E.. REPRAP. Publication sous licence GPL. 71 pages. Consulté le 15.12.2013.

WOLF A., QUINSON C., GEMY C., LEJEUNE J., DOUTRIAX C., KORBER A., GASTFALL U., CARESMEL G., DE CASTRO GUERRA E., ROLAND ASSILEVI K.. 2013. FabLab, Hackerspace, les lieux de fabrication numérique collaboratif. Publication sous licence GPL. 85 pages. Consulté le 14.12.2013

BERCHON M. 2013. L'Impression 3D. Editions Eyrolles. France. 178 pages. Consulté le 15.12.2013

Les ventes d'imprimantes 3D explosent. In Les Numériques. GOY Marine. 2013. Disponible sur <http://www.lesnumeriques.com/imprimante/ventes-imprimantes-3d-explosent-n31279.html> Consulté le 27.12.2013.

How 3D Printers Could Reinvent NASA Space Food . In SPACE.com – Megan GANNON. Disponible sur : <http://www.space.com/21308-3d-printing-nasa-space-food.html> Consulté le 24.12.2013.

Imprimer un rein humain. In TED. ATALA Anthony. 2011. Disponible sur : http://www.ted.com/talks/anthony_atala_printing_a_human_kidney.html Consulté le 24.12.2013

Printing a human kidney. In TED-Ed Youtube channel. ATALA Anthony. 2013. Disponible sur : <http://www.youtube.com/watch?v=bX3C201O4MA> Consulté le 24.12.2013

Stéréolithographie In Wikipedia. 2013. Disponible sur <http://fr.wikipedia.org/wiki/St%C3%A9r%C3%A9olithographie> Consulté le 24.12.2013

Foc textiles in permanent collection at MOMA. In Freedom Of Creation (FOC). 2008. Disponible sur <http://www.freedomofcreation.com/home/foc-textiles-to-permanent-collection-at-moma> Consulté le 25.12.2013.

The 3D Printed Parametric Sculpture Dress by Studi XO for Lady Gaga. In i.materialise. TATIANA. 2013. Disponible sur <http://i.materialise.com/blog/entry/the-3d-printed-parametric-sculpture-dress-by-studio-xo-for-lady-gaga> Consulté le 13.12.2013.

Victoria's Secret Snow Angel Spreads Her 3D Printed Wings. In Shapeways. DUANN. 2013. Disponible sur <http://www.shapeways.com/blog/archives/2383-Victorias-Secret-Snow-Angel-Spreads-Her-3D-Printed-Wings-VIDEO.html> Consulté le 10.12.2013

MakerBot Stories : Sebastian Errazuriz's « 12 Shoes for 12 Lovers ». In MakerBot. ESKIN Blake. 2013. Disponible sur <http://www.makerbot.com/blog/2013/12/11/makerbot-stories-sebastian-errazuriz-makes-12-shoes-for-12-lovers/> Consulté le 11.12.2013.

Nervous System Releases 'Kinematics' Jewelry Customization Apps. In Shapeways. DUANN. 2013. Disponible sur <http://www.shapeways.com/blog/archives/2365-Nervous-System-Releases-Kinematics-Jewelry-Customization-Apps-VIDEO.html> Consulté le 26.11.2013.

3D Printed Puzzles, Mazes, and Brainteasers. In Shapeways. HO Eric. 2013. Disponible sur <http://www.shapeways.com/blog/archives/2392-3D-Printed-Puzzles,-Mazes,-and-Brainteasers.html> Consulté le 17.12.2013.

Cool, lightweight 3D printed braces could replace bulky, itchy plaster casts in the future. In 3D Printer. NARAMORE Cameron. 2013. Disponible sur <http://www.3dprinter.net/bracing-fractures-with-3d-printing> Consulté le 25.12.2013

About Titan Arm. In Titan Arm. University of Pennsylvania. 2013. Disponible sur <http://www.3dprinter.net/bracing-fractures-with-3d-printing> Consulté le 25.12.2013

The Open Hand Project powered by 3D printing gives another Liam a new hand. In 3D printer. NARAMORE Cameron. 2013. Disponible sur <http://www.3dprinter.net/the-open-hand-project-powered-by-3d-printing> Consulté le 25.12.2013

6 Year Old Mongolian Boy Gets 3D Printed Nose Transplant. In 3D Printer. STARNES Travis. 2013. Disponible sur <http://www.3dprinter.net/3d-printed-nose> Consulté le 27.11.2013.

3D Printed Skulls Help Teach Future Brain Surgeons. In Engineering.com. MAXEY Kyle. 2013. Disponible sur <http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/6816/3D-Printed-Skulls-Help-Teach-Future-Brain-Surgeons.aspx> Consulté le 13.12.2013.

How NASA Will Use 3D Printers in Space. In Space.com. TAYLOR REDD Nola. 2013. Disponible sur <http://www.space.com/23532-3d-printer-space-station-video.html> Consulté le 25.12.2013.

Liberator (gun). In Wikipedia. 2013. Disponible sur http://en.wikipedia.org/wiki/Liberator_%28gun%29 Consulté le 25.12.2013.

The First Metal Gun from a 3D Printer. In 3D Printing. MAXEY Kyle. 2013. Disponible sur <http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/6602/The-First-Metal-Gun-from-a-3D-Printer.aspx> Consulté le 08.11.2013.

3D Printing for thanksgiving. In 3D Printer. STARNES Travis. 2013. Disponible sur <http://www.3dprinter.net/3d-printing-for-thanksgiving> Consulté le 28.11.2013.

First 3D printing store in Mexico opens doors. In 3ders.org. 2013. Disponible sur <http://www.3ders.org/articles/20131129-first-3d-printing-store-in-mexico-opens-doors.html> Consulté le 29.11.2013.

It is cool that Office Depot now selling 3D printers. In 3ders.org. 2013 Disponible sur <http://www.3ders.org/articles/20130814-it-is-cool-that-office-depot-now-selling-3d-printers.html> Consulté le 16.12.2013.

French Mail Company To Offer 3D Printing To The Masses. In 3D Printer. STARNES Travis. 2013. Disponible sur <http://www.3dprinter.net/la-poste-3d-prints> Consulté le 27.11.2013.

« Contour Creffing : Automated Construction ». In TED. KHOSHNEVIS Nehrokh. 2012. Disponible sur <http://tedxtalks.ted.com/video/TEDxOjai-Behrokh-Khoshnevis-Con> Consulté le 26.12.2013

WEINBERG Michael. "It will be awesome if they don't screw it up : 3D Printing, Intellectual Property, and the Fight Over the Next Great Disruptive Technology." Public Knowledge. Licence Creative Common. 2010. 16 pages. Consulté le 26.12.2013.

7. Glossaire

Hackerspace : Lieu où se réunit une communauté d'échange, d'entraide, afin de partager leurs valeurs et surtout centres d'intérêts en général autour de l'informatique, du libre, de l'électronique et de la fabrication. Lieux ouverts où on partage le savoir.

FabLab : Contraction de FABrication LABoratory. Lieu de fabrication numérique équipé de machines contrôlées par ordinateur et animé par une communauté d'entraide. L'appellation « FabLab » nécessite l'adoption et le respect de la charte éditée initialement par le MIT.

Photopolymère : Substance synthétique dont les propriétés physiques se modifient au contact de la lumière. En impression 3D, les liquides sont sensibles aux rayons ultraviolets et se durcissent donc au contact d'un laser.

CAO : Conception Assistée par Ordinateur. Regroupe l'ensemble des logiciels, des techniques de modélisation qui permettent de concevoir des objets au moyen d'ordinateurs.

Déliantage : Procédé d'extraction du liant. Ce traitement peut-être, suivant la nature du polymère, thermique, chimique ou une combinaison des deux.

Frittage : traitement thermique permettant de consolider une pièce composée d'un empilement dense de poudre. Il est réalisé dans un four à haute température sous atmosphère contrôlée ou sous vide.

ABS : acrylonitrile butadiène styrène. C'est un thermoplastique fondant entre 200 et 250 °C. Il peut supporter des températures allant de -20 °C à 80 °C. Il en existe de nombreuses variétés aux propriétés multiples. C'est un composé courant qui compose nombre d'objets de notre quotidien comme les ordinateurs ou les Lego.

PLA : polylactic acid ou acide polylactique. C'est un plastique issu de l'amidon de maïs et n'employant aucune énergie fossile. Il faut entre 160 et 220 °C et ne nécessite pas de plateau d'impression chauffant pour une impression à 185 °C. Il est biodégradable, compostable (en composteur industriel) et recyclable. Il peut être de différentes couleurs.

INPI : Institut national de la propriété industrielle. Etablissement public français placé sous la tutelle de 3 ministères il a pour mission de recevoir les dépôts et délivrer les titres de propriété industrielle (brevets, marques, dessins, modèles...), de participer à l'élaboration du droit de la propriété industrielle, de mettre à disposition du public toute information nécessaire pour la protection des titres de propriété industrielle et de centraliser le registre national du commerce et des sociétés.