

L'IMPRESSION 3D : PORTE D'ENTRÉE DANS L'INDUSTRIE DU 21^{ÈME} SIÈCLE



Avec le concours de l'Institut Boostzone



Chambre de commerce et d'industrie de région
Paris Île-de-France
27, avenue de Friedland
F - 75382 Paris Cedex 8
www.cci-paris-idf.fr/etudes
Registre de transparence de l'Union européenne
N° 93699614732-82

Joël ROSENBERG, Conseil général de l'Armement
Pascal MORAND, CCI Paris Ile-de-France
Dominique TURCQ, Institut Boostzone

Début 2014, le ministre de la Défense a missionné le Conseil général de l'armement en vue de procéder à un état des lieux et à un diagnostic de la fabrication additive, ainsi que de déterminer ses enjeux stratégiques et de formuler des recommandations.

Sur cette base, le Conseil général de l'armement a proposé à la CCI Paris Ile-de-France, très engagée dans la mise en œuvre de la « nouvelle industrie », de mettre en place une coopération visant à développer une approche partagée et à réaliser une étude conjointe. Ainsi, put être élargi le projet à l'industrie et à l'économie en général, la fabrication additive étant une technologie transversale.

Nous nous réjouissons de la réalisation et de la publication de cette étude qui met en exergue l'importance que revêt la maîtrise des développements les plus avancés de cette technologie, au même titre que sa diffusion la plus large dans le tissu économique et sociétal.

Destinée aux décideurs publics et privés, elle a vocation à leur faciliter l'appropriation du potentiel substantiel d'innovation inhérent à la fabrication additive et à leur donner les clefs de sa mise en œuvre.

Jean-Paul Herteman
Vice-président
du Conseil général
de l'armement



Pierre-Antoine Gailly
Président de la Chambre de
commerce et d'industrie de région
Paris Ile-de-France



L'impression 3D représente un enjeu industriel, économique, sociétal majeur pour notre pays. Cette étude a pour objet de le caractériser. Elle démontre que la France doit sans attendre mettre en place une véritable stratégie pour en saisir les opportunités à l'image de ce que font déjà la plupart des grands pays industriels de la planète. Elle comporte cinq parties décrivant les principaux volets et défis associés, des recommandations ainsi qu'un corps d'annexes.

UN ÉCOSYSTÈME NOUVEAU SE MET EN PLACE

L'impression 3D n'est pas simplement un ensemble, par ailleurs complexe, de technologies. Elle ouvre la voie vers un nouvel écosystème industriel, économique, scientifique, social, sociétal.

Industriel car elle implique des procédés de fabrication, des matériaux, des logiciels, encore en pleine effervescence créative.

Economique car elle va bouleverser les chaînes de valeur de nombreuses industries, de l'aéronautique à la mode et rendre obsolètes nombres de modes de production de biens et de services actuels.

Scientifique car ces procédés font appel à d'importants travaux de recherche notamment dans les domaines des machines, des matériaux et des logiciels.

Social car elle va demander à tous les acteurs économiques jusqu'au consommateur de revoir leurs positions sur la valeur des savoir-faire acquis et l'urgence pour tous d'en acquérir d'autres.

Sociétal car le grand public averti va développer un accès direct à la production d'objets et la fabrication additive s'inscrit aussi dans la tendance inexorable visant la préservation de notre environnement.

DES PROCÉDÉS, DES MATÉRIAUX ÉMERGENTS

Bien que la fabrication additive ait déjà plusieurs décennies d'existence pour les spécialistes, en particulier en prototypage, elle n'est apparue aux yeux des dirigeants et du grand public que récemment avec l'arrivée sur le marché d'imprimantes de bureau qui ont pu contribuer à faire croire en l'avènement d'une ère de science-fiction où chacun pourrait quasiment imprimer sa voiture dans son garage. Cela dit, ces aspects de gadget ont favorisé la prise de conscience de l'existence de ces technologies. Ce rapport souligne qu'il s'agit d'un saut technologique de par les machines, d'un phénomène aux implications sociales et sociétales importantes de par les Fab Labs par exemple, et enfin d'un possible bouleversement du concept même de certains produits puisque désormais des séries courtes, des pièces uniques et des pièces antérieurement impossibles à fabriquer sont aisément envisageables.

Il faut cependant, pour les aborder de façon sereine, tout d'abord en avoir une vue historique et objective, puis appréhender en quoi les procédés, les machines, les matériaux, même le vocabulaire (un lexique bilingue est fourni au lecteur) doivent être analysés dans le cadre de l'écosystème nouveau. Il faut aussi comprendre que les différents procédés présentent des contraintes et des potentiels différents.

Cette analyse fait l'objet de la partie 1.

DES MARCHÉS EN RÉORGANISATION PERMANENTE

La fabrication additive est une innovation d'origine d'abord industrielle. Elle ne peut exister que grâce à la combinaison complexe de technologies de pointe, depuis les matériaux jusqu'aux machines, aux logiciels de conception et de production. Le développement rapide et en parallèle de ces nombreuses technologies qui peuvent désormais se combiner, et la péremption de certains brevets, expliquent en grande partie pourquoi aujourd'hui on peut voir une croissance vertigineuse des possibilités offertes par ces procédés.

Le marché des concepteurs-fabricants se divise en deux grands blocs, l'un autour des procédés thermoplastiques, l'autre autour des procédés métalliques. Des grands fabricants de machines et de matériaux sont en train d'émerger, principalement aux Etats-Unis, en Allemagne, en Chine. Ce secteur est en pleine effervescence avec des créations de start-up et de nombreuses acquisitions : une consolidation au profit d'acteurs dont la valorisation reste modeste.

L'industrie est actuellement dans une phase de spécialisation, de recherche de sophistication dans les procédés et les matériaux et d'internationalisation.

Face à ce bouillonnement, la plupart des gouvernements s'interrogent sur la meilleure politique publique à inventer pour que les pays restent dans la course et transforment ces nouvelles technologies en avantages compétitifs.

L'une des difficultés rencontrées dans la définition et la mise en place de ces politiques, est qu'il ne s'agit pas simplement de regarder et d'encourager un élément précis de l'écosystème nouveau (comme les machines) mais de voir comment permettre à l'ensemble de l'économie, à la croissance, à la compétitivité et à l'emploi de capter les bénéfices de cette rupture technologique.

A titre d'exemple, les seules estimations sur le volume des industries de machines confirment toutes de très fortes croissances attendues mais cela n'indique en rien la croissance qui peut apparaître chez les utilisateurs des machines. Par exemple, selon le cabinet Wohlers, l'industrie de la fabrication additive (machines, matériaux, services, y compris les conférences, les formations, etc.) a mis 20 ans pour atteindre le premier 1MM\$, en 2006. En 2014, cette industrie représente 4,1 MM\$, soit un taux de croissance de 35,2%. Ce même cabinet (étude mai 2014) prévoit une accélération : 7 MM\$ en 2016 et environ 12,5 MM\$ en 2018, 20 MM\$ en 2020. Un autre cabinet (IHS, étude septembre 2014) envisage une accélération encore beaucoup plus importante, dépassant les 35 Milliards de dollars en 2020. Mais ne regarder que la partie strictement industrie 3D néglige l'ensemble des usages, un peu comme si on regardait l'industrie du transport de personnes à l'aune du nombre d'autobus ou d'avions vendus.

Ces enjeux et leur analyse détaillée par grands joueurs et par grands pays font l'objet de la partie 2.

DES CHAÎNES DE VALEUR NOUVELLES DEMANDENT DE NOUVELLES ORGANISATIONS ET EXIGENT DE NOUVELLES COMPÉTENCES

La fabrication additive bouleverse les chaînes de valeur à plusieurs niveaux.

D'abord, à l'intérieur des chaînes de valeur existantes, elle met dans une perspective nouvelle la réparation, la longueur des séries, la conception de produits jusqu'alors impossibles à fabriquer, l'adéquation fine aux besoins des clients, le recyclage, etc. Ces bouleversements demanderont à court terme de revoir la façon de travailler dans les grands groupes (interdépendance accrue des fonctions) et entre les groupes industriels (remise en cause de la relation client fournisseur, celle-ci devenant plus critique en termes de compétitivité).

Par ailleurs, l'absence d'économie d'échelle dans la fabrication additive, couplée à un coût unitaire potentiellement diminué et à de nouveaux modèles économiques, va induire une reconfiguration du dispositif industriel s'agissant notamment du rôle des PME et des territoires et plus largement du processus de localisation de la production à l'échelle internationale.

Enfin, elle soulève des questions profondes par les interdépendances qu'elle entraîne, liées au fait qu'elle est au cœur de la création d'un nouvel écosystème.

- Les démarches d'innovations doivent désormais intégrer de nombreuses technologies simultanément.
- Les impacts environnementaux comme les enjeux de santé/sécurité des opérateurs, aussi bien des technologies anciennes et nouvelles, doivent en conséquence être reconsidérés.
- La sécurité industrielle et la propriété intellectuelle des procédés, des marques, des designs doivent être revues, notamment parce que la combinaison de l'imprimante 3D et le fait qu'elle fonctionne grâce à des fichiers numériques permet (théoriquement et bientôt pratiquement) la reproduction de produits en tous lieux. Cela entraîne des enjeux analogues à ceux que l'on connaît dans la musique ou l'image mais avec des objets bien réels. Ces enjeux s'ajoutent, en les multipliant, à ceux, déjà bien connus mais souvent mal maîtrisés, de la contrefaçon, par exemple dans l'univers des pièces détachées.
- Par ailleurs, l'ensemble du système éducatif et de formation doit être repensé pour faire face aux implications soulevées par ces technologies, qu'elles soient quantitatives (cette technologie va-t-elle créer ou détruire des emplois ?) ou surtout qualitatives (comment permettre l'adéquation entre les savoir-faire disponibles et les savoir-faire nécessaires ? Comment revoir les programmes d'éducation et de formation ?).

Ces analyses font l'objet de la partie 3.

DES EXEMPLES SECTORIELS CONVAINCANTS

Il est impossible de couvrir tous les secteurs concernés tant ils sont nombreux. Ce rapport s'est focalisé sur des secteurs industriels. Toutefois, il ne faut pas oublier que la plupart des secteurs des services sont impactés de façon directe ou indirecte. Tels la logistique et la distribution (puisque des produits peuvent être plus individualisés ou même fabriqués sur place et non plus transportés), les services juridiques ou la formation (à cause des divers risques et enjeux mentionnés plus haut), les services financiers (la banque et les financements qu'elle accorde, l'assurance avec les risques qu'elle couvre), etc.

Les auteurs du rapport se sont centrés en particulier sur l'aéronautique et l'espace ; la médecine et la santé ; l'architecture, la construction et l'habitat ; le luxe, la mode, les accessoires.

Dans l'aéronautique et l'espace, la recherche d'améliorations du couple (performances, coût) pour chacun des programmes utilise déjà ponctuellement l'impression 3D. Les nouveaux matériaux, l'innovation dans la conception, la supply chain et la réparation représentent les principaux enjeux, avec l'amélioration des procédés pour atteindre la fiabilité requise par cette industrie qui devrait alors massivement utiliser la fabrication additive.

Dans la santé et la médecine, les prothèses en tous genres et la bio-impression sont les grandes innovations en cours. La fabrication additive y est d'ores et déjà très répandue et en accélération.

L'architecture, la construction, l'ameublement et le design intérieur en général, vont voir des nouveaux pans d'activités se développer. Si aujourd'hui la presse se fait l'écho de réalisations qui paraissent être des gadgets, les développements de cette industrie sont très prometteurs, de l'habitat des pays émergents à de nombreuses innovations créatives dans les pays riches.

Le luxe, la mode et le secteur des accessoires sont déjà lancés dans des courses à l'innovation des matériaux et des formes qui laissent imaginer un bouillonnement de créativité à venir. Créatifs et ingénieurs y travaillent à la fois sur des matériaux rigides, souples, aux touches différents ou aux transparences et couleurs nouvelles. En cela, ils constituent des « secteurs laboratoires ».

Bien qu'il soit délicat de faire des recommandations à l'ensemble des acteurs publics et privés dans un domaine où le court terme et l'histoire ne permettent pas d'avoir une vision parfaitement définie du long terme tant la révolution de l'impression 3D sera importante et omniprésente, ce rapport présente plusieurs recommandations qui sont apparues aux auteurs comme essentielles. Elles sont détaillées en partie 5 et listées ci-après.

Recommandation 1 :

Faire vivre une stratégie nationale transverse, multisectorielle, pour développer les technologies avancées de la production

Recommandation 2 :

Favoriser la création d'un institut de la fabrication additive en tant que structure de référence

Recommandation 3 :

Encourager des partenariats public-privé sur des axes essentiels de collaboration afin d'accélérer la clarification des enjeux industriels, scientifiques et sociaux

Recommandation 4 :

Intensifier la recherche et le développement sur les matériaux

Recommandation 5 :

Favoriser le développement des outils numériques spécifiques pour la fabrication additive et permettant les simulations fonctionnelles

Recommandation 6 :

Favoriser le développement de machines dédiées à des applications industrielles et intégrant tous les savoir-faire maîtrisés par les laboratoires et les industriels nationaux

Recommandation 7 :

Ne pas vouloir tout développer dans l'écosystème autour de la fabrication additive et utiliser autant que possible les outils disponibles à travers le monde

Recommandation 8 :

Etre constant dans l'effort comme dans l'adaptation permanente

Recommandation 9 :

Promouvoir une politique européenne en favorisant des rapprochements (JV) sur des technologies, des applications, ou des services nouveaux

Recommandation 10 :

Mettre en place très rapidement des principes minimaux permettant d'assurer la sécurité des personnes, le respect de l'environnement et la garantie de la qualité des produits afin de convertir le principe de précaution en avantage plutôt que de le voir devenir un risque

Recommandation 11 :

Etre présent et prendre position autant qu'il est possible dans les débats internationaux relatifs aux normes

Recommandation 12 :

Encourager les dépôts de brevets sur ces technologies et leurs applications en facilitant la connaissance des procédures auprès des ETI et des PME

Recommandation 13 :

Soutenir les effets du déploiement de l'impression additive dans l'ensemble du tissu économique

Recommandation 14 :

Encourager et permettre l'émergence et l'appropriation des compétences nouvelles exigées par ces technologies

Recommandations 15 :

Amener l'ensemble des entreprises et des territoires à prendre la mesure de l'arrivée de la fabrication additive et les accompagner

Recommandation 16 :

Répondre à l'obsolescence rapide des machines et dépenses de R&D ou de software liées à la 3D par un amortissement fiscal adapté

Recommandation 17 :

Sensibiliser toutes les générations et tout le pays dans son ensemble

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier : les équipes du ministère de la Défense et de la CCI Paris Ile-de-France qui ont collaboré à la réalisation de cette étude et tout particulièrement :

Au sein du ministère de la Défense :

- Philippe Girard, du CGARM, qui s'est plus particulièrement occupé de la partie santé,
- Arnaud Paronian, de la DGA, qui a participé à de très nombreux échanges et points de réflexion,
- Karim El-Aloua, de l'AIA de Bordeaux, qui a été également très sollicité sur toutes les parties techniques et a revu ou co-rédigé certaines d'entre elles.

- Morgane Boulet, graphiste

Au sein de la Direction générale adjointe chargée Etudes et mission consultative de la CCI Paris Ile-de-France :

- Henri Hamon, qui a participé activement à la coordination opérationnelle de l'étude,
- Bernard Cottin, qui a notamment réalisé l'analyse des comparaisons internationales,
- Sébastien Calmont, de l'IRPI, qui a coordonné le groupe propriété intellectuelle,
- Anne Outin-Adam, qui a participé à de nombreux échanges,
- Cécile Cabanes, qui a contribué à sa finalisation,
- Laurence Guillot, qui a assuré la mise en forme du document.

Nous tenons à dire notre reconnaissance à Georges Taillandier, Alain Bernard, Philippe Vannerot, dirigeants de l'Association Française de Prototypage Rapide, avec qui nous avons eu de nombreux et fructueux échanges ; à Frédéric Bouquet, président d'Atos, qui a présidé le groupe de travail « général » ; à Erich Spitz, membre de ce groupe de travail, membre de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies, qui nous a fait bénéficier de sa grande expérience et s'est montré d'une incessante disponibilité pour un dialogue toujours fructueux ; à Frédéric Brunet, membre élu de la CCI Paris Ile-de-France et auteur du rapport « Le numérique, levier d'une nouvelle croissance ».

Nous souhaitons également remercier tous ceux que nous avons auditionnés dans le cadre du groupe de travail « général », dont la liste figure en annexe 2 ; et les nombreux experts, professionnels, utilisateurs avec lesquels nous avons eu la chance d'échanger, tout spécialement les ingénieurs des groupes Airbus, Dassault, Safran qui ont été enthousiastes à partager ces nouvelles perspectives technologiques.

Nous remercions aussi pour nous avoir consacré beaucoup de temps, parmi tant de nombreux interlocuteurs, Pierre Vellay, Yannick Loisanse, Emmanuel Laubriat, Bertier Luyt, Louis Mariani, André Pineau, Therry Rayna, Gérard Laizé, Jean-Louis Fréchin. Que tous ceux qui nous ont aidés, reçus, renseignés, ou qui nous ont fait part de leur expérience soient assurés de notre reconnaissance.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	
L'ÉCOSYSTÈME DE LA FABRICATION ADDITIVE	14
PARTIE 1	
L'IMPRESSION 3D : PROCÉDÉS, TECHNOLOGIES ET MATÉRIAUX	19
I - LEXIQUE	21
II - BREF HISTORIQUE DE L'IMPRESSION TRIDIMENSIONNELLE.....	25
A. UNE INNOVATION NÉE SIMULTANÉMENT EN FRANCE ET AUX ÉTATS-UNIS, ET QUI A PROSPÉRÉ AUX ÉTATS-UNIS.....	26
B. CRÉATION DE 3D SYSTEMS, LA PREMIÈRE SOCIÉTÉ COMMERCIALISANT DES IMPRIMANTES 3D AUX ÉTATS-UNIS	27
C. LES FAB LABS ET L'IMPRIMANTE PERSONNELLE	28
III - LES DIFFÉRENTS USAGES DE L'IMPRESSION 3D.....	29
A. LE PROTOTYPAGE RAPIDE	29
B. DE LA FABRICATION DE PROTOTYPES À CELLES DE PIÈCES ACCESSOIRES, D'ESSAIS, OU D'OUTILLAGES... ..	30
C. ...AU PASSAGE À LA PRODUCTION DIRECTE DE PIÈCES UNIQUES, DE PETITES OU DE MOYENNES SÉRIES	30
D. L'INVENTION DU FAB LAB ET L'IMPRESSION 3D DOMESTIQUE	32
E. LES TECHNOLOGIES DE FABRICATION ADDITIVE : DES TECHNOLOGIES GÉNÉRIQUES QUI VONT SE DÉVELOPPER DANS TOUS LES SECTEURS D'ACTIVITÉ	34
IV – MATÉRIAUX ET TECHNOLOGIES	37
PARTIE 2	
MARCHÉS ET STRATÉGIES : UNE VRAIE DYNAMIQUE À TOUS LES NIVEAUX	45
I - ORGANISATION ET STRUCTURE DU MARCHÉ DE L'IMPRESSION TRIDIMENSIONNELLE.....	47
A. CONTEXTE : APRÈS LA CRISE, UN NOUVEL ÉLAN INDUSTRIEL	47
B. LA RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES ÉQUIPEMENTS DANS LE MONDE	50
1. <i>Trois grands blocs et de nombreux outsiders.....</i>	<i>50</i>
2. <i>États-Unis vs. Europe: fabrication thermoplastique vs. fabrication métallique</i>	<i>52</i>
3. <i>Les types d'usages.....</i>	<i>54</i>
C. DES ACTIVITÉS QUI NE CESSENT DE SE DIVERSIFIER - UN CHIFFRE D'AFFAIRES EN CROISSANCE RÉGULIÈRE FORTE	57
1. <i>Rétrospective : un marché en nette croissance depuis vingt ans</i>	<i>57</i>
2. <i>Évaluation du chiffre d'affaires par procédé et par zone géographique</i>	<i>58</i>
D. LES NOUVELLES TENDANCES CONSTATÉES	62
II - STRATÉGIE INTERNATIONALE DES ACTEURS PRIVÉS : QUELS ENSEIGNEMENTS ?.....	64

III - PANORAMA INTERNATIONAL DES STRATÉGIES MISES EN PLACE PAR LES POUVOIRS PUBLICS : DES BALBUTIEMENTS AUX PLANS STRUCTURÉS, DES SIMPLES ENCOURAGEMENTS À LA COURSE DE VITESSE.....	66
A. LES STRATÉGIES PUBLIQUES NATIONALES : DU SIMPLE ENCOURAGEMENT À UN INTERVENTIONNISME MARQUÉE	68
1. <i>Les Etats-Unis : le « leader historique ».....</i>	<i>68</i>
2. <i>Les « coureurs de fond »</i>	<i>69</i>
3. <i>Les « interventionnistes »</i>	<i>74</i>
4. <i>Les « opportunistes »</i>	<i>76</i>
5. <i>Les « défricheurs ».....</i>	<i>78</i>
B. LA DYNAMIQUE EUROPEENNE : UNE RÉELLE ANTICIPATION, UN ACQUIS INDÉNIABLE... MAIS DES EFFORTS QUI RESTENT À AMPLIFIER.....	79
C. LES AUTRES LEVIERS DE L'ACTION PUBLIQUE : RECHERCHE, DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL, FORMATION, SENSIBILISATION... ET COMMUNICATION	86
1. <i>Des compétences technologiques et universitaires, à la fois initiatrices et courroies d'entraînement des politiques publiques.....</i>	<i>86</i>
2. <i>La dynamique régionale : une réalité qui s'affirme aussi bien aux Etats-Unis qu'en Allemagne qu'en Chine.....</i>	<i>89</i>
3. <i>Former la « nouvelle garde » : un enjeu aussi bien politique que technique.....</i>	<i>90</i>
 PARTIE 3	
CHAÎNES DE VALEURS, NOUVELLES ORGANISATIONS, NOUVELLES COMPÉTENCES.....	93
I – LA CHAÎNE DE VALEUR DU MODE DE FABRICATION ADDITIVE.....	95
II – LES MODÈLES ÉCONOMIQUES DE L'IMPRESSION 3D.....	102
A. LES LOGIQUES DU COÛT UNITAIRE	102
B. LE MODÈLE ÉCONOMIQUE SIMPLIFIÉ	105
C. LE MODÈLE GÉNÉRAL	108
D. EN RÉSUMÉ.....	112
III – INNOVATION, QUALITÉ ET GESTION DES RISQUES	114
A. EXPLOITER AU MAXIMUM L'ATOUT TECHNOLOGIQUE	114
1. <i>Agir sur la chaîne de valeur de la R&D et les « briques technologiques ».....</i>	<i>114</i>
2. <i>Tirer parti des avancées de la recherche européenne</i>	<i>115</i>
B. L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA FABRICATION ADDITIVE	119
1. <i>Réduction du gaspillage : une meilleure efficacité dans l'utilisation des matières premières.....</i>	<i>119</i>
2. <i>L'efficacité énergétique.....</i>	<i>120</i>
C. LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE : POUR UNE PROTECTION DE L'INNOVATION.....	121
1. <i>La place du brevet.....</i>	<i>121</i>
2. <i>Le rôle de la marque.....</i>	<i>123</i>
3. <i>La légitime protection des créateurs</i>	<i>124</i>
D. LA SÉCURITÉ INDUSTRIELLE ET INFORMATIQUE : UN ENJEU POUR CONSERVER DE LA VALEUR	126

IV – RELEVER LE DÉFI DE L'ADAPTATION DES COMPÉTENCES.....	129
A. COMPÉTENCES-CLÉS ET RE-ENGINEERING DE LA CHAÎNE DE VALEUR	129
1. Nouveaux enjeux	129
2. La dialectique du consommateur/acteur	130
B. DES COMPÉTENCES À L'EMPLOI	130
1. L'écosystème des compétences	130
2. Emploi et savoir-faire	131
PARTIE 4	
IMPACTS SECTORIELS : DU CONSTAT À L'ANTICIPATION	133
I - AÉRONAUTIQUE & ESPACE.....	135
A. LA QUESTION DES MATÉRIAUX	136
1. Matériaux thermoplastiques	136
2. Matériaux métalliques	137
3. Les autres types de matériaux.....	146
B. LA CHAÎNE NUMÉRIQUE	147
C. FOCUS SUR LA RÉPARATION	147
II - MÉDECINE & SANTÉ.....	154
1. Les prothèses, orthèses et implants	155
2. La bio-impression	156
3. Le marché de la bio-impression	162
4. Les points clés de la bio-impression.....	164
III - AUTRES SECTEURS	166
A. ARCHITECTURE, CONSTRUCTION, DESIGN	166
1. Architecture et construction.....	166
2. Design et aménagement.....	171
B. MODE, LUXE ET ACCESSOIRES	175
1. Les matériaux souples	175
2. Les matériaux durs	179
3. La bijouterie - joaillerie	180
PARTIE 5	
RECOMMANDATIONS AUX POUVOIRS PUBLICS ET À L'ENSEMBLE DES ACTEURS DE LA FABRICATION ADDITIVE	183
INTRODUCTION.....	184
Recommandation 1 :	
Faire vivre une stratégie nationale transverse, multisectorielle pour développer les technologies avancées de la production	185
Recommandation 2 :	
Favoriser la création d'un institut de la fabrication additive en tant que structure de référence	185

<p> Recommandation 3 : Encourager des partenariats public-privé sur des axes essentiels de collaboration afin d'accélérer la clarification des enjeux industriels, scientifiques et sociaux </p>	186
<p> Recommandation 4 : Intensifier la recherche et le développement sur les matériaux </p>	186
<p> Recommandation 5 : Favoriser le développement des outils numériques spécifiques pour la fabrication additive et permettant les simulations fonctionnelles </p>	186
<p> Recommandation 6 : Favoriser le développement de machines dédiées à des applications industrielles et intégrant tous les savoir-faire maîtrisés par les laboratoires et les industriels nationaux </p>	186
<p> Recommandation 7 : Ne pas vouloir tout développer dans l'écosystème autour de la fabrication additive et utiliser autant que possible les outils disponibles à travers le monde </p>	187
<p> Recommandation 8 : Etre constant dans l'effort comme dans l'adaptation permanente </p>	187
<p> Recommandation 9 : Promouvoir une politique européenne en favorisant des rapprochements (JV) sur des technologies, des applications ou des services nouveaux </p>	187
<p> Recommandation 10 : Mettre en place très rapidement des principes minimaux permettant d'assurer la sécurité des personnes, le respect de l'environnement et la garantie de la qualité des produits afin de convertir le principe de précaution en avantage plutôt que de le voir devenir un risque </p>	188
<p> Recommandation 11 : Etre présent et prendre position autant qu'il est possible dans les débats internationaux relatifs aux normes </p>	188
<p> Recommandation 12 : Encourager les dépôts de brevets sur ces technologies et leurs applications en facilitant la connaissance des procédures auprès des ETI et des PME </p>	188
<p> Recommandation 13 : Soutenir les effets du déploiement de l'impression additive dans l'ensemble du tissu économique </p>	188
<p> Recommandation 14 : Encourager et permettre l'émergence et l'appropriation des compétences nouvelles exigées par ces technologies </p>	189
<p> Recommandation 15 : Amener l'ensemble des entreprises et les territoires à prendre la mesure de l'arrivée de la fabrication additive et les accompagner </p>	189
<p> Recommandation 16 : Répondre à l'obsolescence rapide des machines et dépenses de R&D ou de software liées à la 3D par un amortissement fiscal adapté </p>	189
<p> Recommandation 17 : Sensibiliser toutes les générations et tout le pays dans son ensemble </p>	190

ANNEXES	193
ANNEXE 1 : LETTRE DE MISSION DU CGARM	194
ANNEXE 2 : AUDITIONS MENÉES DANS LE CADRE DES TRAVAUX ENGAGÉS POUR L'ÉLABORATION DE CE RAPPORT	196
ANNEXE 3 : RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL « IMPRESSION 3D ET PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE »	201
ANNEXE 4 : LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES D'IMPRESSION 3D	211
ANNEXE 5 : FICHES ENTREPRISES – PANORAMA INTERNATIONAL	219
ANNEXE 6 : FICHES PAYS	288
ANNEXE 7 : STRATÉGIE INTERNATIONALE DES ACTEURS PRIVÉS	311
ANNEXE 8 : LE RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT : CONTRAINTE OU LEVIER ?	346
ANNEXE 9 : AWA, ALM WITH AFRICA, UN PROJET DE R&D EN PARTAGE TECHNOLOGIQUE AVEC L'AFRIQUE	347
ANNEXE 10 : LES LEÇONS DU CONSUMER ELECTRONIC SHOW (CES) – LAS VEGAS	353
ANNEXE 11 : UN NOUVEAU GÉANT DE LA FABRICATION ADDITIVE MÉTALLIQUE : FIVES/MICHELIN	355
ANNEXE 12 : BIBLIOGRAPHIE	359

INTRODUCTION

L'ÉCOSYSTÈME DE LA FABRICATION ADDITIVE

Ne nous y trompons pas : la fabrication additive conduit à une révolution industrielle. Elle est en passe de transformer très profondément l'industrie et les modèles économiques en général. Sa caractéristique est double : d'une part, elle bouleverse les rapports entre consommation et production en donnant au consommateur un nouvel accès à la réalisation des objets ; d'autre part, elle induit un nouveau mode de production industriel en général sur la base de technologies pouvant requérir des investissements conséquents et une grande expertise.

A. SOUS LES FEUX DES PROJECTEURS

L'impression 3D est au goût du jour ! En France comme ailleurs, elle donne lieu à de nombreux rapports, à un engouement médiatique, à une innovation continue. Quelques auteurs à succès publient des best sellers, mettant en avant les makers dans la révolution industrielle, en d'autres termes l'importance du *Do it yourself*, chez soi ou dans un Fab Lab. Seuls les revues ou medias spécialisés évoquaient ces sujets il y a encore deux ou trois ans mais les médias généralistes ont pris le relais depuis lors et dans le monde entier. Ils accordent une large place à des objets facilement accessibles et ne manquent pas d'évoquer la sortie très fréquente d'une nouvelle machine d'impression 3D – surtout si elle n'est pas uniquement destinée aux professionnels. Car le marché des imprimantes 3D destiné au grand public se développe à un rythme rapide. Certains prédisent qu'à horizon de 20 à 25 ans, ce marché aura, comme la microinformatique, conquis la majeure partie des consommateurs et certaines projections vont jusqu'à prétendre qu'il y aura près d'une imprimante 3D par foyer en 2040 dans les pays développés.

L'impression tridimensionnelle est aussi décrite par différents spécialistes comme une véritable révolution industrielle dont les enjeux vont bien au-delà de ceux que le grand public pourrait porter. La fabrication additive est à cet égard souvent perçue comme l'axe structurant de l'usine 4.0 et le vecteur primordial de la reconfiguration de la chaîne de valeur industrielle et de la relocalisation de la production. D'autres voix soulignent le nouvel équilibre des forces entre le designer et l'industriel, qui verrait le premier prendre l'ascendant sur le second ; ou encore la possibilité désormais réaliste d'une customisation à très grande échelle mettant un terme définitif à la production de masse.

On retrouve ces enjeux industriels majeurs de l'impression 3D dans les stratégies des acteurs. Ainsi, Renault, Peugeot et Dassault Aviation ont-ils coopéré à cette fin dès les années 90 ; des entreprises telles que Safran y accordent la plus grande attention depuis au moins une décennie ; GE investit dans ce domaine des sommes considérables, etc. Et nous n'en sommes qu'à la fin du commencement.

En bref, la fabrication additive concerne absolument tout le monde, y compris les gouvernements qui s'interrogent sur les actions stratégiques qu'il convient de définir et mettre en œuvre, afin de ne pas passer à côté de ce train à grande vitesse qui va bouleverser l'économie comme la société.

Pourtant, la technologie additive n'est pas en soi une innovation de rupture, étant pratiquée depuis plusieurs décennies. Comment expliquer cette accélération ? Quels en sont les enjeux ? Quelles décisions prendre et orientations adopter pour tous les acteurs concernés ? Autant de questions auxquelles cette étude s'attache à répondre.

Il importe préalablement de bien cerner les contours de la fabrication additive et identifier le processus technologique qui lui est associé.

B. UNE FABRICATION PAR SUPERPOSITION DE MATIÈRE : DU FICHIER NUMÉRIQUE À L'OBJET EN DIRECT, OU PRESQUE, UNE RUPTURE TECHNOLOGIQUE VIEILLE DE 30 ANS

Issue des techniques de prototypage rapide et d'impression 3D apparues dans les années 1980, la fabrication additive est une méthode de fabrication assistée par ordinateur définie par les organismes de normalisation nationaux ou internationaux comme étant le procédé de mise en forme d'une pièce par ajout de matière par empilement de couches successives, contrairement par exemple à l'usinage qui agit par enlèvement de matière (fabrication soustractive).

Jusqu'à une période récente, la fabrication additive – au moins sur des objets qui ne relevaient pas de secrets industriels - était restée cantonnée à la production de pièces de petites dimensions et de fonctionnalités d'importance secondaire, mais de plus en plus d'industries telles que l'aéronautique ou l'espace ont commencé à la mettre en œuvre sur des pièces de taille réduite et cherchent à construire des pièces de grande dimension utilisées pour l'assemblage de cellules ou de moteurs d'aéronefs, ce qui impose de respecter des normes rigoureuses concernant des exigences fonctionnelles comme les qualités mécaniques des pièces ainsi fabriquées.

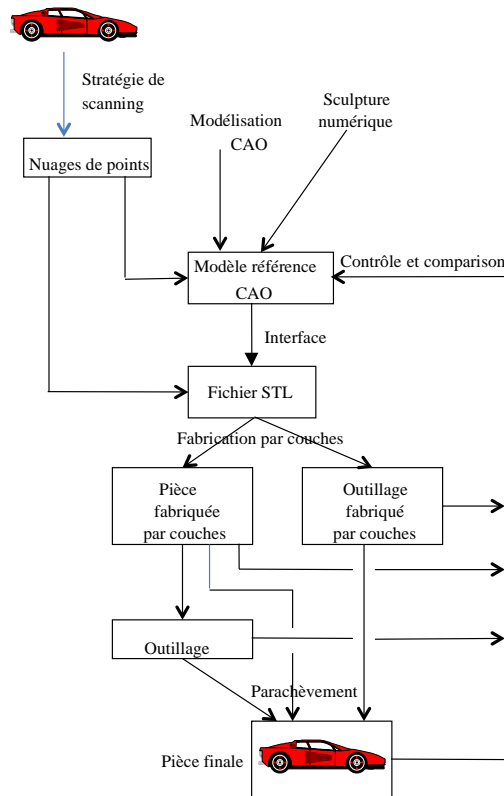
La fabrication additive utilise une grande variété de techniques et de technologies, qui s'appliquent à des familles de matériaux très diverses qui peuvent ainsi être imprimés. Parmi ces matériaux, il y a des matériaux plastiques, de qualités très différentes (fil fondu pour des imprimantes low-cost, comme des matériaux thermoplastiques très résistants pouvant être utilisés dans des applications spatiales par exemple), des cires, du sable, du plâtre, des céramiques, des matériaux métalliques, etc.

Nous donnerons en annexe une description des grandes familles de fabrication additive - citées à la fin du lexique - et des technologies associées, mais l'on peut faire une distinction entre les machines de fabrication additive destinées aux Fab Labs ou au grand public en général peu onéreuses (de 500 € - on annonce même la machine grand public à 150 € - à quelques milliers d'euros), et qui utilisent des matériaux qui ne permettent pas de produire des objets répondant à des exigences fonctionnelles complexes (par exemple, une forte résistance mécanique), et des machines de fabrication additive qui répondent à des standards et des mises en œuvre (pour leur utilisation) professionnels et qui sont beaucoup plus onéreuses. Les machines de fabrication additive en métal permettent de réaliser des objets de haute qualité industrielle, dans des matériaux haut de gamme, leur prix peut aller de 150 K€ à 1,5 M€.

La technologie dite additive permet donc à partir d'un modèle fichier numérique et à l'aide d'une machine utilisant un procédé comme l'extrusion ou la solidification de poudre métallique, polymère et fil polymère, à créer, étape par étape, un objet. On parle d'impression «couche par couche ». L'impression 3D se résume à un dépôt de la matière en fusion, un filtrage sélectif à l'aide d'une source d'énergie, (LASER, résistances, faisceaux d'électrons, ou lumière UV) qui permet de rassembler l'objet et enfin la solidification du matériau lors de la période de refroidissement (sauf dans le cas de la stéréolithographie où intervient un phénomène chimique sur des résines photoréticulables, la polymérisation).

La machine imprime séquentiellement chaque couche, l'une au-dessus de l'autre, construisant ainsi un objet réel à l'intérieur de la chambre de construction de la machine. Une fois que l'imprimante 3D termine la dernière couche, un cycle de séchage court commence. Puis l'objet réel peut-être retiré, et potentiellement subir un traitement de finition si nécessaire (ponçage, cuisson pour la dureté, etc.). Le schéma figurant ci-dessous représente les différentes étapes concourant à la fabrication de l'objet, de l'idée au concret...

SYNTHÈSE DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA FABRICATION ADDITIVE



Source : association française du prototypage rapide

Fabriquer ne consiste donc plus à soustraire de la matière, comme le font les techniques traditionnelles avec le laminage ou l'usinage mais au contraire en ajouter couche par couche afin d'obtenir l'objet final imaginé par les designers.

C. MÉTHODOLOGIE

Une fois actée la coopération entre le Conseil général de l'armement et la Chambre de commerce et d'industrie Paris Ile-de-France, a été mis en place un comité de pilotage que nous avons animé. Un groupe de travail a également été constitué, présidé par Philippe Bouquet, président d'Atos. Ce groupe a procédé à des auditions auxquelles se sont ajoutés de nombreux entretiens avec 130 dirigeants et experts du sujet. Un second groupe de travail a été institué pour traiter de la propriété intellectuelle. Ce « rapport dans le rapport » figure en annexe 3, une partie plus concise étant directement incorporée dans le corps du texte.

Cette étude comprend quatre parties. La première porte sur la technologie et les procédés, qui sont à la source directe ou indirecte de cette profonde mutation. La seconde traite des marchés et des stratégies, tant au niveau des entreprises qu'à celui des Etats. La troisième partie s'intéresse aux modèles économiques et à tous les enjeux qui conditionnent le déploiement de la fabrication additive, tels que la sécurité ou la propriété intellectuelle. Enfin sont examinées dans une quatrième partie les applications sectorielles, pour lesquelles il n'est pas possible d'être exhaustif mais où sont néanmoins couverts des champs très variés tels que l'aéronautique, la santé, l'architecture, le luxe. Enfin, la cinquième partie est consacrée aux recommandations destinées aux acteurs privés et publics.

Pilotage de l'étude :

- Joël Rosenberg, Responsable des études industrielles au Conseil général de l'armement
- Pascal Morand, Directeur général adjoint chargé des études et de la mission consultative de la CCI Paris Ile-de-France, membre de l'Académie des technologies
- Dominique Turcq, Président de l'institut Boostzone, institut de recherche disposant d'une expertise dans les relations entre stratégie d'entreprises, technologies et emplois

Groupe de travail « général » :

Président du groupe de travail :

- Philippe Bouquet, Président d'Atos

Membres du groupe de travail « général » :

- Frédéric Brunet, membre élu de la CCI Paris Ile-de-France
- Philippe Girard, membre du Conseil général de l'armement
- Henri Hamon, économiste à la CCI Paris Ile-de-France
- Pascal Morand, Directeur général adjoint de la CCI Paris Ile-de-France
- Joël Rosenberg, membre du Conseil général de l'armement
- Erich Spitz, membre de l'Académie des Sciences et de l'Académie des Technologies
- Dominique Turcq, Président de l'Institut Boostzone

Groupe de travail “Impression 3D et propriété intellectuelle” :

- Pierre Breese, Président de Fidal Innovation
- Sébastien Calmont, Directeur de l'Institut de recherche en propriété intellectuelle (IRPI) de la CCI Paris Ile-de-France
- Véronique Chapuis, Directrice juridique de l'Association pour la Recherche et le Développement des Méthodes et Processus Industriels (ARMINES)
- Patrice Decande, Avocat au Barreau de Paris, Spécialiste en Droit de la Propriété Intellectuelle et en Droit Economique
- Thierry Maillard, Directeur juridique de la Société Des Auteurs dans les Arts Graphiques et Plastiques (ADAGP)
- Anne Outin-Adam, Directrice des politiques législatives et juridiques, CCI Paris Ile-de-France
- Arnaud Paronian, Bureau de la Propriété intellectuelle, Direction Générale de l'Armement
- Joël Rosenberg, membre du Conseil général de l'armement
- Benoit Van Asbroeck, Avocat associé, Bird & Bird

PARTIE 1

**L'IMPRESSION 3D : PROCÉDÉS,
TECHNOLOGIES ET MATÉRIAUX**

La fabrication additive (FA) désigne **un ensemble de procédés utilisés depuis des années en prototypage rapide**. Grâce aux avancées technologiques, ces procédés de fabrication par ajout de matière sont désormais adoptés pour la réalisation de prototypes fonctionnels, de même que pour la fabrication d'outillage et de produits finis en petites séries.

En 2011, l'Association française de normalisation (AFNOR) a publié la norme unilingue française NF E 67-001, cherchant ainsi à fixer le vocabulaire de la fabrication additive. En vue de faciliter les échanges entre les intervenants du milieu, ASTM² International a publié en 2012 la norme unilingue anglaise ASTM F2792-12a Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies, qui regroupe les procédés de fabrication additive dans sept catégories dont les dénominations ne font pas l'objet d'une propriété intellectuelle. Il faut dire que les marques de commerce composées d'abréviations sont légion dans ce domaine. En 2013 sont publiées deux normes conjointes, soit ISO/ASTM 52915:2013 Spécification normalisée pour le format de fichier pour la fabrication additive (AMF) Version 1.1 et ISO/ASTM 52921:2013 Terminologie normalisée pour la fabrication additive – Systèmes de coordonnées et méthodes d'essai par le comité de normalisation international ISO/TC 261 sur la fabrication additive créé en 2011 par l'Organisation internationale de normalisation (ISO).

Cependant, **aucune terminologie bilingue de la fabrication additive comportant tous les termes définis dans la norme ASTM F2792-12a n'a vu le jour jusqu'à présent**. La synthèse terminologique suivante vise non seulement à combler cette lacune, mais également à enrichir la nomenclature de la norme unilingue anglaise, grâce à l'ajout de termes extraits de corpus précédemment constitués en vue de la réalisation d'une recherche terminologique thématique bilingue sur la fabrication additive.

Note : Les sept catégories de procédés de fabrication additive définies dans les normes ASTM F2792-12a et ISO 17296-2 sont indiquées dans les deux tableaux qui suivent le lexique.

LEXIQUE DE LA FABRICATION ADDITIVE

Définition en langue anglaise	Équivalent en français
3D bioprinter	Imprimante 3D biologique (n. f.)
3D CAD	CAO 3D (n. f.)
3D CAM	FAO 3D (n. f.)
3D printer	Imprimante 3D (n. f.)
3D printing (3DP)	Impression 3D (n. f.)
3D scanning; 3D digitizing	Numérisation 3D (n. f.)
A	
Additive manufacturing (AM)	Fabrication additive (FA) (n. f.)
Additive manufacturing (AM) process	Procédé de fabrication additive (FA) (n. m.)
Additive layer manufacturing (ALM)	Fusion sur lit de poudre
Additive manufacturing file format (AMF)	Format de fichier pour la fabrication additive (AMF) (n. m.)
Additive systems	Machine de fabrication additive (n. f.) ; système de fabrication additive (n. m.)
B - C	
Binder jetting	Projection de liant (n. f.)
CAD driven direct manufacturing ; CLAD® :	Fabrication directe pilotée par CAO (n. f.)
Construction Laser Additive Directe	
Computer-Aided Manufacturing (CAM)	Fabrication assistée par ordinateur (FAO) (n. f.)
Computer-Aided Design (CAD)	Conception assistée par ordinateur (CAO) (n. f.)
Computer Numerical Control (CNC)	Commande numérique par calculateur (CNC) (n. f.)
D	
Digital manufacturing (DM)	Fabrication numérique (n. f.)
Direct digital manufacturing (DDM)	Fabrication numérique directe (n. f.)
Direct energy deposition (DED)	Dépôt de matière sous flux d'énergie

¹ À partir d'une contribution réalisée par Madame Louise Thériault.

² ASTM International est un organisme de normalisation qui rédige et produit des normes techniques concernant les matériaux, les produits, les systèmes et les services. Il a été fondé en 1898 aux États-Unis sous la direction de Charles Benjamin Dudley. Il portait alors le nom de American society for testing and material (société américaine pour les essais et les matériaux). Ses fondateurs étaient des scientifiques et des ingénieurs. Son créateur voulait réduire le nombre de ruptures de rails de chemin de fer qui arrivaient souvent dans cette industrie en pleine croissance. Le groupe développa une norme concernant l'acier utilisé pour la fabrication des rails. Aujourd'hui, ASTM international a plus de 12 000 normes à son catalogue. La publication annuelle du livre des normes ASTM est composée de soixante-dix-sept volumes (source Wikipedia).

DMEC	Dépôt de matière sous flux d'énergie contrôlée (DMEC)
Direct Laser Deposition (DLD®)	Déposition directe par laser
Direct manufacturing (DM)	Fabrication directe (FD) (n. f.)
Direct metal deposition (DMD®)	Procédé DMD® (n. m.) (Dépôt de matière sous flux d'énergie dirigé)
DMD electric arc	Dépôt direct fil par arc électrique
DMD plasma	Dépôt direct fil par procédé plasma
Direct metal laser melting (DMLM)	Procédé DMLM (n. m.)
Direct metal laser re-melting (DMLR)	Procédé DMLR (n. m.)
Direct metal laser sintering (DMLS®)	Procédé DMLS® (n. m.)
Direct plasma manufacturing (DPM®)	Fusion fil par énergie plasma (Dépôt direct fil)
E	
Electron Beam Freeform Fabrication (EBF3)	Fusion fil faisceau d'électron (sous vide), procédé EBF3 (n. m.) ;
Electron Beam Direct Manufacturing (EBDM)	Procédé EBDM (n. m.)
Electron Beam Melting (EBM®)	Fusion par faisceau d'électrons (EBM®) (n. f.) ; fusion locale de poudres par faisceau d'électrons (EBM®) ; (n. f.) ; procédé EBM® (n. m.)
Electron Beam Welding (EBW)	Soudage par faisceau d'électrons (n. m.)
F	
Facet	Facette (de maillage) (n. f.)
Fused deposition modeling (FDM®)	Dépôt de filament fondu (n. m.) ; dépôt de fil fondu (n. m.) ; modélisation par dépôt en fusion (FDM®) (n. f.) ; procédé FDM® (n. m.)
I	
Initial Graphics Exchange Specification (IGES)	Format IGES (n. m.)
L	
Laminated object manufacturing (LOM®)	Procédé LOM® (n. m.) : stratification de couches - Cela peut comprendre dépôt et/ou fusion et/ou découpe de couches de matériau
Laser-aided Direct Metal Tooling (DMT®)	Procédé DMT®
Laser Engineered Net Shaping™ (LENS®)	Le procédé LENS® (n. m.) (procédé de mise en forme par laser, le revêtement par dépôt laser [laser cladding])
Laser melting system	Système de fusion laser (n. m.)
Laser Metal Deposition (LMD®)	Déposition directe métal, fusion par laser
Laser sintering (LS)	Frittage laser (FL) (n. m.)
M	
Material extrusion	Extrusion de matière (n. f.)
Material jetting	Projection de matière (n. f.)
Metal 3D printing; metal 3DP	Impression 3D des métaux (n. f.)
Metal additive manufacturing; metal AM	Fabrication additive à base de métaux (n. f.)
MJM (multi-Jet Modeling)	Projection de matière multiple (plusieurs têtes)
Multi-material 3D printing	Impression 3D multi-matériaux (n. f.)
P	
Powder bed fusion (PBF)	Fusion sur lit de poudre (n. f.)
Precision metal deposition (PMDTM)	Procédé PMDMC (n. m.)
Product Data Exchange Specification (PDES)	Format PDES (n. m.)
Prototype tooling	Outils prototypiques (n. m.)
R	
Rapid prototyping (RP)	Prototypage rapide (n. m.)
Rapid tooling (RT)	Outils rapides (n. m.)
Reverse engineering (RE)	Rétroingénierie (n. f.) ; ingénierie inverse (n. f.)
S	
Selective Heat Sintering (SHS®)	Frittage de poudre par chaleur
Selective laser melting (SLMTM)	Fusion sélective par laser (FSL) (n. f.)
Selective laser sintering (SLS®)	Frittage de poudre par laser, procédé SLS® (n. m.)
Sheet lamination	Stratification de couches (de matériau en feuille) (n. f.)
Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP)	Format STEP (n. m.)
Stereolithography (SL)	Stéréolithographie (SL) (n. f.)
Stereolithography apparatus (SLA®)	Appareil de stéréolithographie (SLA®) (n. m.) ; machine de stéréolithographie (SLA®) (n. f.)
STL (StereoLithography)	Format STL (n. m.)
Subtractive manufacturing	Fabrication par enlèvement de matière (n. f.)
Surface model	Modèle surfacique (n. m.)
T	
Tool, tooling	Outils (n. m.)
V	
Vat photopolymerization	Photopolymérisation en cuve (n. f.)
W	
Wire arc additive manufacturing (WAAM)	Dépôt de matière apportée avec arc électrique, couche à couche, goutte à goutte
Wax deposition modeling (WDM)	Projection de cire, dépôt de cire (application dentaires par exemple).

Les termes techniques validés par la norme ISO 17296 et l'ASTM F2792-12A figurent ci-après. La définition de chacun d'entre eux est explicitée.

Définition en langue anglaise	Équivalent en français
Material extrusion - an additive manufacturing process in which material is selectively dispensed through a nozzle or orifice.	Extrusion de matière : procédé de fabrication additive dans lequel le matériau est distribué de manière sélective par une buse, un jet ou à travers un orifice.
Material jetting - an additive manufacturing process in which droplets of build material are selectively deposited.	Projection de matière : procédé de fabrication additive dans lequel des gouttelettes du matériau fabriqué sont déposées de manière sélective.
Binder jetting - an additive manufacturing process in which a liquid bonding agent is selectively deposited to join powder materials.	Projection de liant : procédé de fabrication additive dans lequel un agent de liaison liquide est déposé de manière sélective pour lier/agglutiner des matériaux en poudre.
Sheet lamination - an additive manufacturing process in which sheets of material are bonded to form an object.	Stratification de couches : procédé de fabrication additive dans lequel des couches de matériau sont liées entre elles pour former un objet.
Vat photopolymerization - an additive manufacturing process in which liquid photopolymer in a vat is selectively cured by light-activated polymerization.	Photopolymérisation en cuve : procédé de fabrication additive dans lequel un photopolymère liquide plongé dans une cuve est durci de manière sélective par polymérisation activée par la lumière (par exemple un rayonnement UV).
Powder bed fusion - an additive manufacturing process in which thermal energy selectively fuses regions of a powder bed.	Fusion sur lit de poudre : procédé de fabrication additive dans lequel l'énergie thermique fait fondre de manière sélective certaines zones d'un lit de poudre.
Directed energy deposition - an additive manufacturing process in which focused thermal energy is used to fuse materials by melting as the material is being deposited.	Dépôt de matière sous flux d'énergie dirigé : procédé de fabrication additive dans lequel l'énergie thermique focalisée sert à faire fondre les matériaux au fur et à mesure qu'ils se déposent.

La norme NF ISO 17296-2 définit 7 grandes familles de procédés de fabrication additive.

Matériaux	exemples de matériaux	Catégories de procédés						
		photopolymérisation en cuve	projection de matière	projection de liant	fusion sur lit de poudre	extrusion de matière	Dépôt de matière sous flux d'énergie dirigé	stratification de couches
polymères thermodurcissables	Epoxy et acrylates	X	X					
polymères thermoplastiques	polyamide, ABS, PPSF		X	X	X	X		X
Bois	papier							X
Métaux	acier, alliages de titane, chrome-cobalt			X	X		X	X
Matériaux céramiques industriels	alumine, zircon, nitrure de silicium	X		X	X			X
matériaux céramiques structurels	ciment sable de fonderie			X	X	X		

L'ensemble de ces techniques permet la fabrication rapide d'un objet à partir d'un fichier CAO³. Le fichier peut être ensuite converti à un format compatible de la commande numérique en charge de l'impression. Le format le plus répandu est le fichier STL. Plusieurs modèles de logiciel de conception 3D existent⁴. Tous ces outils logiciels exportent les modèles 3D sous forme de fichiers aux formats standards pour la commande des imprimantes en 3D. L'impression 3D nécessite des informations supplémentaires à celles utilisées pour les techniques avec commandes numériques classiques telles que l'usinage : matériaux utilisés, couleurs, trajectoires particulières.... A l'image du STL pour l'usinage, il n'existe pas encore de format dédié à l'impression 3D. La norme NF ISO/ASTM 52915 définit un format spécifique à la fabrication additive, le format AMF. Celui n'est pas encore adopté par les industriels. Plusieurs solutions existent et leurs utilisations vont dépendre de la complexité de la géométrie désirée, des choix de l'utilisateur et des compatibilités avec l'imprimante.

³ Tels que SolidWorks®, Autodesk®, Inventor® ou Pro/ENGINEER®.

⁴ Tels que 3D studio max, MicroStation, Mimics, AutoCAD, RaindropGeoMagic, CATIA, COSMOS, etc... Cette liste est non exhaustive.

**TABLEAU RÉCAPITULATIF DES FORMATS LES PLUS UTILISÉS EN IMPRESSION 3D
AVEC LEURS SPÉCIFICITÉS**

FORMAT	GÉOMETRIE 3D	COULEURS	TEXTURES
OBJ (Wavefront)	Oui	Oui	Oui
PLY (Standford)	Oui	Oui	Non
STL	Oui	Non	Non
OFF	Oui	Non	Non
SKP (Sketchup)	Oui	Oui	Oui
KMZ (Google Earth)	Oui	Oui	Oui
3DS (3D Studio)	Oui	Oui	Oui
AC3D	Oui	Oui	Oui
ASE (3D Studio)	Oui	Non	Non
DAE (Collada)	Oui	Oui	Oui
MD2/MD3 (Quake)	Oui	Non	Non
Q3O (Quick3D)	Oui	Oui	Oui
COB (TrueSpace)	Oui	Oui	Non
DXF4 (AutoCAD)	Oui	Oui	Non
LWO (LightWave)	Oui	Oui	Oui
IGES	Oui	Non	Non
STEP (ISO 10303)	Oui	Non	Non
VRML	Oui	Oui	Oui
SCAD (OpenSCAD)	Oui	Non	Non
ZIP ³	Oui	Oui	Oui
RAR ³	Oui	Oui	Oui
TGZ ³	Oui	Oui	Oui

Source : Sculpteo

Aujourd'hui, cette technologie a encore des aspects de technologie émergente, et en même temps de très nombreux objets de toute nature et de qualité ont été fabriqués: Un travail de normalisation a été initié en 2010 au niveau international, auquel participe pour la France l'UNM (Union de normalisation de la mécanique)⁵.

Actuellement ont été publiées par la commission les normes NF E67-001 relative au vocabulaire, NF E67-003 concernant la spécification technique des poudres et XP E67-030 traitant du cahier des charges et des conditions de réception des pièces. Ces travaux de normalisation et de standardisation sont actuellement poursuivis.

On retiendra qu'un format a été choisi comme standard, mais il n'est pas utilisé dans l'industrie alors que coexistent de très nombreux formats de fichiers: **Une « guerre » pour un nouveau standard est (vraisemblablement) annoncée, et celui qui maîtrisera le standard de l'impression 3D pourrait contrôler une bonne partie de ce segment.**

⁵ Regroupant les commissions UNM 920, TC ISO 261, ASTM F42.

II - BREF HISTORIQUE DE L'IMPRESSION TRIDIMENSIONNELLE

LA GENÈSE DE L'IMPRESSION 3D DANS LE MONDE – DATES-REPÈRES

(dates de création des principales entreprises du secteur et de dépôt de leurs premiers brevets)

DATES		
Avant		
1979		
1980		1er brevet de prototypage rapide déposé par Dr. Kodama au Japon
1981		
1982		
1983		
1984	1 ^{er} brevet français (André, de Witte, Le Méauté)	1 ^{er} brevet US (Charles W. Hull)
1985	Procédé stéréolithographie (résine)	Procédé stéréolithographie (résine)
1986		Création de la société 3D Systems
1987		
1988		
1989	Renault, Peugeot, Dassault Aviation font des études conjointes sur l'une des premières machines (stéréolithographie)	La technologie Selective Laser Sintering (SLS) a été brevetée par Carl Deckard, fondateur de Stratasys
1990		
1991	Création des trois premiers centres de compétence en France (CREATE (Centrale Paris), CTTM (Le Mans), CIRTES (Saint Dié des Vosges))	
1992	Création de l'AFPR Association Française du Prototypage Rapide et de la fabrication additive	La technologie Fused Deposition Modeling (FDM) a été brevetée par Scott Crump, fondateur de Stratasys
1993	Fondation de la société Cresilas	
1994		
1995		Première machine à projection de poudre métallique, technologie DMD (USA, financée par l'US Air Force) - Procédés additifs thermoplastiques (SLS, FDM...).
1996		
1997	Création d'Optoform (racheté par 3D Systems en 2001)	Création de la société Arcam
1998		
1999		Des premiers tissus fabriqués en laboratoire sont implantés dans le corps de jeunes patients devant subir une augmentation de la vessie (Wake Forest Institute for Regenerative Medicine)
2000	Création de la société Phenix Systèmes (rachetée par 3D Systems en 2013) – Première pièce thermoplastique (SLS) sur le Rafale (tests)	MCP Technologies introduit la technologie Selective Laser Melting (SLM)
2001		
2002		
2003		
2004	Premiers travaux de recherche (projet PROFIL) sur les technologies métalliques sur financement ANR, première pièce en métal (SLM) sur le Rafale (tests)	
2005		Fondation de RepRap (Dr Adrian Bowyer - Université de Bath)
2006		
2007	Création par l'AFPR des groupes de travail préparatoires à la normalisation - Première pièce série thermoplastique (SLS) sur avion FALCON (DASSAULT)	1 ^{ère} imprimante 3D coûtant moins de 10 000 \$ (3D Systems)
2008		L'imprimante RepRap devient véritablement opérationnelle
2009		
2010		Procédés additifs métalliques pour ébauches (EBF3), à fil.
2011	Création du groupe de normalisation UNM 920	Vol du premier aéronef du monde fabriqué au moyen d'une imprimante 3D (conception : Université de Southampton)
2012	Création de BeAM – Le NEURON utilise, en vol, 53 pièces en métal (SLM) et 40 pièces thermoplastiques (SLS)	« Impression » d'une mâchoire inférieure artificielle personnalisée en trois dimensions (équipe de chercheurs néerlandaise + LayerWise)
2013	Lancement de la société Prodways	Discours sur l'état de l'Union (B. Obama)
		La société Stratasys rachète MakerBot
2014		Commercialisation de machines d'impression d'aliments par 3D Systems et Natural Machine. Le matériau de base est une série d'ingrédients comestibles sous forme liquide mis en forme par une poche à douille automatisée. Le fonctionnement est similaire au fonctionnement d'une « makerbot » alimentaire. Un des derniers secteurs envahi par l'impression 3D est celui de la construction. L'innovation vient de Chine où une entreprise chinoise, Winsun a réussi à imprimer l'ossature d'une maison ou d'un bâtiment à partir de bétons issus de matériaux recyclés. Les gains mis en avant sont un gain de temps important et également un gain en termes de matériaux

Depuis deux ans environ, on constate une explosion dans le nombre de modèles qui envahissent le marché et dans la diffusion de la connaissance du grand public des imprimantes 3D, coïncidant avec le fait que des brevets⁶ sont arrivés à terme, donnant lieu à une multiplication des modèles d'imprimantes de faible prix et un très grand nombre d'initiatives popularisant ainsi cette technologie.

Notons que les derniers brevets très importants qui verrouillaient le frittage laser sont tombés ou sur le point de l'être prochainement, ce qui libérera de nombreuses innovations qui pourront apparaître sur le marché – à l'instar de la profusion de solutions d'imprimantes à filament plastique.

Le Président Obama, dans son discours de l'Union de 2013⁷, a exprimé son enthousiasme à l'égard de cette technologie : « L'impression 3D a le potentiel de révolutionner notre manière de concevoir presque tout ». Il a également annoncé la création du National Additive Manufacturing Innovation Institute (agence dédiée aux innovations de l'impression 3D). L'objectif étant de s'assurer que les emplois industriels d'avenir ne soient plus localisés en Chine mais aux États-Unis. L'écho de cette déclaration s'est propagé dans le monde entier.

Cette prolifération rapide de machines aura nécessairement des conséquences d'obsolescence accélérée, et pourtant, il est nécessaire que nos entreprises puissent au plus tôt prendre les décisions d'acquérir ces matériels pour appréhender ces nouvelles technologies. **La mise en place d'un mode d'amortissement accéléré permettrait de couvrir ce risque, les entreprises pourraient rester compétitives en achetant plus vite les matériels les plus récents.** Ces derniers les rendent plus compétitives grâce aux performances améliorées des nouvelles machines de fabrication additive.

L'absence de telles mesures pénalisera au contraire durablement l'équipement des industriels français.

A. UNE INNOVATION NÉE SIMULTANÉMENT EN FRANCE ET AUX ÉTATS-UNIS, ET QUI A PROSPÉRÉ AUX ÉTATS-UNIS

Il faut d'abord constater que cette technologie, née en France voilà déjà trente ans, n'est donc pas nouvelle. En effet, le premier brevet a été déposé en juillet 1984 par Jean-Claude André (CNRS et Institut Polytechnique de Lorraine), Olivier de Witte et Alain Le Méhauté, ingénieur électrochimiste (centre de recherche de la Compagnie générale d'électricité (CGE, future Alcatel), à Marcoussis. À l'origine, il s'agissait de recherche fondamentale sur la géométrie fractale. Pour réaliser un objet fractal – ce qui est impossible à faire par usinage ou par moulage -, ils ont eu l'idée d'inventer une imprimante 3D. Olivier de Witte travaillait alors sur les lasers à la Cilas, une filiale de la CGE, et a apporté ses connaissances dans ce domaine. Malheureusement, à l'époque, les concepteurs n'ont pas été suivis par les décideurs, et l'aventure française s'est arrêtée. Olivier de Witte sera quelques années plus tard le responsable en France de 3D Systems. L'École Centrale de Paris pourra ainsi récupérer l'une des toutes premières imprimantes⁸ dans le cadre d'un des trois premiers centres de compétences en France, créé en 1991, le CREATE (Centre de prototypage Rapide Européen d'Assistance, Transfert et Expérimentation).

En 1992 l'Association Française du Prototypage Rapide et de la fabrication additive est créée (AFPR).

Cette innovation sera également l'objet d'un brevet en août 1984 par Charles W. Hull aux États-Unis. Cet outil était destiné à faciliter la création, jusque-là fastidieuse, des petites pièces de plastique destinées au prototypage pour la mise à l'essai de nouveaux produits. La technologie est utilisée pour créer une maquette tridimensionnelle à partir d'une image et permet aux utilisateurs de mettre à l'épreuve un concept avant d'investir dans un programme de fabrication plus lourd. Cette machine permettait de créer en quelques heures des objets qui par les méthodes traditionnelles de moulage-coulage auraient été fabriqués en plusieurs mois.

⁶ Des brevets importants relatifs à la fusion de fils plastiques, technologie dite « FDM », (notamment de la société américaine Stratasys) sont tombés dans le domaine public. Ceci explique, pour une assez large part, l'explosion du marché de l'imprimante 3D.

⁷ Voir fiche consacrée aux États-Unis.

⁸ Avec l'aide du Professeur Alain Bernard, co-fondateur en 1992 de l'AFPR (voir plus loin).

B. CRÉATION DE 3D SYSTEMS, LA PREMIÈRE SOCIÉTÉ COMMERCIALISANT DES IMPRIMANTES 3D AUX ÉTATS-UNIS

3D Systems est créé en 1986 aux Etats-Unis, et met au point la première machine de stéréolithographie. Celle-ci utilise un photopolymère qui se solidifie sous l'effet d'un rayon laser UV, un matériau liquide dont la viscosité et la couleur ressemblent à celles du miel et qui permet de fabriquer des pièces tridimensionnelles couche par couche. Bien qu'imparfaite, cette machine démontre que des pièces très complexes peuvent être ainsi fabriquées.

Les premières sociétés de services ou de technologies apparaissent en France : Philippe Hoareau, ancien de Cilas, puis représentant commercial en France de 3D Systems, fondera en 1993 l'une des plus anciennes sociétés de sous-traitance dédiées au prototypage rapide ou à la petite ou moyenne série, Cresilas : il existe aujourd'hui plus d'une centaine de sociétés de ce type en France, comme 3A, Poly-Shape, Initial, MBProto (dont le nom a récemment changé : Volum-e) ou Sculpteo.

Le Dr André-Luc Allanic créera la société Optoform en 1997 et déposera des brevets suffisamment intéressants... ou bloquants pour se faire racheter par 3D Systems en 2001. Philippe Hoareau et André-Luc Allanic créeront ensemble à partir de 2007 une nouvelle machine, qui sera rachetée en 2013 par le groupe Gorgé et qui donnera lieu au lancement de Prodways.

Quelques mois auparavant, 3D Systems avait racheté un fabricant de machines d'impression 3D en matériaux métalliques, la société française Phenix créée en 2000. Depuis une vingtaine d'années, Irepa Laser, (Institut Carnot) de Strasbourg travaille sur un procédé de fabrication additive dénommé CLAD pour matériaux métalliques. Un essaimage sous forme de création de société en 2012, la société BeAM, a repris et commercialise les machines développées par cet institut.

Bien d'autres innovations peuvent être portées par des groupes plus ou moins importants. Ainsi, Hewlett-Packard annonce depuis deux ans la mise imminente sur le marché d'une imprimante 3D révolutionnaire par sa couverture en gamme de matériaux et par sa rapidité : cette machine mainte fois annoncée se fait attendre. D'autres acteurs, plus discrets, auraient mis au point pour leurs besoins propres des machines de fabrication additive au meilleur niveau du marché.

Des expérimentations médicales ont eu lieu depuis près d'une vingtaine d'années pour tenter des avancées en médecine régénérative, financées essentiellement par le gouvernement fédéral américain. L'objectif serait de reconstituer des tissus ou des organes à partir de cellules prélevées sur un patient malade. En 2005, l'un des premiers succès fut de faire repousser un bout de doigt à partir de poudre de vessie de porc, une technique rapidement autorisée par le gouvernement fédéral américain au bénéfice de personnes victimes de brûlures ou d'amputations.

Par ailleurs, des scientifiques du Wake Forest Institute for Regenerative Medicine, largement financé par le ministère américain de la Défense, auraient réussi une implantation d'une partie de vessie fabriquée en laboratoire à partir de cellules humaines. Ces travaux ouvrent la porte au développement d'autres stratégies de recherche sur la génération de fabrication d'organes, et notamment à leur « impression ». Comme ces organes sont / seront fabriqués avec les cellules du patient, le risque de rejet est grandement diminué : c'est l'objet de beaucoup de publications de travaux et un axe prometteur, mais qui reste très difficile et nécessite probablement encore une ou plusieurs décennies de recherche.

Au niveau des groupes industriels français, une première coopération sur la stéréolithographie est entreprise entre 1899 et 1992 par Renault, Peugeot, et Dassault Aviation. Ce groupe réalisera des tests sur des pièces possibles pour l'avion Rafale, la première en thermoplastique (technologie SLS) en 2000, la première en métal (technologie SLM) en 2004. La première pièce de série en thermoplastique sera introduite en 2007 sur un Falcon 900, puis sur le Falcon 2000 et le Falcon 7X. Ce groupe utilise de façon importante ces technologies depuis 2012 sur son drone Neuron, avec 53 pièces métalliques et 40 pièces thermoplastiques, qui ont volé. D'autres groupes, comme Airbus ou Safran s'intéressent à ces technologies depuis au moins une dizaine d'années.

C. LES FAB LABS ET L'IMPRIMANTE PERSONNELLE

Le Dr Adrian Bowyer de l'Université de Bath fonde RepRap en 2005, une initiative open source qui vise à construire une imprimante tridimensionnelle capable d'imprimer la plupart de ses propres composants. La vision sous-tendant ce projet consiste à démocratiser la fabrication en distribuant à bon marché des unités de RepRap à des particuliers partout dans le monde, leur permettant ainsi de créer eux-mêmes les produits qu'ils utilisent tous les jours.

FOCUS : LE PROJET REPRAP

L'année 2008 a marqué un tournant dans l'histoire du "Do It Yourself" (DIY) avec l'apparition et l'essor du projet RepRap. RepRap est une imprimante low-cost 3D, dont les deux premières unités ont été assemblées en mai 2008. Les deux machines ont commencé à imprimer les composants nécessaires au montage d'une troisième RepRap, et ainsi de suite. On estime aujourd'hui à plusieurs dizaines de milliers de RepRap existantes, et la plupart de leurs composants ont été produits par d'autres imprimantes de la même famille, une vision proche de celle de machines auto-répliquantes. L'objectif est de permettre aux entrepreneurs et aux petites entreprises de construire des produits complexes avec un investissement limité, un kit coûte moins de 500 USD notamment dans les régions en développement. Le projet RepRap est totalement open source : la totalité des composants (hardwares, électroniques et logiciels) ne sont protégés par aucun brevet. De cette manière, de nombreux particuliers produisent et vendent des imprimantes 3D en ligne, soit sous la forme de kits assemblables, soit sous celle de modèles déjà assemblés et testés. Les innovations sur les imprimantes RepRap sont ainsi plus nombreuses que la plupart des imprimantes 3D traditionnelles. C'est l'un des avantages directs de la philosophie open source : des communautés sans frontières échangent et développent de la recherche, des pratiques et des produits.

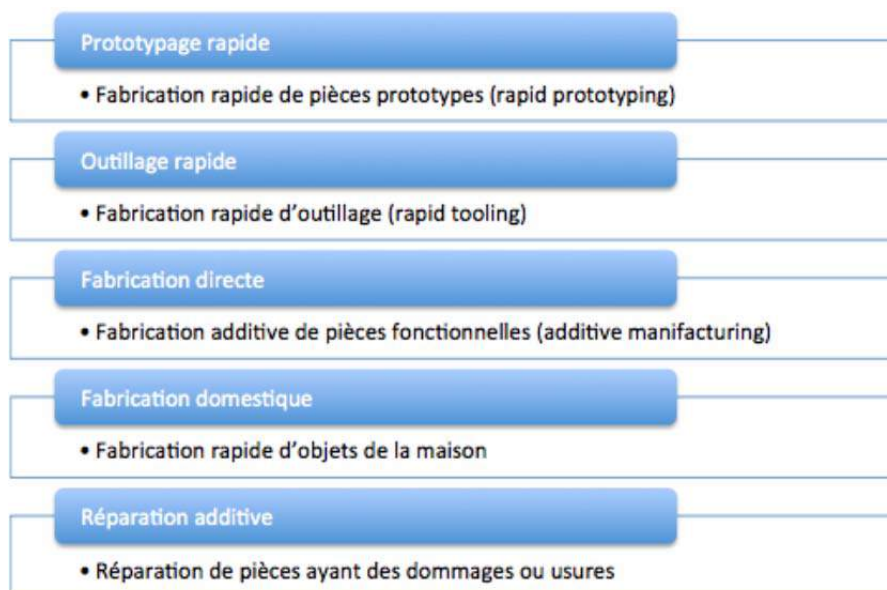
Peu après sa création, le projet RepRap lance Darwin, la première imprimante auto-répliquante capable d'imprimer la grande majorité des pièces nécessaires à son fonctionnement, ce qui permet aux utilisateurs qui possèdent déjà une de ces imprimantes d'en fabriquer d'autres pour leurs communautés. Shapeways lance en 2008 une opération bêta privée pour un nouveau service et une nouvelle communauté de création collective qui permettra à des artistes, des architectes et des concepteurs de transformer à peu de frais leurs concepts en objets tridimensionnels concrets. La même année, MakerBot Industries, une société de matériel d'imprimantes 3D à source ouverte, met sur le marché des trousseaux d'auto-fabrication qui permettent à leurs acquéreurs de fabriquer leurs propres imprimantes 3D et leurs propres produits.

En 2011, des ingénieurs de l'Université de Southampton conçoivent et font voler le premier aéronef du monde fabriqué au moyen d'une imprimante 3D. Cet aéronef sans pilote est construit en sept jours moyennant un budget de 5 000£. L'impression tridimensionnelle a permis la construction d'un avion doté d'ailes elliptiques, une caractéristique normalement très coûteuse qui contribue à améliorer sa finesse aérodynamique et réduit la traînée induite. Egalement, lors de la conférence TEDxWinnipeg au Canada, KorEcologic dévoile Urbee, un prototype d'automobile élégante et écologique dont la carrosserie a été entièrement fabriquée par une imprimante tridimensionnelle. Éco-énergétique, la Urbee revendique par ailleurs une faible consommation de carburant de l'ordre de 2 litres aux 100 kilomètres, mais ses conditions de commercialisation ne sont pas encore bien définies. Enfin, i.materialise devient le premier service mondial d'impression tridimensionnelle à offrir des services d'impression au moyen de matériaux comme l'or 14 carats et l'argent, ce qui pourrait offrir aux joailliers une nouvelle option de fabrication.

En 2012, à l'aide d'une imprimante tridimensionnelle fabriquée par LayerWise (société issue de l'université de Louvain, en Belgique, rachetée par 3D Systems en 2014), des médecins et ingénieurs des Pays-Bas « impriment » une mâchoire inférieure artificielle personnalisée en trois dimensions qui est ensuite greffée à une femme de 83 ans souffrant d'une infection chronique des os. Cette technologie fait actuellement l'objet de recherches afin de voir s'il serait possible de l'utiliser pour faciliter la croissance de nouveaux tissus osseux

III - LES DIFFÉRENTS USAGES DE L'IMPRESSION 3D

Les technologies de fabrication additive suscitent l'engouement de diverses industries et se retrouvent dans de nombreuses structures, privées et commerciales, aux vocations multiples : prothèses médicales, prototypes de produits extrêmement divers, pièces de petite série ou uniques pour le domaine spatial (par exemple télescopes pour la NASA), maquettes d'architecture, éducation, nourriture, etc. Les différentes applications de l'impression 3D sont nombreuses, notamment dans les secteurs de la grande consommation, du divertissement, de la recherche et de l'industrie. Une forte demande provient aussi du secteur des petites entreprises qui cherchent à se développer grâce à l'impression 3D.



Pour désigner l'impression 3D dans ce rapport, nous utilisons les termes « impression 3D », « fabrication additive » (FA) ou sa traduction anglaise « additive manufacturing » (AM). Pour les spécialistes, ces deux derniers termes sont réservés aux applications professionnelles, notamment aux machines à lit de poudre à vocation très industrielles, (matériaux thermoplastiques ou métalliques). Le terme « impression 3D » étant plutôt attribué aux imprimantes plus simples, telles que celles dont la presse parle tous les jours.

A. LE PROTOTYPAGE RAPIDE

Le prototypage de nouveaux produits ou d'amélioration de produits existants est l'application commerciale la plus développée à l'heure actuelle, couvrant près de 70% des transactions marchandes totales de l'impression tridimensionnelle⁹. Les clients potentiels de cette technologie sont d'abord des professionnels qui produisent à petite échelle et peuvent ainsi maîtriser toute la chaîne de production. Le prototypage 3D fournit aux designers, ingénieurs et même aux consommateurs un moyen idéal de première production d'objets fonctionnels. Cela leur permet ainsi de manier et de tester les produits. Les ingénieurs peuvent s'apercevoir plus facilement des anomalies à corriger et sont en mesure d'optimiser facilement leur projet. Les imprimantes donnent ainsi vie aux concepts et aux créations très en amont dans le cycle de design.

⁹ Cf. Etude Wohlers.

B. DE LA FABRICATION DE PROTOTYPES À CELLES DE PIÈCES ACCESSOIRES, D'ESSAIS, OU D'OUTILLAGES...

<p>Dans de très nombreux secteurs, l'impression 3D s'est progressivement tournée du prototypage vers la production d'outils pour les processus de fabrication, dans des secteurs très divers, la construction mécanique, l'aéronautique, la défense et l'espace, la production de verres de très haute précision, l'entretien de voies ferrées, par exemple.</p>	<p>Témoignage : Louis-Romain Joly, coordinateur des Ingénieries, Maintenance SNCF :</p> <p><i>« La fabrication additive est un sujet que nous considérons avec intérêt, même si nous ne l'avons pas pour le moment intégré, autrement que dans le dépannage de notre supply-chain. Par exemple, nous avons fait réaliser en fabrication additive des pièces de visserie pour nos matériels roulants en fabrication additive et nous avons fait tester en laboratoire sans intégrer pour le moment les éléments produits (nous avons des centaines de référence et il n'est pas toujours facile de se réapprovisionner dans les délais). Dans d'autres cas, nous avons fait fabriquer en matériaux organiques, toujours en fabrication additive, certaines petites pièces ou des supports quand nous ne trouvons plus d'approvisionnement dans des délais raisonnables ».</i></p>
--	--

C. ...AU PASSAGE À LA PRODUCTION DIRECTE DE PIÈCES UNIQUES, DE PETITES OU DE MOYENNES SÉRIES

La production de pièces uniques, de petites ou de moyennes séries (plusieurs milliers de la même pièce par an) est déjà une réalité, et cela dans des matériaux et des secteurs variés. Ces applications directes de fabrication connaissent une très forte croissance, qu'elles soient à applications industrielles ou à applications plus individuelles (mais on ne parle forcément des mêmes technologies mises en œuvre, ou machines d'impression 3D, ou matériaux) : sur un plan plus professionnel, de nombreux industriels s'équipent ou considèrent s'équiper de machines pour passer certaines pièces produites en fabrication additive, des start-up, des entrepreneurs font réaliser chez des sous-traitants offrant des services d'impression 3D de très nombreux objets, qu'il s'agisse de pièces, composants, ou objets finaux, qu'ils revendent à d'autres entreprises ou à directement à des particuliers.

La possibilité de concevoir et d'imprimer des objets à la demande, selon un schéma de fabrication distribuée, novateur par rapport aux chaînes classiques de production (du moins, dans un très grand nombre de secteurs industriels, ou pour des produits directement destinés aux consommateurs, mais à faible production), a le potentiel de modifier les situations existantes (un exemple parmi tant d'autres, le secteur aéronautique). Les acteurs dont le modèle d'affaire repose sur une production de masse, désormais fragmentable en productions locales devront savoir s'adapter face à l'émergence de nouveaux entrants, l'apparition de services novateurs et donc une nouvelle distribution de la création de valeur. Le profil des acteurs du secteur manufacturier va évoluer en conséquence : des technologies 3D accessibles à moindre coût ouvrent notamment la voie aux développeurs, entrepreneurs et investisseurs de taille plus modeste.

L'imprimante 3D permet aussi d'innover dans un mode de production totalement inconnu jusqu'alors qui consiste à produire la même pièce sur plusieurs machines à travers le monde, rendant ainsi possible des séries très courtes (voire une pièce unique par machine) mais en de nombreux points et donc finalement des séries moyennes. Le design peut-être propriétaire, mais il existe aussi de très nombreuses bibliothèques comportant des milliers, et bientôt des millions de fichiers dont une grande partie est en open source, les modifications peuvent être ad hoc, la production peut être éclatée. Il s'agit donc d'une production qui peut-être locale, distribuée et cependant significative en agrégeant toutes ces composantes (i.e. les impressions locales) dans le temps.

L'illustration la plus frappante pour le grand public (symbolique, vertueuse = biens communs) de ce phénomène est l'impression de prothèses de bras ou de mains, à très faible coûts, soit à partir de quelques modèles déjà mis au point, soit adaptées à chaque utilisateur, mais produites en de nombreux Fab Labs (voir l'annexe 9 sur le développement de Fab Labs en Afrique, initiative à l'origine d'un passionné et qui est aujourd'hui appuyée par son employeur, Airbus Defense&Space).

CLÉMENT MOREAU, CEO DE SCULPTEO

« On observe un virage très fort du marché vers du B2B : Plus que du prototypage, la tendance forte ressentie par Sculpteo en 2014, c'est la fabrication de l'objet unique, préséries, petites séries de pièces allant de quelques dizaines, centaines à quelques milliers. Une tendance très forte. C'est l'émergence très soudaine, mais très forte, de nouveaux entrepreneurs en hardware, très agiles, très inventifs : objets de petite dimension, qui peuvent être des coques, des boîtiers dédiés de composants électroniques, des objets créatifs... »

Ils permettent à des entreprises naissantes de se développer avec peu de moyens, de l'ingéniosité, des outils numériques, peu de fonds propres. Une révolution dans la fabrication est en marche (les marchés asiatiques, notamment chinois ne sont accessibles qu'aux gros volumes, voire aux leaders d'un segment).

La fabrication additive va permettre l'émergence de nombreuses sociétés et entrepreneurs qui fabriqueront/feront fabriquer, notamment en France : en 2014, ce sont des centaines de milliers de pièces qui ont été ainsi fabriquées par Sculpteo. Tout est fabriqué en France, dans les Pyrénées et en région parisienne, et 25% des produits sont exportés aux États-Unis, où Sculpteo a un très fort taux de pénétration. Sculpteo a développé des outils logiciels qui lui sont propres et dédiés, qui facilitent la description de l'objet par l'utilisateur et qui permettent une production précise et de qualité, ce qui est finalement peu courant sur le marché américain ».

Sculpteo a annoncé en avril 2015 une levée de fonds de 5 M€ pour accélérer son développement international.

Il faudrait se rappeler les balbutiements d'internet il y a une vingtaine d'années. Tout était gratuit, et dans la main de passionnés qui défrichaient, communiquaient sur leurs passions ou leurs découvertes. Puis, ils se sont mis à innover sur des modèles d'entreprises et le web s'est ainsi structuré et professionnalisé. On peut donc évidemment faire un parallèle avec le profond gisement en innovations que va entraîner la fabrication additive et la multiplication de nouveaux modèles d'affaires. Il s'agit d'une nouvelle révolution dans la machine-outil, la finalité demeure de fabriquer des objets. Révolution du numérique, certes, mais en interpénétration avec le monde physique : les industriels, joueront, avec les start-up, un rôle prépondérant comme acteurs de cette révolution, mais il va de soi que les services innovants et bien d'autres secteurs (fabricants de poudres ou de softwares, designers...) sont également des acteurs-clé et saisiront toutes les opportunités.

Des contraintes subsistent cependant : plus de souplesse dans la capacité à produire, mais des différentiels de prix qui peuvent être importants sur les machines comme sur les matériaux pouvant être utilisés, suivant la situation de compétition de ces produits. Enfin, il faut avoir certaines qualifications pour utiliser ces machines, tant pour concevoir l'objet (utilisation d'interfaces numériques) que pour le fabriquer avec un certain degré de qualité (maîtrise de la machine et de l'ensemble de la chaîne de fabrication, qui, suivant le procédé, peut-être peu, moyennement, ou excessivement complexe).

Globalement, de nouveaux savoir-faire se révèlent donc nécessaires tout au long de la chaîne de valeur, et pas seulement autour de la machine. Les ruptures peuvent avoir lieu dans de très nombreux domaines (voir le chapitre des applications).

Un marché de fusion – acquisition déjà très actif, indiquant des perspectives de croissance forte

De nombreux acteurs se positionnent aujourd'hui sur le marché de la fabrication additive. Au-delà des fournisseurs d'équipements leaders comme 3D Systems Corp., Stratasys ou le suédois Arcam, d'autres géants s'attaquent aux perspectives de croissance très fortes que paraissent présenter ces technologies, en ciblant des segments différents : Amazon a lancé son site d'e-commerce permettant d'échanger des fichiers CAO, eBay a inauguré en 2013 une application permettant de se procurer des objets 3D. MakerBot, l'un des leaders de l'impression 3D à destination des particuliers, a été racheté en août 2013 par Stratasys pour près de 600 Md\$. Fusions-acquisitions (les deux leaders 3D Systems et Stratasys font en moyenne une quinzaine d'acquisitions par an depuis plusieurs années), entrées en bourse, nouvelles start-up : le paysage de l'impression 3D bouillonne.

Un segment stratégique : la fabrication additive

Un segment plus stratégique est celui des fabricants de machines ALM (fusion sur lit de poudre, à vocation très industrielle, matériaux thermoplastiques ou métalliques). Rappelons que pour les spécialistes, il ne faut pas confondre (comme nous le faisons parfois dans le rapport) les machines qui ont des applications de qualité industrielle et qui sont désignées comme **machines de fabrication additive (FA)** – en anglais additive manufacturing (AM) – et l'impression 3D.

Le sous segment ALM est particulièrement sensible car il implique de maîtriser toute la chaîne de fabrication : de la poudre à la pièce livrée conforme aux spécifications.

Le rapport Wohlers (2013) donne ces indications intéressantes. Progression en Europe et en Chine des constructeurs de moyens ALM :

Europe : en 2003 = 7 constructeurs,	en 2013 = 16
Chine : en 2003 = 3 constructeurs,	en 2013 = 5
USA : en 2003 = 10 constructeurs,	en 2013 = 5
Japon : en 2003 = 7 constructeurs,	en 2013 = 2

Source : rapport Wohlers (2013)

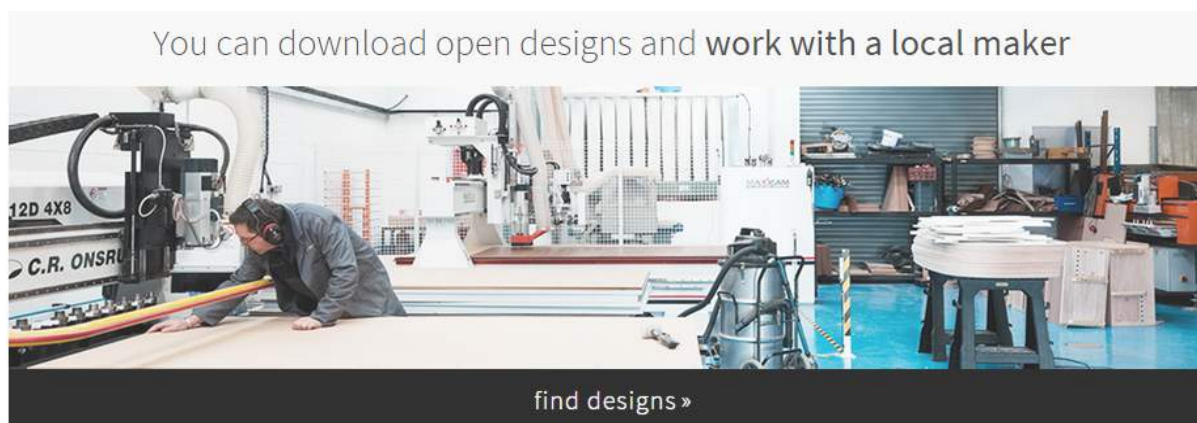
La joint-venture annoncée par Michelin/Fives le 7 septembre 2015 constitue un nouvel acteur en Europe de premier rang par la maîtrise affichée de sa technologie et la taille de ses actionnaires (voir annexe 11).

D. L'INVENTION DU FAB LAB ET L'IMPRESSION 3D DOMESTIQUE

Dans un autre registre, les laboratoires et les workshops du type Fab Labs – nés au MIT – se développent de manière accélérée aux Etats-Unis mais également en Europe. L'idée est de créer une nouvelle génération de « Do It Yourself », d'artisans, d'amateurs et de passionnés, dans des espaces de travail et de bricolage partagés ou communautaires. En utilisant les services d'impression 3D à leur disposition soit directement grâce à leurs propres imprimantes 3D *low-cost*, soit en ligne en s'appuyant sur la multitude de services à disposition - le potentiel de création est immense, et probablement nous n'en sommes qu'aux balbutiements de son exploration. Aujourd'hui, reproduisant les communautés qui ont développé les « logiciels libres », la mode est au développement du « matériel libre ».

L'EXEMPLE D'OPENDESK

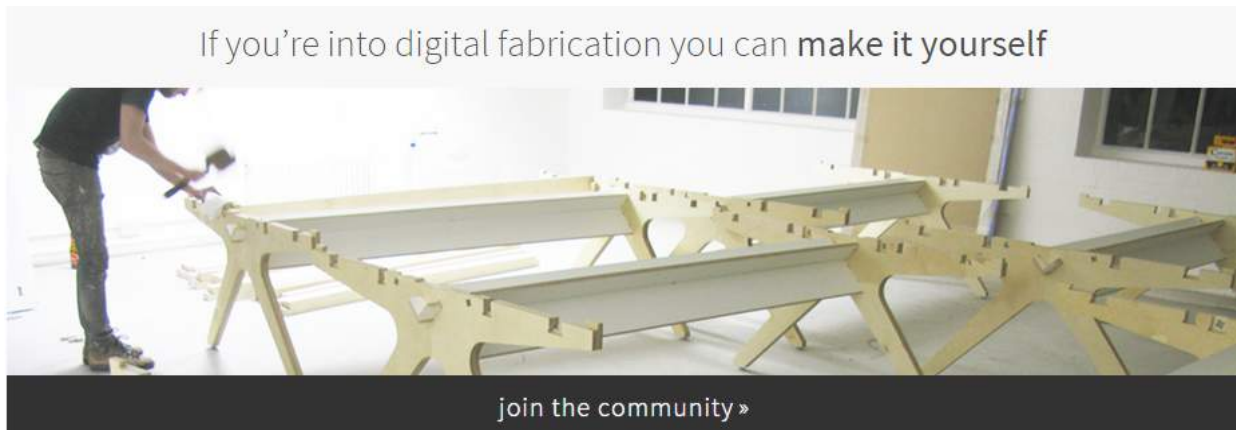
Cette entreprise britannique propose du mobilier de bureau « prêt à l'emploi », créé par des designers, qui ont laissé en mode open source leurs modèles.



Source : Opendesk

« Opendesk.cc » est un site Web original à double titre. D'abord, son nom de domaine en .cc est celui des îles Cocos (Costa Rica), mais il signifie ici Creative Commons, un système de licences utilisé, entre autres, par les adeptes de l'« open source » hardware. Ce concept de « matériel libre » constitue la seconde particularité d'Opendesk : sur ce site de mobilier, on peut télécharger gratuitement les plans numériques de bureaux, chaises et autres rangements conçus par des designers. Une fois le fichier PDF en main, vous pouvez librement modifier le meuble. Puis, si vous en avez le courage, le fabriquer vous-même ».

Ainsi, des bibliothèques de millions d'objets vont être accessible à travers le web et on l'on pourra réutiliser des fichiers de pièces, les modifier, s'échanger des pratiques. Le vrai souci sera de fabriquer des objets correspondants, car les imprimantes 3D peu coûteuses et accessibles à un particulier aujourd'hui avec les matériaux organiques disponibles ne sont pas aujourd'hui adaptées à la fabrication d'objets pérennes dans le temps. Pour réparer, fabriquer des pièces de rechanges, créer des meubles, bref produire des pièces avec un certain degré de qualité et de durabilité, il faut pour le moment d'autres équipements et un savoir-faire notamment dans la finition des objets qui relèvent plus du professionnel (de l'industriel, voire de l'artisan converti à ces nouveaux modes de production) – ou de l'amateur vraiment très éclairé. La recherche sur de nouveaux matériaux plus performants et de nouvelles machines permettra peut-être le « *do it yourself* » d'objets utilisables pour notre quotidien, mais pour la plupart de ces objets, nous n'en sommes pas à ce type de production à la maison.



Source : Opendesk

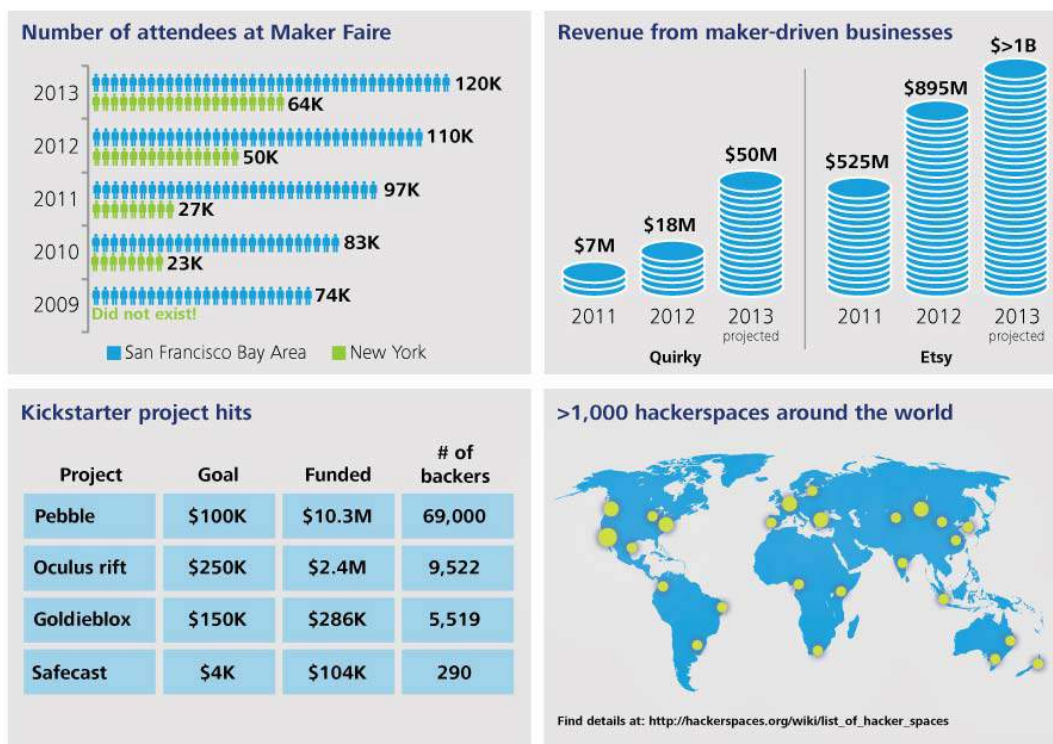


Source : Opendesk

Le même concept est décliné dans le domaine de la fabrication de maison avec la communauté www.wikihouse.cc (share global, print local) – voir les pages « secteur de la construction ».

L'EXEMPLE DES MAKERS

Le mouvement des « makers », vu par Deloitte¹⁰ : une dynamique irrésistible !



Sources: Top left: "Makezine blog, Maker Faire overview," Make, <http://cdn.makezine.com/make/sales/Maker-Faire-Overview.pdf>, accessed January 15, 2014. Top right: J.J. Colao and Emily Canal, "America's most promising companies," *Forbes*, February 6, 2013, <http://www.forbes.com/companies/quirky/>, accessed January 15, 2014; Josh Dean, "Is Quirky the world's most creative manufacturer?" *Inc.*, <http://www.inc.com/magazine/201310/josh-dean/is-quirky-the-worlds-most-creative-manufacturer.html/3>, accessed January 14, 2014; Mathew Flamm, "Handmade goes big: Etsy nears \$1B in sales," *Crain's New York Business*, January 28, 2013, <http://www.craigslist.com/article/20130128/TECHNOLOGY/130129904>, accessed January 15, 2014; Etsy Company, "Press: Weather reports," <http://www.etsy.com/press>, accessed January 15, 2014. Bottom left: Kickstarter, "Pressroom," <http://www.kickstarter.com/press?ref=footer>, accessed January 14, 2014. Bottom right: Hackerspaces wiki, "List of hacker spaces," http://hackerspaces.org/wiki/List_of_Hacker_Spaces, accessed January 15, 2014.

Graphic: Deloitte University Press | DUPress.com

E. LES TECHNOLOGIES DE FABRICATION ADDITIVE : DES TECHNOLOGIES GÉNÉRIQUES QUI VONT SE DÉVELOPPER DANS TOUS LES SECTEURS D'ACTIVITÉ

Le potentiel de création est d'autant plus important que l'impression tridimensionnelle est une technologie totalement générique, qui permet par addition de matière de fabriquer un objet, et qui peut s'appliquer à des domaines très variés, et dont le champ va croître encore très significativement. Les technologies permettent la solidification et l'agglomération de la matière – éventuellement avec l'aide d'un liant - que celle-ci soit amenée par fil, par buse, qu'elle se trouve dans un bain sous forme liquide, ou dans un lit de poudre. Georges Taillandier, Président de l'AFPR¹¹, indique ainsi que « l'on pourrait imaginer pouvoir faire de la fabrication additive avec à peu près n'importe quel matériau que l'on pourrait présenter en poudre, ou sur fil et pouvant être fondu ».

A partir de matériaux qui sont ainsi transformables, ou de nouveaux matériaux issus de la recherche, et en travaillant sur les technologies (de fabrication additive), on obtiendra des gains - de performances, de poids, de coût, de délais pour passer de la conception à la commercialisation, etc. - sur de nombreux produits, sur de nombreux services. La transversalité de ces technologies peut toucher à peu près tous les domaines et secteurs d'activité.

¹⁰ Source : http://d2mtr37y39tpbu.cloudfront.net/wp-content/uploads/2014/01/figure1-A_movement_gathers_mass.jpg

¹¹ Association Française de Prototypage Rapide (AFPR), créée en 1992. Pour en savoir plus : <http://www.afpr.asso.fr/>

L'ÉCOSYSTÈME DE L'IMPRESSION 3D

(VOIR ILLUSTRATION PAGE SUIVANTE)

Les activités économiques sont les branches de l'arbre, qui symbolisent une grande partie des activités humaines pouvant être impactées par le développement de l'impression 3D, une sorte de jardin d'Eden 4.0 ou tout ce qui est fabricable par l'intermédiaire d'une de ces machines peut / pourra voir son modèle économique bouleversé par la fabrication additive.

Ce jardin mondial est représenté par l'arbre, dont le tronc est constitué par les activités de R&D et de conception ainsi que le potentiel de créativité. Les racines de l'arbre représentent les différents procédés - voir le tableau suivant (Tableau des technologies, des matériaux utilisés, et des fabricants de machines d'impression 3D) – qui plongent dans la terre symbolisant les matériaux et les nouveaux matériaux.

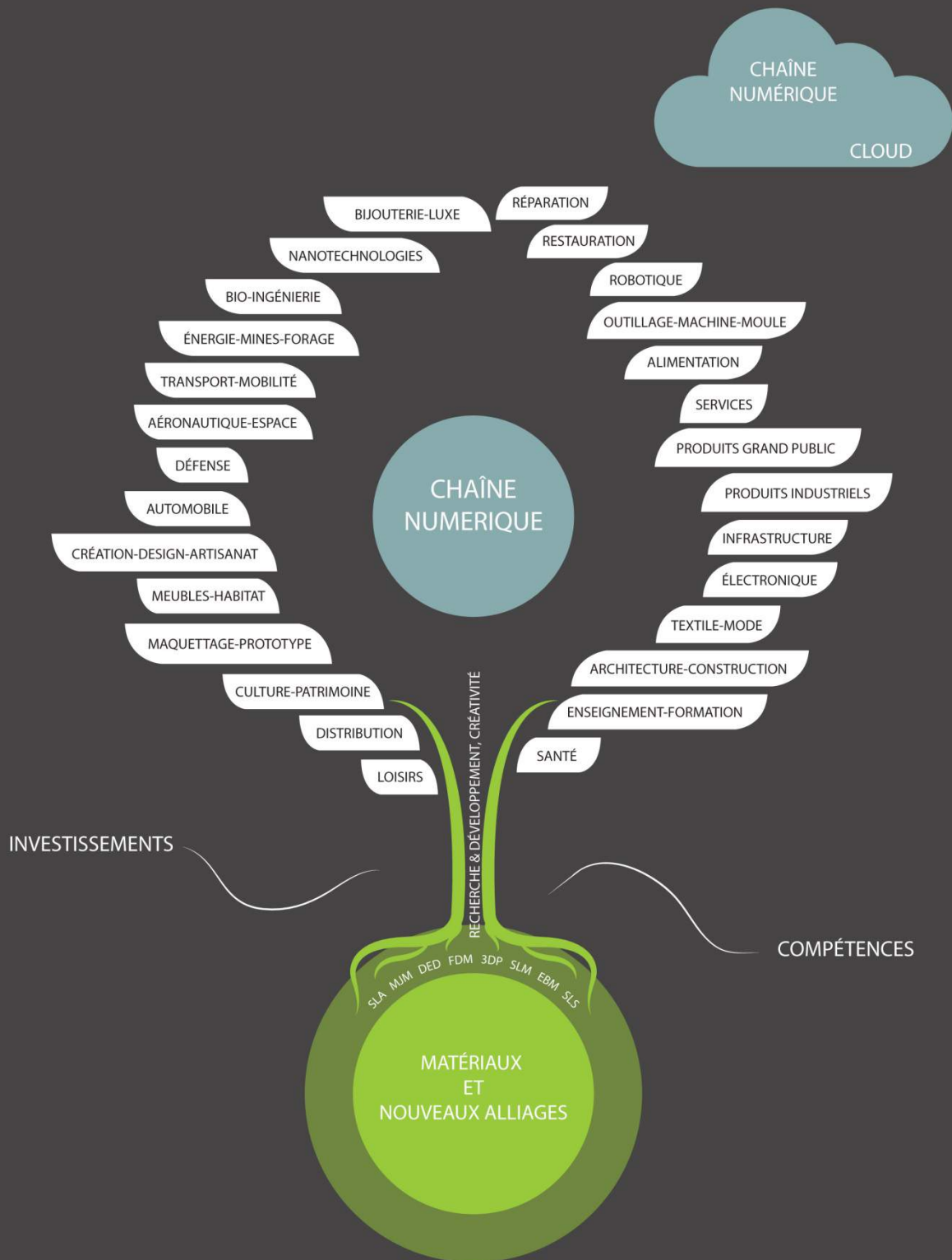
L'objet, de sa création en bureau d'étude ou par un designer jusqu'à toutes les étapes qui permettront sa fabrication tout au long de son cycle de vie, et ultérieurement, de sa réparation, voire de modifications lui permettant d'évoluer au cours du temps (réparation, ajout de fonctions, modifications de l'objet dans des versions ultérieures) est conservé sous forme de fichiers numériques, conservé dans l'entreprise ou stocké dans des bibliothèques numériques (cloud) internes ou externes. La chaîne numérique est cet ensemble qui à partir de matières et de procédés permet la fabrication d'objets tous différents pour des secteurs également très différents.

À partir des matériaux, des procédés, et des activités de design, de modélisation, de bureaux d'étude, de recherche et développement vont naître les nouveaux objets fabriqués à l'aide de ces machines et qui vont impacter la plupart des secteurs industriels, de services, ou même les activités de design ou de création pure. C'est en quelque sorte l'arbre de l'industrie 4.0 et bien au-delà, sachant que son impact aura des conséquences sur les activités industrielles, services, toute la chaîne logistique, des impacts forts sociétaux, sociaux et environnementaux, sur la formation, etc.

Une injection massive de capitaux et de compétences sera nécessaire pour la croissance de l'arbre et pour en récolter les fruits. Ces éléments symbolisent donc l'investissement en machines et en technologies, mais tout autant en matière grise, en recherche et développement, source d'innovation, de création, de nouveaux 'design' qui façonneront les objets de la vie courante comme l'industrie du 21^{ème} siècle.

Une présence forte dans le développement de cet écosystème est pour une nation une des clés pour conserver la maîtrise de son environnement économique et de ses capacités de recherche, la possibilité de substituer à des pans entiers d'emplois qui seront impactés par l'impression 3D d'autres emplois accompagnant le développement de ces technologies. Parmi les nations, il y aura des perdants et des gagnants, et le virage pour se donner les capacités de figurer en bonne place doit être amorcé au plus vite. Il est essentiel d'y consacrer des investissements en recherche dans des domaines qui contribueront à développer tant la compréhension des phénomènes physiques que la maîtrise d'applications à haute valeur ajoutée.

L'ÉCOSYSTÈME DE L'IMPRESSION 3D



Joël ROSENBERG & Morgane BOULET©
Juillet 2015

IV – MATÉRIAUX ET TECHNOLOGIES

NB : les technologies seront traitées plus particulièrement dans l'annexe 4. Elles sont adaptées à des familles de matériaux.

Si la mise au point de la première machine de fabrication additive remonte à une trentaine d'année, et si l'on traite notamment de prototypage rapide en matériaux organiques depuis près de vingt ans, d'autres matériaux sont utilisés plus récemment et les machines d'impression 3D sont en réalité à l'aube d'un développement très soutenu. S'il existe des dizaines, si ce n'est des centaines de fabricants pour des technologies de filament plastique (technologie FDM), il y a beaucoup moins de fabricants pour des machines utilisant des matériaux métalliques, et encore moins pour des matériaux de type céramiques.

Des matériaux nouveaux seront développés, plus performants pour ce type de fabrication, les machines vont multiplier les sources d'énergie permettant des modes de fabrication plus rapide, les post traitements vont également se développer pour accéder à des pièces répondant à des critères de qualité toujours plus exigeante.

Les technologies ont été répertoriées dans le lexique en début de document.

Le tableau ci-dessous permet de dresser la liste des technologies (avec explicitation de leur champ d'application), des matériaux utilisés, des fabricants et de leur nationalité :

**LES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES D'IMPRIMANTES 3D,
LES FABRICANTS ET LES MATÉRIAUX (HORS TISSUS BIOLOGIQUES)**

Type	Technologie	Matière	Fabricant	Machine	Pays
Photopolymérisation en cuve / Vat photopolymerisation	Sources : LASER (Stéréolithographie / Stereolithography), UV, autres technologies : Digital Light Processing (DLP), spectroscopie aux rayons X à dispersion d'énergie (EDS))	Résines photoréticulables	Asiga	Freeform (50 ou 75) Pico 2 / source UV	Australie
			Kevvox	SP4300, SP6200	Singapour
			Carima	Master EV / source DLP	Corée
			Formlabs	Form1+	USA
			3D Systems	ipro, project 6000/7000	USA
			ENVISION TEC	Perfactory	Allemagne
			Proadways (groupe Gorgé)	Promaker (série L) / source : DLP	France
			Rapidshape	S. Series	Allemagne
		Cires	DWS	CeraFab 7500	Italie
		Céramiques	3DCeram	Ceramaker	France
	lithoz	CeraFab 7500	Autriche		
Projection de matière / Material jetting	MJM : Projection de matière multiple (plusieurs têtes) / Multijetmodeling	Résines photoréticulables	3D Systems	Project 3500 HD/3510/5000/5500	USA
			Stratasys	Objet	Israël
		Cires	Proadways (groupe Gorgé)	ProMaker (série V)	France
		Stratasys	CrownWorx	USA	
		SolidScape (Stratasys)	3Z	USA	

Type	Technologie	Matière	Fabricant	Machine	Pays
Projection de liant (lit de poudre) / Binder jetting	Impression 3D / 3D Printing	Composites	3D Systems	Z printer	USA
		Polymères	Voxeljet	VX Series	Allemagne
		Céramiques	ExOne		USA
		Métaux	ExOne	M-	USA
		Sable	ExOne	S -	USA
			3Geometry	DSM	Inde
		Platres	ExOne	S -	USA
Fusion sur lit de poudre / Powder bed fusion	SLS® : Frittage de poudre par laser / Selective Laser Sintering	Thermoplastiques (dont Polyamides)	EOS	EOS P	Allemagne
			3D Systems	sPRO, ProX	USA
	SHS® : Frittage de poudre par chaleur / Selective Heat Sintering	Thermoplastiques	Blueprinter	Blueprinter	Danmark
	SLM® : Fusion selective par laser / Selective Laser Melting	Métaux	Phenix (3D Systems)	PXL, PXM, PXS	France
			EOS	EOSINT M	Allemagne
			SLM Solutions	SLM	Allemagne
			Concept Laser (Hofmann)	LaserCusing	Allemagne
			Realizer	SLM -	Allemagne
			DMIC	Up	Inde
			Renishaw	AM250	UK
EBM® : Fusion par faisceau d'électrons / Electro BeamMelting	Métaux	ARCAM	Aracam A2	Suède	
Stratification de couche / Sheet lamination	LOM® : Laminated Object Modeling	Papier	Mcor Technologies	Matrix 300+	Irlande
		Métaux	Fabrisonic	SonicLayer	USA
		Thermoplastiques	Solido	SD300Pro	Italie
Extrusion de matière / Material extrusion	FDM® : Dépôt de fil fondu / Fused Deposition Modeling	Thermoplastiques	Stratasys (leader industriel du marché)	Dimension	USA
				Fortus	USA
				Mojo	USA
				Uprint	USA
			Makerbot (Stratasys)	Replicator	USA
			RepRap	RepRap	USA
			Bits from Bytes (3D Systems)	3D Touch	USA
			Leapfrog	Creatr HS	Pays-Bas
			3D Systems	Cube, CubePro	USA
			3NTR	A4, A2	Italie
		Cires	BiejingTiertime	Inspire A450	Chine
			Choc Edge	Choc Creator VI	UK
			Essential Dynamics	Imagine	USA
			fab@Home	Model	USA

TYPE	TECHNOLOGIE	MATIÈRE	FABRICANT	MACHINE	PAYS
DED : Dépôt de matière sous flux d'énergie dirigée (poudre par projection)/ Directed Energy Deposition	Déposition par laser : LMD® (Laser Metal Deposition®) ; LENS® (Laser Engineered Net Shaping®)(Optomec) ; DLD® : (Direct Laser Deposition®) ; CLAD® : Construction Laser Additive Direct® (BeAM) ; DMT® Laser-aided Direct Metal Tooling (InssTek)	Métaux	Optomec	LENS 450, MR-7, 850-R	USA
			POM	DMD	USA
			IREPA LASER/ BeAM	MobileCLAD, Magic	France
			EFFESTO	EFFESTO 222, 434, 535, 557	USA
			DMG MORI	Lasertec 65 AM	Japan
			Trumf	DMD 505, Truelaser cell	Allemagne
	InssTek	MX-3, MX-4, MPC	Corée		
DMD : Dépôt de matière fusion fil métal/ Directed Energy Deposition	EBF3® : fusion fil faisceau d'électron (sous vide) / Electron Beam Free Form Fabrication	Métaux	Sciaky	DM	Canada
DMD plasma : Dépôt direct fil par procédé plasma / Directed Energy Deposition	DPM® : Fusion fil plasma / direct plasma manufacturing	Métaux	North titanium		Suède
DMD electric arc : Dépôt direct fil par arc électrique / Directed Energy Deposition	WAAM® : Dépôt de matière apportée avec arc électrique, couche à couche, goutte à goutte / Wire arc additive manufacturing	Métaux	Cranfield University		UK

Suivant les machines, les matériaux et les technologies employées (à début 2015), les caractéristiques des pièces produites seront bien sûr différentes. Donnons-en quelques illustrations ou exemples avec des matériaux thermoplastiques et des comparaisons entre l'utilisation d'imprimantes 3D et des modes plus traditionnels :

Comparaison des procédés de fabrication en matériaux organiques (Résines photoréticulables, thermoplastiques) :

PROCÉDÉ	DESCRIPTION	DÉTAILS (MM)	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS	APPLICATIONS
Frittage ou fusion de poudre par LASER	Fusion laser de fines particules de poudre	Couches : 0.06-0.15	Résistant Formes complexes Formes complexes Volume de construction important Diversité des pièces produites Possibilité de faire des pièces articulées ou avec des inclusions d'éléments	Surface légèrement granuleuse	Boîtiers électroniques Montures (lunettes, bijoux, etc.) Produits personnalisés Matériel aérospatial Prototypes et objets assemblés
		Détails : 0.3			
		Surface : légèrement rugueuse			
		Temps de fabrication : rapide			
Photopolymérisation en cuve	Polymérisation d'une résine liquide à l'aide d'un laser UV	Couches : 0.06-0.15	Finesse des détails Etat de surface	Fragilité de certains éléments Sensible à la lumière de soleil et à la chaleur	Médical/Dentaire Boîtiers électroniques Modèle pour la fonte Art
		Détails : 0.1			
		Surface : lisse			
		Temps de fabrication : moyen			
projection de liants	Agglomération de fines particules de poudre par jets de liants	Couches : 0.089-0.12	Impressions multicolores Vitesse d'impression	Fragilité Surface rugueuse	Prototypes et objets multicolores Figurines
		Détails : 0.4			
		Surface : rugueuse			
		Temps de fabrication : très rapide			

projection de matière	Gouttes de polymère projetées et polymérisées par UV	Couches : 0.016-0.032	Finesse des détails Haute précision Impression en plusieurs matériaux possible	Faible résistance du matériau Sensible à la lumière du soleil et à la chaleur	Dispositifs médicaux Prototype et objets complexes et multi-matériaux Prototypes et objets assemblés
		Détails : 0.2			
		Surface : lisse			
		Temps de fabrication : rapide			
Extrusion de matière	Dépôt d'un filament thermoplastique en fusion	Couches : 0.1-0.3	Résistance des pièces Prix peu élevé	Etat de surface Temps de fabrication	Boîtiers électroniques Montures (lunettes, bijoux, etc.) Produits personnalisés
		Surface : très rugueuse			
		Temps de fabrication : lent			
Dépôt de matière par flux d'énergie dirigé	Dépôt d'une poudre métallique sur un substrat excité par un faisceau LASER	Couches : 0.1-0.3	Peu couteux Applicable pour ajout de fonction sur pièce réelle	Précision Etat de surface	Véhicules militaires terrestres Aéronautique Médical
		Surface : légèrement rugueuse			
		Temps de fabrication moyen			
Stratification de couches	Assemblage de strates préparés en usinage	Couches : dépend de l'épaisseur des strates	Approvisionnement de matière Coût de fabrication	inconnu	Automobile Aéronautique Maritime
		Surface : rugueuse			
		Temps de fabrication: long			

PROCÉDÉS INDUSTRIELS CLASSIQUES

Injection plastique	Injection du matériau dans un moule	Surface : lisse	Grande variété de matériaux Quantités importantes Tolérance élevée Très bon état de surface	Coût initial élevé Délais importants Pièces à parois fines uniquement	Automobile Aérospatial Electronique Packaging Contenants
		Tolérance : 0.050			
Usinage	Retrait de matière	Surface : lisse	Tous types de matériaux Tolérance élevée Délais de production raisonnables	Peu adapté pour des pièces complexes Coût des équipements élevé Taux de rebus important	Dispositifs et appareillages Automobile Aérospatial
		Tolérance : 0.025 um			
Formage	Etirements et mises en forme de fines feuilles de matière	Surface : lisse	Pièce de grande taille Prix abordable	Uniquement thermoplastiques Formes limitées Pièces à parois fines uniquement Contrôle unilatéral	Packaging Contenants Panneaux
		Tolérance de l'ordre de 1mm			
Assemblage	Soudures et fixation de pièces	Dépend des produits semi-finis	Tous types de matériaux	Délais importants Coûts élevés	Automobile Electronique Médical

Source : Sculpteo (<http://www.sculpteo.com/fr/impression-3d-et-procedes-de-fabrication-traditionnels-comparaison/>) et d'après les travaux du groupe de travail.

Les matériaux métalliques constituent un vaste champ de développement en fabrication additive. Ils doivent permettre de fabriquer des pièces ayant des propriétés structurales. Lorsque le retour d'expérience permettra de qualifier des pièces ainsi produites, ce sont de très larges applications industrielles qui seront ouvertes. Comme nous l'avons vu dans le tableau (Tableau des technologies, des matériaux utilisés, et des fabricants de machines projet d'impression 3D), il existe plusieurs types de technologies utilisant des matériaux métalliques, elles sont pour simplifier au nombre de 4 telles qu'elles sont décrites dans le tableau ci-après :

La fusion laser lit de poudre (Power bed (laser), colonne 1), La fusion par faisceau d'électron lit de poudre (Power bed (EB), colonne 2, il n'existe qu'un seul fabricant de machines, le suédois Arcam), le dépôt de matière (avec projection de poudre) par flux d'énergie dirigée (Power feed, colonne 3, technologie de la société française BeAM), ou encore la fusion de fil de métal par énergie dirigée (Wire feed, colonne 4).

Les « + » indiquent les technologies qui s'y prêtent le mieux, « +++++ » pour la meilleure technologie suivant le critère, et « 0 » pour une technologie ne satisfaisant pas du tout le critère en question.

On voit par exemple que la rugosité (roughness) est mieux traitée par la fusion laser lit de poudre, qui n'aura par contre aucune indication pour faire de la réparation de pièce (repair capability).

COMPARAISON DES PROCÉDÉS DE FABRICATION EN MATÉRIAUX MÉTALLIQUES

++++ => best	Powder bed (laser)	Powder bed (EB)	Powder feed	Wire feed
Beam thickness	++++	+++	++	+
Layer thickness	++++	+++	++	+
Construction speed	+	++	+++	++++
Roughness	++++	+++	++	+
Internal stress level (less deformation)	+++	++++	++	++
Shape complexity	++++	+++	++	+
Repair capability	0	0	+++	+++
Multi material capability	0	0	++	0
Size of the part	++	+	+++	++++
Hollow and lattice structure capability	++++	++	0	0

Source : Airbus group

- Epaisseur/largeur du faisceau du LASER.
- Epaisseur de la couche de poudre métallique.
- Vitesse de construction de la pièce.
- Rugosité (les 4 « +++++ » signifiant la meilleure qualité atteignable sous forme polie).
- Niveau de rigidité/tension interne (minimum de déformation).
- Complexité des formes.
- Capacité à réparer des pièces.
- Capacité à traiter plusieurs matériaux (gradient de matériaux).
- Taille de la pièce.
- Capacité à fabriquer des structures lattices.

Comme dans le tableau précédent sur les comparaisons des technologies pour les matériaux thermoplastiques, il apparaît qu'au cas par cas et suivant les critères que l'on privilégie, il faut sélectionner une technologie plutôt qu'une autre. **Ces technologies apparaissent donc beaucoup plus complémentaires que concurrentes.**

Les ordres de grandeur du temps de fabrication en technologie métallique, sachant que les temps dépendent de la taille de la machine, du nombre de pièces dans le plateau de construction, des stratégies de balayage, du nombre de lasers dans la machine, du rendement déposé, sont les suivantes :

- Pièce en SLM (lit de poudre) : plusieurs heures à plusieurs dizaines d'heures,
- Pièce en DMD (projection de poudre) : plusieurs heures.

On trouvera ci-dessous les ordres de grandeur des prix des machines de fabrication additive en lit de poudre, projection de poudre, et dépôt de fil parmi les plus notables en 2013, On pourrait ajouter les machines du français Phenix (racheté par 3D Systems fin 2013), machines lit de poudre pour matériaux métalliques, les prix de ces machines étant dans la fourchette de ceux indiqués ci-dessous.

Technologie	Matériau	Energie	Dimensions	Prix	Exemple de machines
Lit de poudre	PA	laser	340x340x620	230K€	EOSINT P395
Lit de poudre	Metal	laser	250x250x280	435K€	Concept Laser M2
Lit de poudre	Metal	laser	250x250x300	400K€	Renishaw AM250
Lit de poudre	Metal	laser		1500K€	Concept Laser Xline 1000R
Lit de poudre	Metal	Faisceau électrons	200x200x350	625K€	ARCAM A2
Projection de poudre	Metal	Laser	1500x900x900	995K\$	OPTOMECH LENS 850R
Projection de poudre	Metal	Laser	950x900x500	650K€	BeAM
Dépôt de fil	Metal	Faisceau électrons	710x710x710	1400K€	SCIAKY

Source : Wohlers Report 2013

Par ailleurs, sont indiqués ci-dessous quelques ordres de grandeurs des coûts matière pour des applications industrielles :

Matériau	référence	type	Prix/kg
Polymère	Polyamide	poudre	85 à 100\$
polymère	ABS, PC	fil	250\$
Métal	cett-chrome (médical)	poudre	130 à 500\$
Métal	Base Nickel	poudre	210 à 275\$
Métal	Pure Ti, alliage de titane	Poudre	340 à 800\$

Source : Wohlers Report 2013

Certains de ces prix ont été modifiés significativement quand il y a concurrence dans la production, ce qui va s'accroître de toute façon suivant les matières. Par exemple, on peut trouver du fil ABS de bonne qualité aujourd'hui pour 25 euros le kilo. Pour des métaux de haute valeur comme le cobalt, le nickel, le titane, ces évolutions (diminution significative des prix) seront probablement moins certaines.

Pour les applications de fabrications additives en matériaux métalliques, nous pouvons donner les éléments suivants :

En positif :

Réduction des coûts non récurrents :

- Pas d'outillage dédié

Réduction des coûts récurrents de fabrication :

- Gain pouvant être réduit ou notable par rapport aux filières conventionnelles

Réduction du cycle de fabrication par la diminution des étapes de fabrication :

- Gain très notable par rapport aux filières conventionnelles
- Flexibilité en conception :
 - Moins de contraintes en géométrie et délai
 - Regroupement de plusieurs pièces en 1 seule
 - Apport de fonctions directement intégrées à la pièce : fonctions mobile, thermique...
 - optimisation topologique

Réduction de l'impact environnemental :

- Flexibilité vis-à-vis des évolutions de conception, pas de nécessité de stocker
- Procédés adaptés aux petites séries et à la personnalisation

Et les limites à l'heure actuelle :

Performances mécaniques/physiques :

- Rugosité (après fabrication directe) comprise entre 7 et 15 μ m
- Précision dimensionnelle : ± 0.2 mm
- Anisotropie des caractéristiques mécaniques (20 à 50%)
- Etat de contrainte résiduelle élevée (métaux)
- Etude particulière pour chacun des matériaux.

Contrôlabilité des pièces :

- Accessible par des méthodes conventionnelles après reprise des surfaces
- Suivie actuelle par éprouvettes suiveuses et microstructure
- Faible intégration industrielle

Les parachèvements et post-traitements des pièces sont des champs de travaux de Recherche et Développement très importants pour assurer les performances et qualités des pièces produites.

On notera que de grands industriels (voir partie aéronautique) ont annoncé la production en série de plusieurs milliers ou vingtaine de milliers de quelques pièces métalliques très complexes, qui restent cependant de taille réduite.

Au moment où nous publions ce rapport, les machines de fabrication additive métallique commercialisées à ce jour restent des instruments qui ne sont pas encore totalement maîtrisés pour des séries industrielles. Nécessairement, ces outils vont devoir être adaptés pour pouvoir relever le défi de la production en série.

Une exception, cependant, semble être l'annonce faite le 7 septembre 2015 d'une joint-venture entre Michelin et Fives sur la fabrication additive ; le constructeur de pneumatiques révèle qu'il maîtrise l'industrialisation à grande échelle pour cette nouvelle technologie (voir annexe 11).

PARTIE 2

**MARCHÉS ET STRATÉGIES : UNE VRAIE
DYNAMIQUE À TOUS LES NIVEAUX**

I - ORGANISATION ET STRUCTURE DU MARCHÉ DE L'IMPRESSION TRIDIMENSIONNELLE

A. CONTEXTE : APRÈS LA CRISE, UN NOUVEL ÉLAN INDUSTRIEL

La crise internationale de 2008 a eu le mérite indirect de faire en sorte que les projecteurs soient à nouveau braqués sur les capacités manufacturières des nations affaiblies, désireuses de retrouver un nouvel élan fondé sur

l'« économie réelle ». Il fallait également trouver les voies et moyens de relocaliser la production industrielle dans les pays développés et a minima de maîtriser le processus de production tout étant à la pointe du progrès technologique.

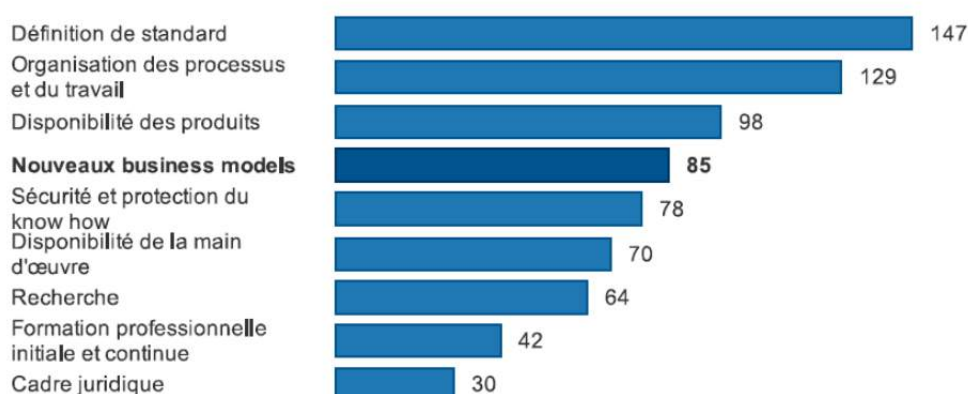
Numérique, électronique, robotique, mécanique, etc., il importait de jouer sur toute la palette des technologies en mutation, les pays industriels étant les mieux armés pour ce faire. Ainsi en est-il de la robotisation et l'on constate que l'état du parc robotique est directement corrélé à la valeur ajoutée de la production industrielle.

Les technologies additives ont incontestablement bénéficié de ce courant et de cette pression. Elles sont alors sorties d'une certaine forme d'« adolescence » pour s'étendre à de nouveaux matériaux et à de nouveaux secteurs en dépassant largement, au passage, le champ industriel pour investir les marchés de consommation.

L'impératif d'un renouveau industriel a été affiché en Allemagne dès 2010. Il était considéré que le modèle industriel qui avait fait ses preuves dans les années 2000, combinant notamment la qualité allemande et la délocalisation dans les pays d'Europe centrale et orientale et qualifié ironiquement « d'économie de bazar » par l'économiste allemand Hans-Werner Sinn, parvenait en tant que tel à son terme. Angela Merkel déclara en 2010 que la chance qui s'offrait à son pays était d'insérer les connaissances digitales dans l'économie industrielle, avec l'Industrie 4.0, concept dont le lancement formel et le projet qui l'accompagnent eurent lieu un an plus tard à la Foire de Hanovre. « L'industrie du futur » aujourd'hui promue par la France en est directement inspirée.

QUELS SONT LES PRINCIPAUX ENJEUX POUR LA MISE EN PLACE D'INDUSTRIE 4.0 ?

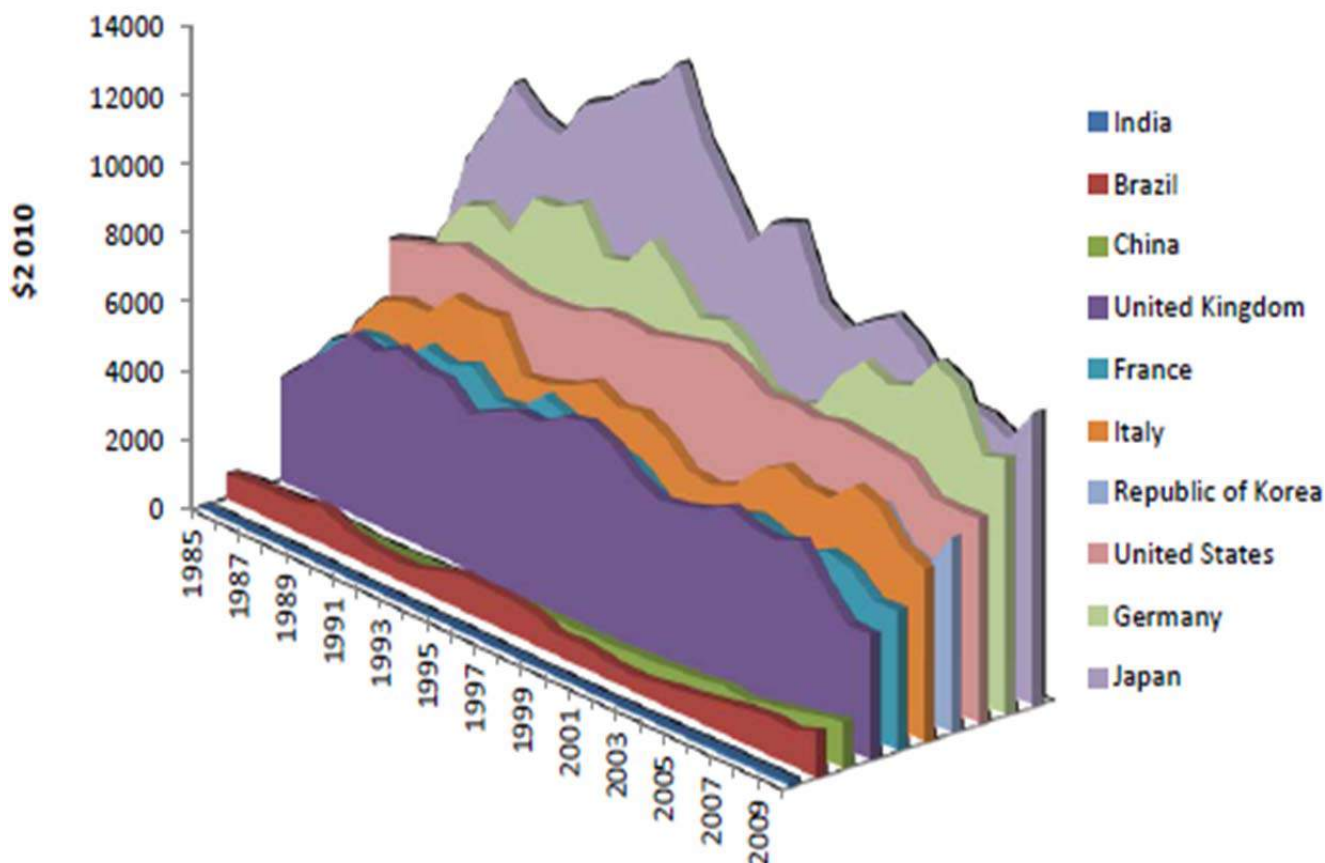
Sondage réalisé en janvier 2013 par les Fédérations professionnelles BITKOM, VDMA et ZVEI auprès de 278 entreprises allemandes appartenant principalement à la construction mécanique et dont les trois quarts emploient moins de 500 personnes (plusieurs réponses possibles).



Ce même constat a conduit la Maison Blanche à mettre en place, à partir de 2011-2012 une stratégie dynamique en faveur du secteur manufacturier et de la fabrication additive en particulier, assortie de moyens financiers conséquents. Le Japon et la Corée, notamment, ont emprunté le même chemin. L'enjeu n'était pas seulement d'utiliser des robots à la place des hommes et de faire dialoguer les hommes et les machines et la fabrication additive n'a cessé depuis lors de gagner en importance.

Il est intéressant enfin, non seulement de faire le benchmark international des situations et des politiques, ce qui est réalisé de manière approfondie dans ce rapport, mais aussi d'examiner la manière dont le benchmark a été opéré dans d'autres pays. Pour illustration, l'analyse du National Institute of Standards and Technology aux Etats-Unis¹² mit en évidence le retard manufacturier américain en classant le « top ten » des producteurs dans le monde.

**VALEUR AJOUTÉE PAR EMPLOYÉ DANS LE SECTEUR MANUFACTURIER (EN US\$) :
CLASSEMENT DES 10 PREMIERS PAYS INDUSTRIELS**

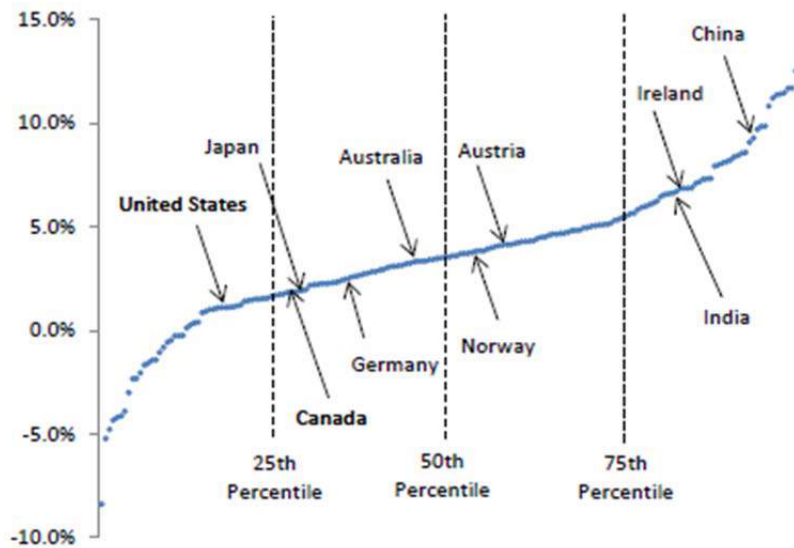


Source : Nations-Unies, publication dans un rapport du Sénat américain, 2013

¹² Notons ici que le NIST, en plus de ses fonctions régaliennes, héberge le programme national en faveur de l'AM AMNPO –voir fiche Etats-Unis.

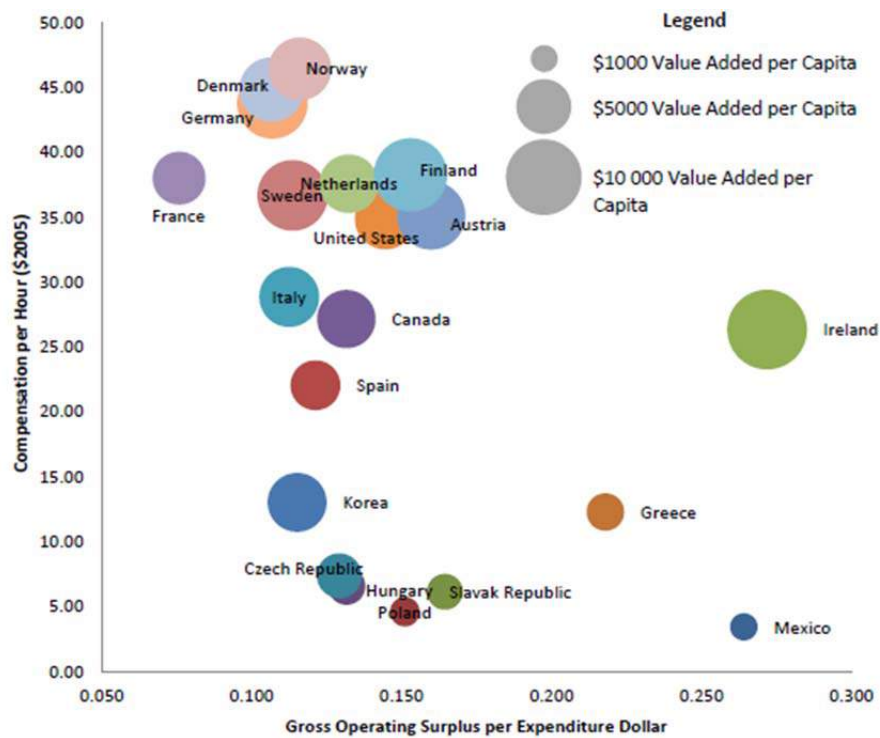
Plus largement, les graphiques qui suivent, réalisés par les Nations-Unies et l'OCDE, furent utilisés dans un rapport du Sénat américain en 2013. On remarquera que la France n'en ressortait pas vraiment à son avantage.

COISSANCE ANNUELLE DE LA VALEUR AJOUTÉE DANS LE SECTEUR MANUFACTURIER ENTRE 1995 ET 2010 (BASE EN US \$)



Source : Nations-Unies, publication dans un rapport du Sénat américain, 2013
La France n'apparaît pas, signe fort de la place qu'on lui attribue dans le secteur manufacturier mondial !

VALEUR AJOUTÉE PAR EMPLOYÉ DANS LE SECTEUR MANUFACTURIER (EN US \$) MARGE OPÉRATIONNELLE BRUTE PAR DOLLAR INVESTI, ET SALAIRE HORAIRE



Source : OCDE, publication dans un rapport du Sénat américain, 2013

Quoi qu'il en soit, la course était lancée à l'échelle internationale. Son accélération transparaît dans le développement accéléré des équipements de fabrication additive dans le monde.

B. LA RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES ÉQUIPEMENTS DANS LE MONDE



Les graphes ci-dessous sont à interpréter avec précaution car, seules les machines sont évoquées. Si cela compte en matière d'usages, les fabrications sont très diverses. Dans ces chiffres, sont comptées unitairement des machines à filament plastiques de quelques centaines ou milliers d'euros (plusieurs dizaines de milliers vendues en 2013), ou une machine à impression en métal de 300 k€ à 1,5 M€ (350 vendues en 2013). Or, on ne mesure clairement pas la même chose.

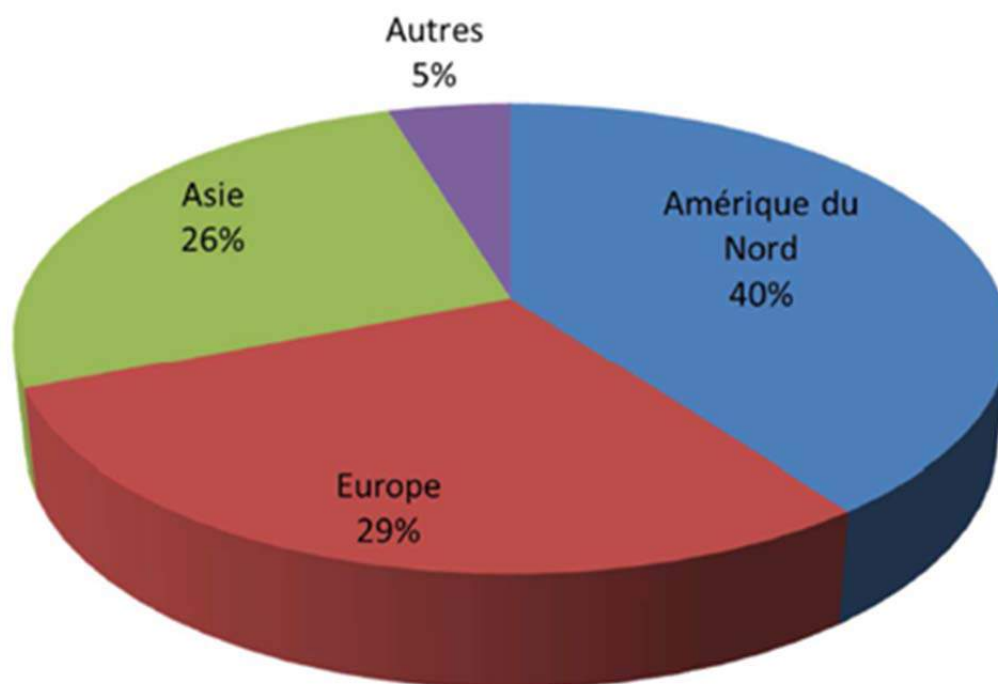
1. Trois grands blocs et de nombreux outsiders

Selon le rapport Wohlers 2013, les Etats-Unis détiennent plus de 40% de tous les systèmes d'impression 3D à usage industriel vendus dans le monde, suivis par le Japon (9,7%), l'Allemagne (9,4%) et la Chine (8,7%).

Les États-Unis mis à part, on estime que :

- près de 27% de tous les systèmes installés dans le monde sont situés dans la région Asie-Pacifique,
- un peu plus de 28% sont en Europe,
- le reste se partageant entre les autres pays du continent américain, le Moyen-Orient et l'Afrique.

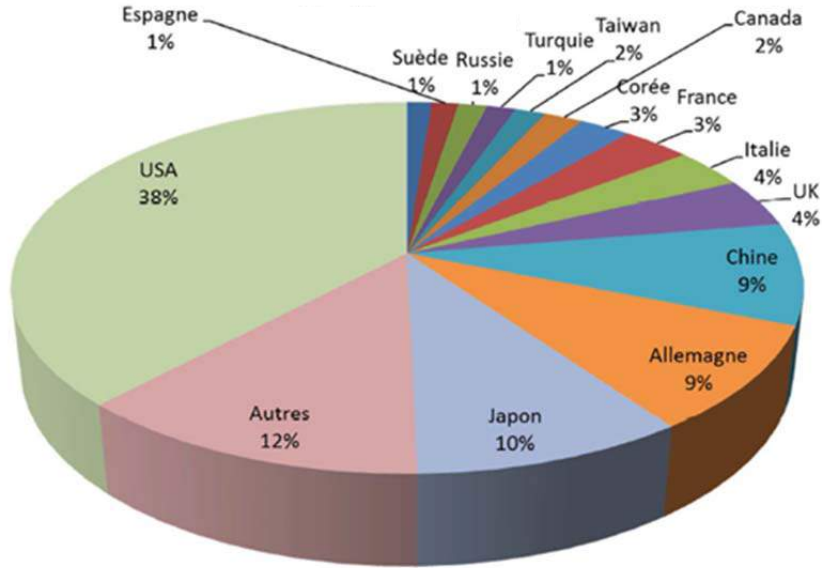
MACHINES DANS LE MONDE (CUMULÉ)



Source : AFPR – présentation à Bpifrance octobre 2014

Plus précisément, la ventilation par pays est la suivante :

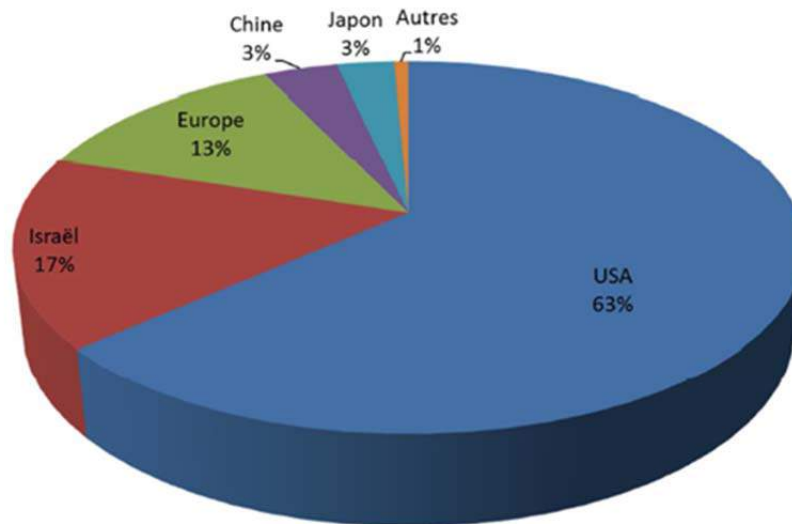
MACHINES PAR PAYS



Source : AFPR – présentation à Bpifrance octobre 2014

La répartition du nombre cumulé de machines produites figure ci-après. On notera que les USA se taillent la part du lion, avec la position extrêmement notable comme deuxième pays de fabrication d'imprimantes 3D d'Israël :

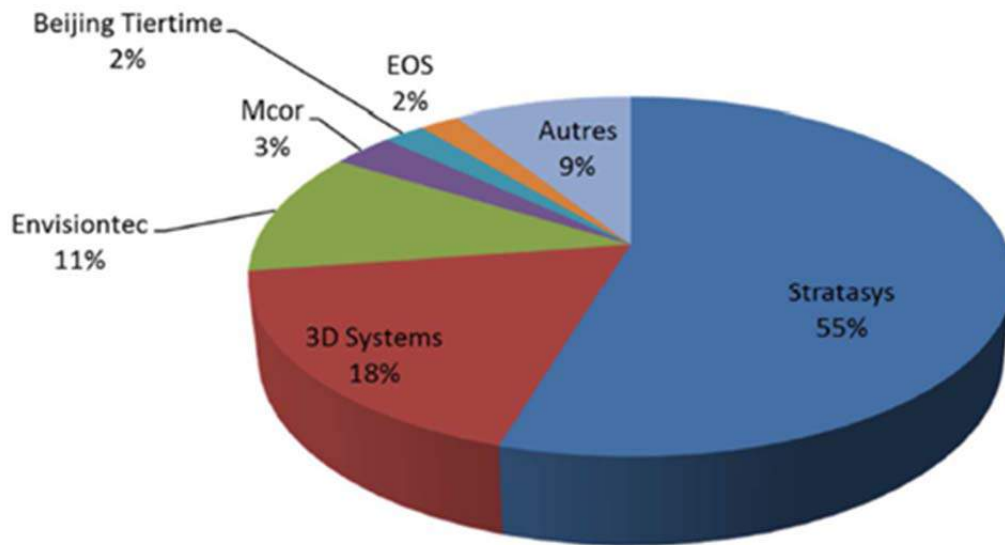
NOMBRE CUMULÉ DE MACHINES PRODUITES



Source : AFPR – présentation à Bpifrance octobre 2014

Cette répartition est essentiellement due à la prédominance des deux leaders mondiaux que sont 3D Systems (USA) et Stratasys (USA et Israël). Ces deux leaders, sociétés cotées, se développent par une politique très vigoureuse d'acquisition de parts de marché et de technologie par partenariats, prise de brevets pour faire barrage à leurs concurrents, et croissance externe galopante.

VENTES DE MACHINES PAR CONSTRUCTEUR



Source : AFPR – présentation à Bpifrance, octobre 2014

2. États-Unis vs. Europe: fabrication thermoplastique vs. fabrication métallique

Sans faire preuve de schématisation outrancière, on ne peut que constater le fait suivant : **les États-Unis ont surtout misé sur les équipements permettant la transformation des thermoplastiques** (...mais ceci évolue rapidement sous la pression des grands acteurs, tels que la NASA ou Boeing), tandis que l'Europe - et, plus particulièrement l'Allemagne - s'est positionnée sur les machines destinées à la fabrication métallique. **La majeure partie des imprimantes en matériaux métalliques est de source européenne.**

Ceci a une incidence forte, à la fois, sur les secteurs investis et sur le chiffre d'affaires réalisé (voir partie 2) car la valeur unitaire des machines servant à la fabrication métallique est bien supérieure à celle de leurs homologues utilisés dans le domaine des plastiques.

D'ailleurs, jusqu'à présent, les machines de fabrication métallique étaient peu vendues en nombre d'unités :

Cinq fabricants en Allemagne – EOS, SLM, Concept Laser (groupe Hofmann), Realizer et Trumpf, un en Grande Bretagne – Renishaw qui a racheté l'allemand MTT en 2011 -, un en Suède – Arcam -, deux en France – Phénix racheté en 2013 par l'américain 3D Systems, et BeAM (on attend une nouvelle source de machine d'impression 3D en fabrication métallique conçue par un très grand industriel) – deux aux USA – ExOne et Optomec -.

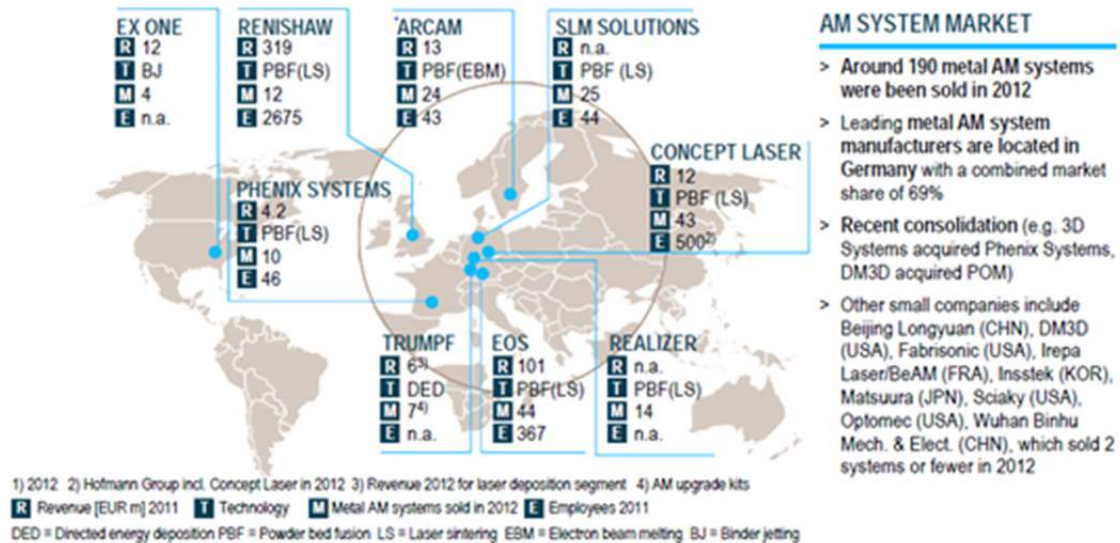
EVOLUTION DU NOMBRE DE CONSTRUCTEURS DE MARCHINES EN TECHNOLOGIES ALM (LASER, LIT DE POUVRE)

Europe : en 2003 = 7 constructeurs,	en 2013 = 16
Chine : en 2003 = 3 constructeurs,	en 2013 = 5
USA : en 2003 = 10 constructeurs,	en 2013 = 5
Japon : en 2003 = 7 constructeurs,	en 2013 = 2

Source : rapport Wohlers (2013)

In 2012, around 190 metal AM systems were sold worldwide, of which 69% were made by the five German manufacturers

Metal AM system manufacturers



Source: Companies, press research, Bloomberg, Wohlers Associates, Roland Berger

| 22

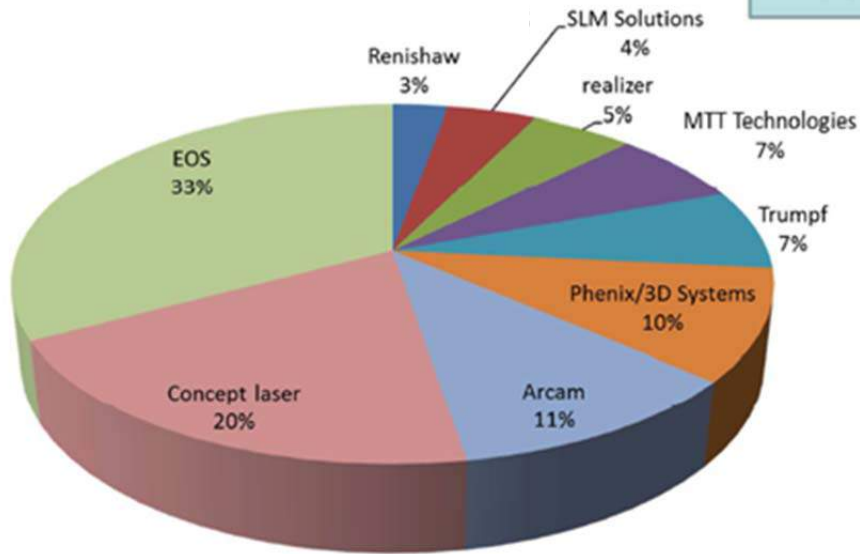
Source : analyse Roland Berger

Il manque sur le schéma ci-dessus du club restreint de fabricants et vendeurs de machines utilisant des matériaux métalliques Optomec aux USA et BeAM en France.

Le développement plus rapide de machines de fabrication métallique et l'arrivée de nouveaux grands acteurs industriels (comme HP, qui a annoncé qu'il fabriquerait des imprimantes 3D ainsi que d'autres très grands groupes industriels qui peuvent également rentrer dans un marché qui semble établi et en forte croissance) vont sans doute modifier les répartitions ci-dessus : 1358 nombre de machines vendues cumulées.

VENTES DE MACHINES MÉTAL EUROPÉENNES

1358

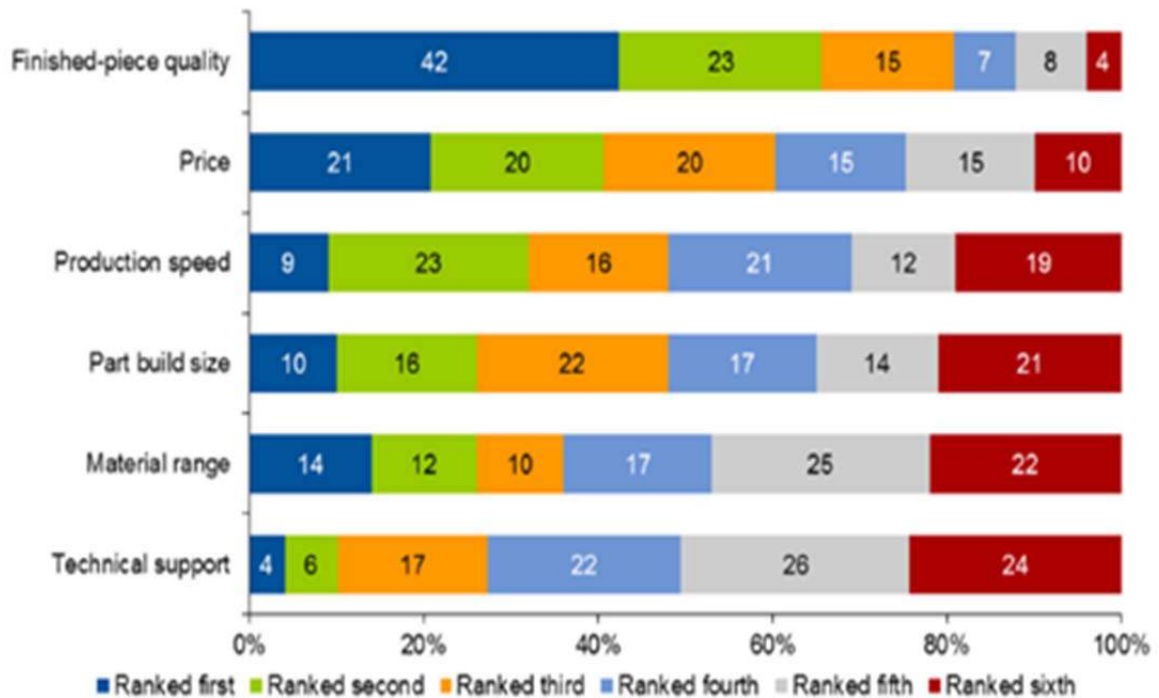


Source : AFPR – présentation à bpifrance octobre 2014

3. Les types d'usages

Les motivations globales pour acheter des imprimantes 3D sont les suivantes, en premier lieu la qualité de la pièce produite, puis le prix, puis la vitesse de production, la taille des pièces, la diversité des matériaux utilisables, et enfin le support technique.

MOTIFS DE RECOURS À L'IMPRESSION 3D (EN % DES RÉPONSES)



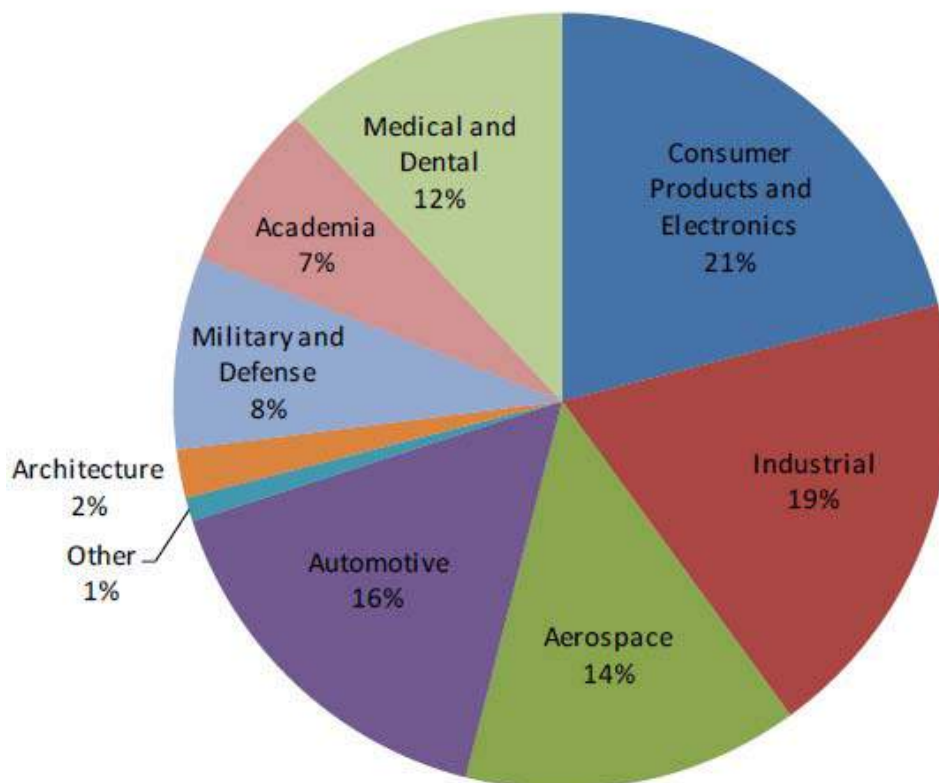
Source : Gartner, October 2014
 Note : because of rounding, totals may differ from 100

Et dans le sous-segment des entreprises (B to B), les applications sont d'abord le prototypage rapide, le développement de produits, la possibilité de créer des pièces qu'il n'était pas possible de produire auparavant par l'impossibilité d'atteindre la complexité des formes, les pièces multifonctionnelles, les moules... L'utilisation de ces techniques est motivée par les réductions de coût, une efficacité accrue, la customisation et la personnalisation des objets produits, la rapidité d'obtention des prototypes, la fabrication sans avoir besoin de chaîne industrielle.

Les mutations et transformations induites vont être gigantesques : à l'intérieur de l'industrie, de la *supply-chain*, des services ; la transformation de la relation client, etc.

Les secteurs concernés touchent tous les secteurs où s'échangent des objets... autrement dit, à terme, tous les secteurs économiques sont concernés.

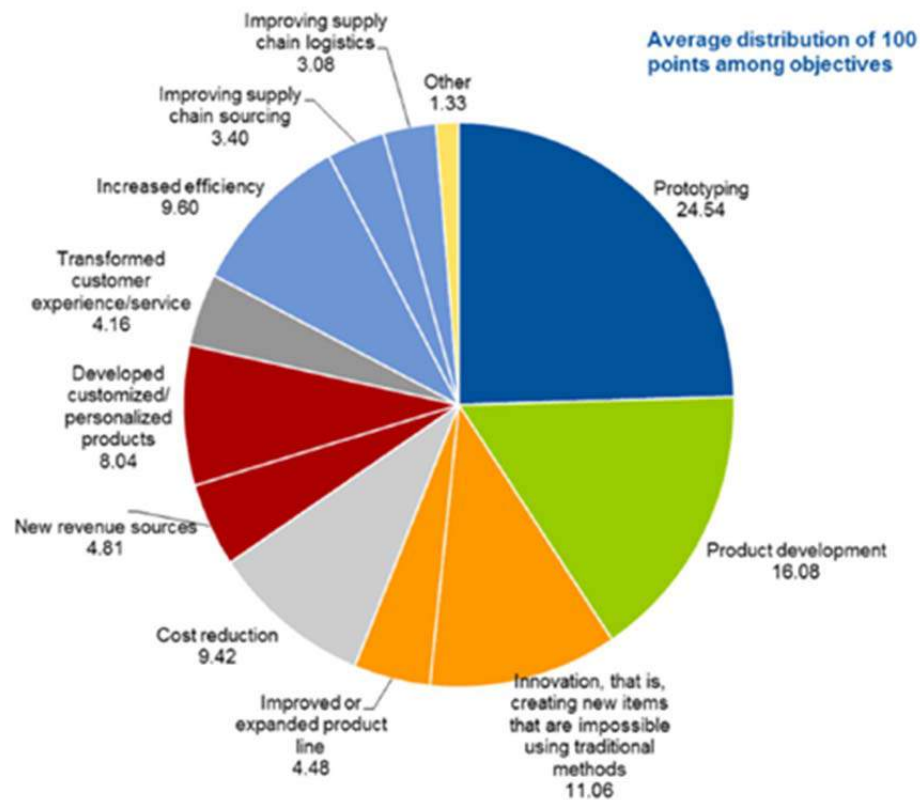
PRÉVISIONS DE VENTE PAR SECTEUR SUR 2014 - RÉPARTITION PAR SECTEUR



Source : Institut HIS, The Impact of 3D Printing on the Industrial Manufacturing Sector, septembre 2014

Les principales motivations pour ces achats de machines sont : le prototypage (24,5%) ; les développements de produits 16,1% ; l'innovation par la création de nouveaux produits (11,1 %) ; les réductions de coûts (9,4 %) ; la customisation (8,4%) ; l'amélioration de produits existants (4,5%). Ces catégories sont évidemment perméables les unes aux autres, et c'est le plus souvent pour plusieurs raisons (surtout les coûts) qui induisent le recours à l'AM.

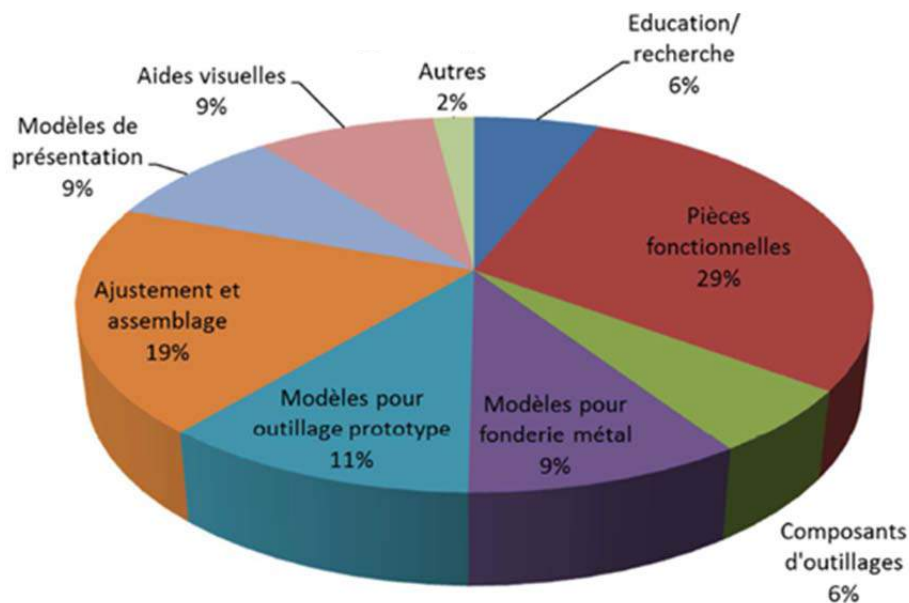
PRINCIPALES MOTIVATIONS POUR ACQUÉRIR UNE IMPRIMANTE 3D EN MARCHÉ B TO B



Source : Gartner, October 2014

Enfin, dans le segment encore plus fin des utilisations industrielles des machines de fabrication additive, ces utilisations se répartissent en pièces fonctionnelles, en prototypes ou modèles, tant pour les pièces que pour les outillages, en maquette de présentation, et en formation.

PRINCIPAUX TYPES DE PRODUCTION EN FABRICATION ADDITIVE



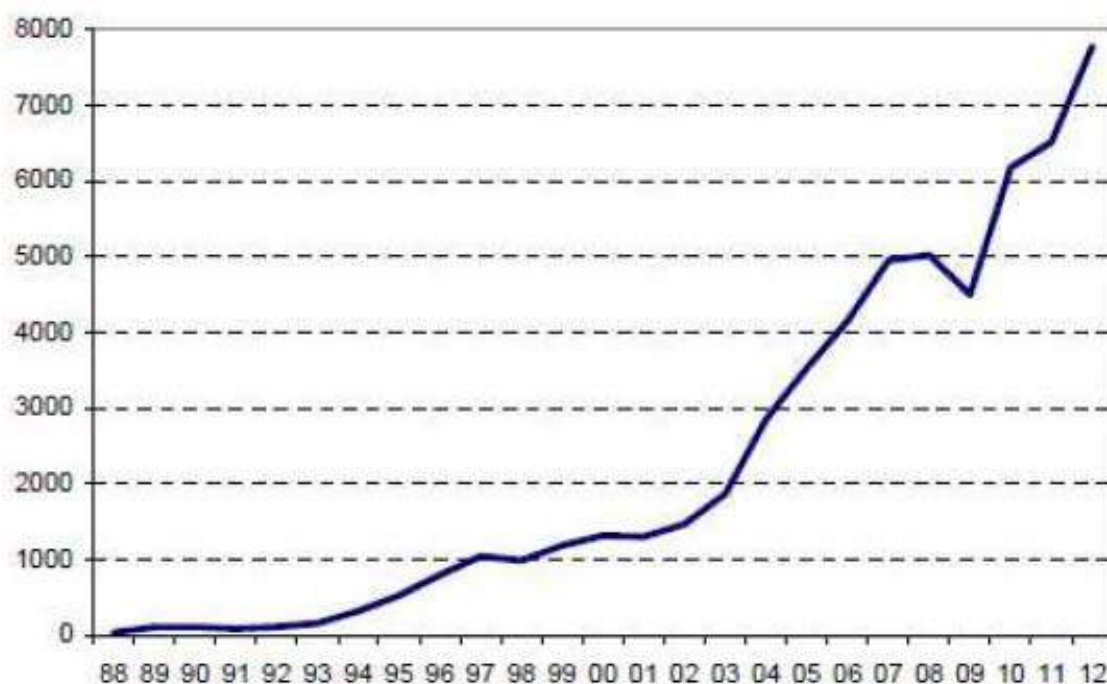
Source : AFPR – présentation à bpifrance, octobre 2014

C. DES ACTIVITÉS QUI NE CESSENT DE SE DIVERSIFIER - UN CHIFFRE D'AFFAIRES EN CROISSANCE RÉGULIÈRE FORTE

1. Rétrospective : un marché en nette croissance depuis vingt ans

Relativement confidentielle jusqu'au milieu des années 90, la vente d'imprimantes 3D à usage professionnel se développe à un rythme spectaculaire depuis vingt ans, ceci s'expliquant à la fois par la baisse des coûts et la diversification croissante des usages.

ESTIMATION DU NOMBRE DE VENTES D'IMPRIMANTES 3D PROFESSIONNELLES DANS LE MONDE



Source : Wohlers Report, 2013

- D'après le rapport Wohlers de 2013, le chiffre d'affaires de ce secteur a augmenté de plus de 28% au cours de l'année 2012. La croissance est encore plus forte en 2014 à 30,1% avec près de 13 000 imprimantes professionnelles vendues.
- Selon l'analyste Joe Kempton du cabinet indépendant Canalys, « ces résultats sont extrêmement encourageants en ce qui concerne l'avenir de l'impression 3D. La majorité des principaux opérateurs ont connu des taux de croissance positifs et ils pourront ainsi réinvestir leurs profits pour financer la poursuite de la croissance ».
- Dans le secteur des biens de consommation, les livraisons, à l'échelle mondiale, ont augmenté de 16%. Cette croissance s'explique par le caractère attractif des prix de ce type d'équipement (les prix les plus accessibles ayant fortement baissé).

2. Évaluation du chiffre d'affaires par procédé et par zone géographique (situation actuelle et perspectives à court terme)

► RAPPEL DES PROCÉDÉS EXISTANTS ET DE LEUR PRIX MOYEN RESPECTIF

Le tableau suivant est en échelle logarithmique. Son intérêt est de montrer qu'il n'y a rien de commun (sauf à être englobé sous le vocable « imprimante 3D ») entre une machine à filament plastique (les moins chères valent aujourd'hui quelques centaines d'euros) et les machines de type laser poudre (prix entre 300 k€ et 1,5 M€).

D'après la norme ISO 17296-2:2014E, il existe 7 classes de procédés :

Vat Photopolymerization (Photo- polymérisation en cuve) ;

Material Jetting (Projection de résine par jets multiples) ;

Binder Jetting (Projection de liant utilisé pour l'assemblage de 2 éléments de même nature (polymères, céramiques, composites, plâtre, métal) ;

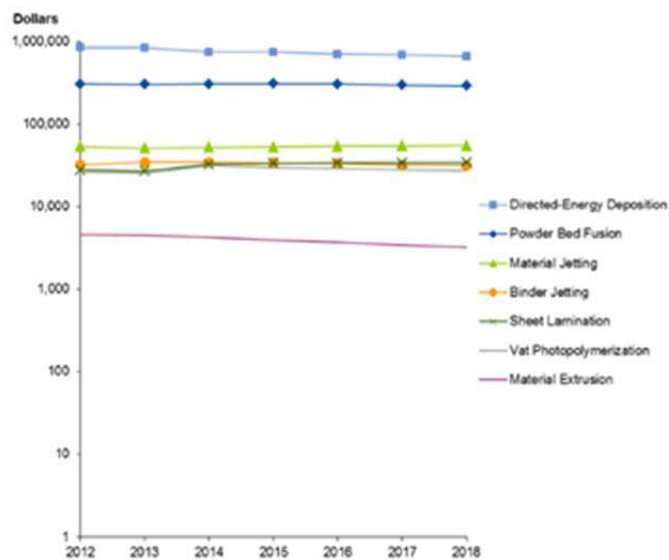
Material Extrusion (Dépôt de filament) ;

Powder Bed Fusion (Frittage laser, en lit de poudre, de matériaux plastiques) ;

Sheet Lamination (Assemblage de feuilles) ;

Directed Energy Deposition (Dépôt de matière). Ces procédés très différents sont maîtrisés par des machines expérimentales de laboratoires, ou par des constructeurs de machines. Ils permettent la fabrication d'objets en différentes sortes de matériaux.

Figure 3. 3D Printer ASPs by Technology



Note: Scale is logarithmic.

Source: Gartner (October 2014)

Ce schéma est en échelle logarithmique, ASP signifiant prix moyen à la vente par technologie et en US dollars.

Source : Gartner, octobre 2014

► LES ESTIMATIONS DU GROUPE GARTNER PAR TYPE D'ÉQUIPEMENT ET PAR ZONE GÉOGRAPHIQUE

Les prévisions de Gartner Group en matière économique pour la vente de machines de fabrication additive (impression 3D) sont les suivantes :

**ACHATS D'IMPRIMANTES 3D PAR TECHNOLOGIE
(EN MILLIONS DE DOLLARS)**

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	CAGR (%) 2013-2018
Binder Jetting	24	34	54	87	150	288	599	77.2
Directed-Energy Deposition	7	9	13	19	30	49	89	57.2
Material Extrusion	156	252	420	789	1,580	3,316	6,966	94.2
Material Jetting	43	65	114	217	442	952	2,089	100.0
Powder Bed Fusion	111	132	163	199	253	337	483	29.6
Sheet Lamination	6	8	15	25	45	90	187	86.5
Vat Photopolymerization	59	75	145	273	569	1,269	2,989	109.0
Grand Total	405.8	576.0	923.0	1,609.4	3,068.0	6,299.2	13,401.8	87.7

Source : Gartner, octobre 2014

Ces chiffres sur les achats de machines en fabrication additive sont ainsi répartis entre les grandes régions du monde :

**ACHATS D'IMPRIMANTES 3D PAR GRANDES RÉGIONS
(EN MILLIONS DE DOLLARS)**

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	CAGR (%) 2013-2018
Eastern Europe	7	9	14	25	48	102	226	91.3
Emerging Asia/Pacific	6	9	15	27	54	114	248	93.5
Eurasia	0	1	2	4	7	14	31	100.5
Greater China	67	91	127	202	356	713	1,538	76.2
Latin America	2	5	7	11	21	42	89	80.7
Mature Asia/Pacific	46	63	101	171	322	658	1,377	85.4
Middle East and North Africa	3	4	8	12	20	39	77	82.2
North America	173	257	433	790	1,556	3,228	6,861	92.9
Sub-Saharan Africa	0	0	2	3	4	8	16	109.3
Western Europe	101	138	213	366	679	1,383	2,938	84.4
Grand Total	406	576	923	1,609	3,068	6,299	13,402	87.7

Source : Gartner, octobre 2014

On notera la prédominance américaine qui ne fera que se renforcer d'après Gartner Group, et en Asie, la prédominance estimée de la Chine, qui reste cependant à environ 50% des investissements réalisées par l'Europe de l'Ouest. Voir ci-après les pays qui comptent, par grande région :

LES PRINCIPAUX PAYS CONCERNÉS PAR L'IMPRESSION 3D PAR GRANDES RÉGIONS DU MONDE

Region	Countries
North America	Canada, United States
Latin America	Argentina, Brazil, Chile, Columbia, Mexico, Rest of Latin America
Western Europe	Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Ireland, Italy, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland, United Kingdom, Rest of Western Europe
Eastern Europe	Czech Republic, Hungary, Poland, Rest of Eastern Europe
Greater China	China, Hong Kong, Taiwan
Mature Asia/Pacific	Australia, Japan, New Zealand, Singapore, South Korea
Emerging Asia/Pacific	India, Indonesia, Malaysia, Thailand, Rest of Emerging Asia/Pacific
Eurasia	Russia, Rest of Eurasia
Middle East and North Africa	Israel, Saudi Arabia, Turkey, Rest of Middle East and North Africa
Sub-Saharan Africa	South Africa, Rest of Sub-Saharan Africa

Source : Gartner, octobre 2014

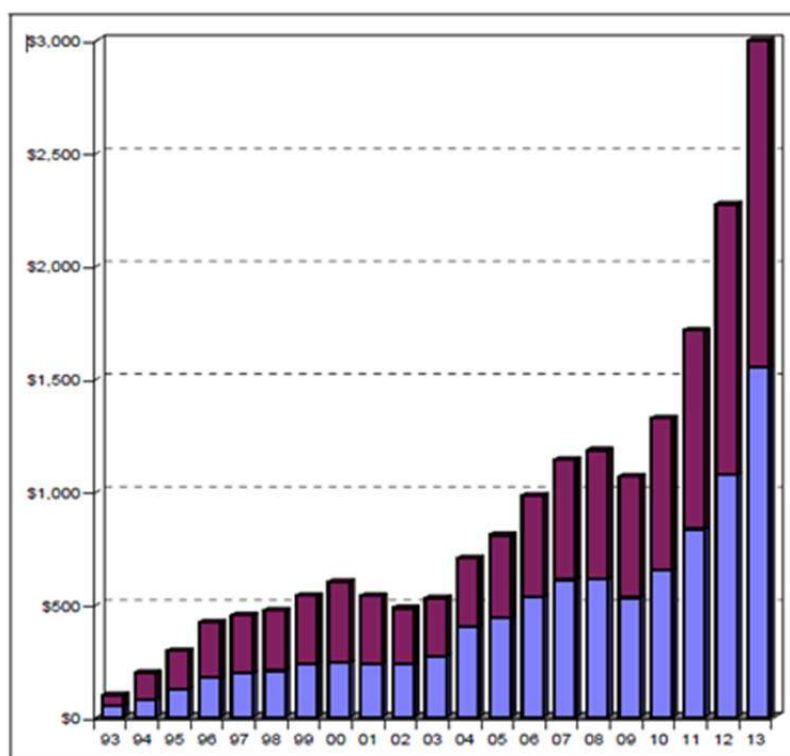
► LA VENTILATION GLOBALE DU CHIFFRE D'AFFAIRES : DES ÉQUIPEMENTS, CERTES, MAIS AUSSI D'AUTRES ÉLÉMENTS À VALEUR AJOUTÉE

La fabrication additive ne se limite pas aux machines de fabrication. Elle inclut aussi tout leur environnement amont (les matériaux, les technologies, les recherches, les lasers) et aval (la production de pièces, les services, les formations).

Cette globalité est retracée par le cabinet Wohlers, qui fait l'hypothèse d'un chiffre d'affaires en 2013 de 3,070 MM\$ en comptant tous les produits et services qui sont directement associés à la fabrication additive, tous les systèmes de production, les contrats de maintenance, les services associés à la fabrication, les formations et séminaires, les contrats de recherche et de consultant.

D'après ce cabinet, la croissance a été de 35,2% de 2013 à 2014 (4,1 MM\$) de 34,9% de 2012 (2,275 MM\$) à 2013, contre 29,4% de 2011 à 2012 et 24,1% de 2010 à 2011.

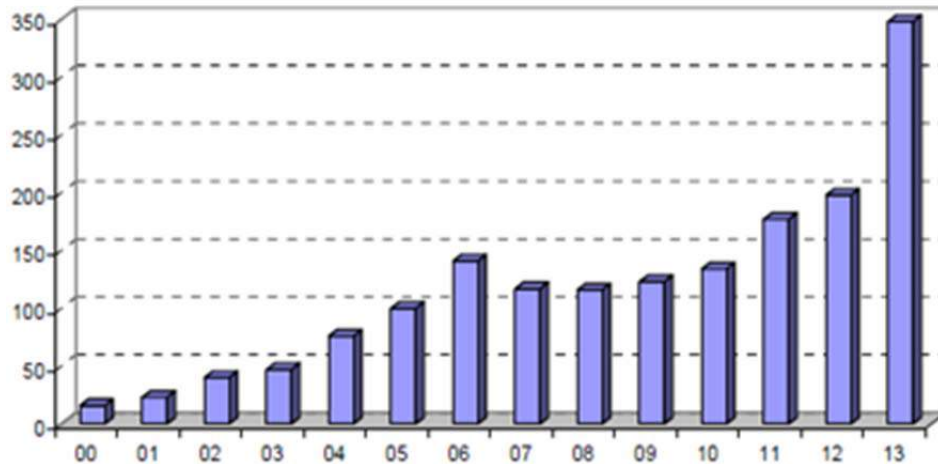
NB: La partie violette (bordeaux) représente les services alors que la partie bleue (inférieure) représente les produits.



Source: Wohlers Associates, Inc.

- Les imprimantes pour particuliers de type RepRap bénéficient d'une croissance de ventes de 100% annuel depuis 2012 (35 000 exemplaires vendus) jusqu'à 2014 (140 000 exemplaires vendus).
- C'est dans les applications métalliques que le changement est le plus significatif, la vente de machines pour des fabrications métalliques s'envole, écrit ce cabinet d'analyse : 348 machines pour le métal ont été vendues en 2013 contre 198 en 2012, un accroissement de 76%. En 2014, ce chiffre serait de 540 machines vendues, soit + 55%.

NOMBRE DE MACHINES EN FABRICATION MÉTALLIQUE VENDUES DANS LE MONDE

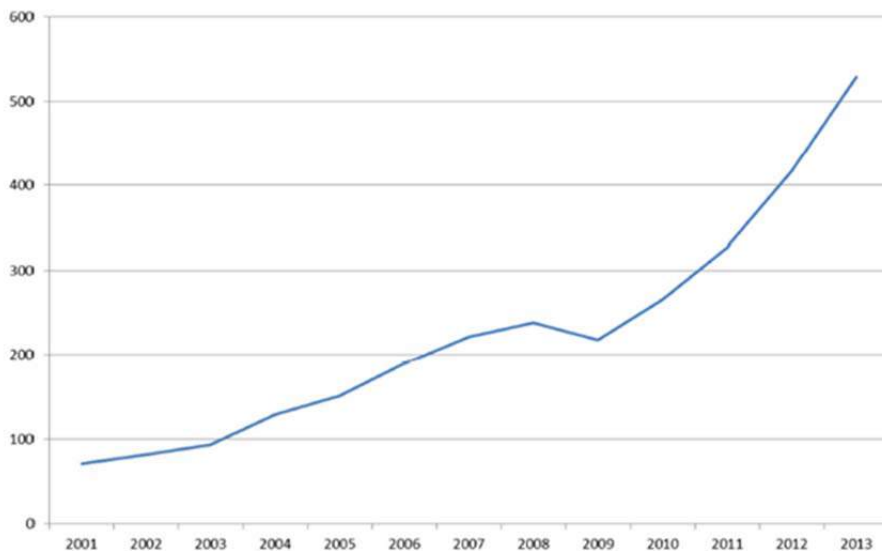


Source : Wohlers Associates, Inc.

Les applications en métal allant des implants orthopédiques (90 000 auraient été produits d'après Terry Wohlers et 40 000 déjà implantés dans des malades), aux injecteurs de General Electric (30 000 à produire annuellement à partir de 2015) sont de très bons exemples.

- En fait, tous les domaines connexes à la fabrication additive voient leurs développements accélérer leur croissance : c'est notamment le cas des matériaux utilisés par les imprimantes.

MONTANT DES VENTE DE MATÉRIAUX (EN MILLIONS DE DOLLARS)



Source : AFPR – Présentation à bpifrance octobre 2014

Les fabricants d'imprimantes 3D cherchent d'ailleurs un relais de croissance en intégrant en amont une ou plusieurs sources de matériaux (par exemple, le fabricant suédois Arcam a acheté fin 2013 une société canadienne - AP&C - spécialisée en production de poudre métallique, notamment de titane, cette intégration en amont étant vue par l'entreprise suédoise comme un levier de très forte croissance pour commercialiser les matériaux utilisés dans leur machines)¹³ : certains fabricants de machines proposent d'une manière ouverte leurs matériaux, leurs logiciels, d'autres tentent de l'imposer en menaçant de ne pas donner de garantie sur leurs imprimantes 3D si des logiciels, des matériaux autres que ceux fournis par eux-mêmes sont utilisés sur leurs machines. D'autres enfin, tout en proposant des matériaux laissent leurs machines totalement ouvertes à l'utilisation de matières achetées à d'autres fournisseurs.

¹³ Citons aussi le cas par exemple du français Proadways qui a fait l'acquisition de 2 sociétés pour élargir sa gamme de services.

Le champ d'exploration des filières de matériaux est tout à fait stratégique. La France a deux fournisseurs qui travaillent dans des domaines très disjoints et qui s'intéressent de près au développement des produits pour fabrication additive :

- * Arkema : dans les polymères et thermoplastiques,
- * Eramet Erasteel : dans le domaine des poudres métalliques.

D. LES NOUVELLES TENDANCES CONSTATÉES

► LA SITUATION DEPUIS 2014

L'intérêt pour l'impression 3D a atteint un niveau inconnu jusqu'alors, selon le cabinet Wohlers, qui étudie ce secteur depuis 25 ans :

- La plupart des sociétés cotées des fabricants de systèmes / machines en AM ont attiré les investisseurs et ont vu, quand elles étaient cotées, leur capitalisation boursière augmenter significativement pendant 6 ans, de 2008 à 2014, et pour les deux leaders, un dégonflement de bulle depuis 18 mois¹⁴ ;
- Les entreprises, les individus, les gouvernements, qu'ils soient nationaux, locaux ou régionaux, ont investi dans ces technologies. La plupart des très grandes sociétés technologiques, qui ont été passives sur le sujet de la fabrication additive depuis 25 ans, sont en train d'élaborer une stratégie active ;
- Aux États-Unis, les sites de crowdfunding ont permis le démarrage de plusieurs start-up avec des projets d'imprimantes 3D. Il a été dit que l'impression 3D est une façon de démocratiser la fabrication, associé au crowdfunding, l'effet de sensibilisation du public a été double ;
- Toujours aux États-Unis, les imprimantes 3D sont un vecteur de création d'intérêt pour le monde de la fabrication. C'est d'abord une réaction d'étonnement et d'admiration quand on le pratique ou on l'apprend pour la première fois. Pour les jeunes, c'est un mélange de high tech, de dépassement de la connaissance, et « c'est cool ». En fait, pour les jeunes, cela devient vite un moyen de fabriquer des objets intéressants plutôt que « de l'industrie ». Beaucoup d'écoles, d'universités ont installé des imprimantes 3D, une façon de remettre le « faire » et la « fabrication » au cœur du quotidien des jeunes et de la population¹⁵.

► ET DANS LE FUTUR ?

- Cette forte croissance doit toucher tout autant le marché de consommation que le marché des industriels ;
- Jusqu'à présent, le principal marché se situe en Amérique du Nord... et rien n'indique que cela changera profondément.

Néanmoins :

- La Chine est convaincue des enjeux et semble vouloir se donner les moyens de dépasser les États-Unis dans les trois ans qui viennent ;

¹⁴ C'est le cas de 3D Systems et Stratasys qui ont connu sur la période une perte de 50% de leur valorisation par rapport à leur plus haute valeur de cotation. Pour les sociétés Voxjet et ExOne, cette perte de valorisation est d'environ 70%. Ces éléments ont sans doute ralenti le rythme effréné des fusions-acquisitions depuis un an sans toutefois l'interrompre.

¹⁵ Ces deux paragraphes sont traduits de propos exprimés par Terry Wohlers.

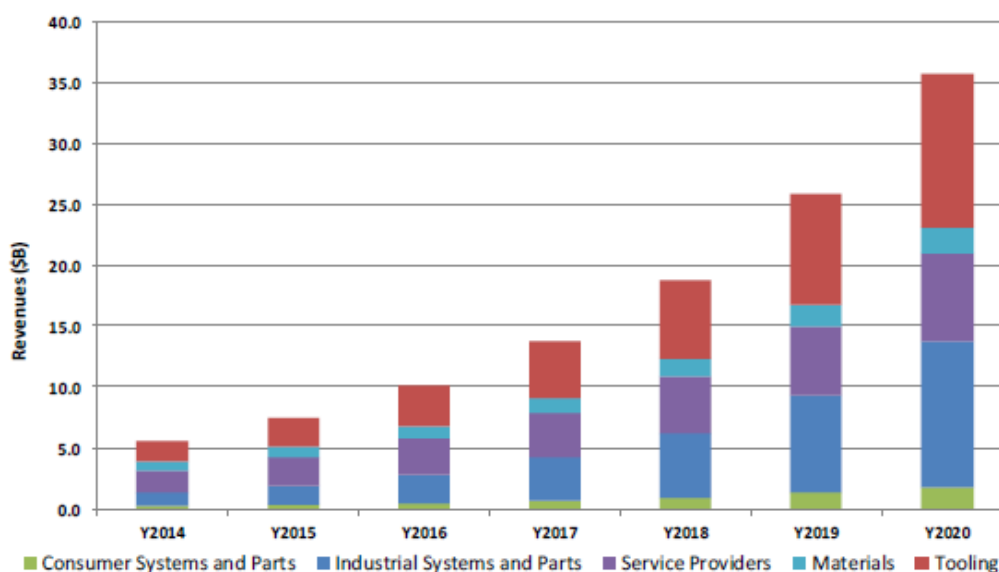
- Selon le rapport que Market Research Reports Inc. vient de consacrer aux perspectives offertes par plusieurs pays en croissance (Chine, Inde, Brésil, Afrique du Sud et Emirats Arabes-Unis), le marché de ces pays pourrait augmenter de plus de 20% par an d'ici à 2020 pour atteindre une valeur de 4,5 MM\$.

Le terreau y est en effet favorable car ces pays « opportunistes » (notamment Chine et Inde) semblent décidés à profiter des avantages que leur offrent la fabrication additive et le prototypage rapide pour favoriser la diffusion de l'innovation et des nouvelles technologies, considérées dans un sens plus large. Les politiques d'appui d'origine publique encouragent cette tendance, qui se trouvent renforcées par les politiques individuelles d'acquisition réalisées par les grands groupes (ex. prise de contrôle du brésilien Robotech par 3D Systems, Stratasys et 3D Systems réalisant depuis de nombreuses années près d'une acquisition par mois dans le monde entier).

Selon le cabinet Wohlers, l'industrie de la fabrication additive (machines, matériaux, services, y compris les conférences, les formations, etc.) a mis 20 ans pour atteindre le premier 1 MM\$, en 2006. En 2014, cette industrie représente 4,1 MM\$, soit un taux de croissance de 35,2%. Le cabinet Wohlers (étude mai 2014) prévoit une accélération : 7 MM\$ en 2016, et environ 12,5 MM\$ en 2018, 20 MM\$ en 2020.

Un autre cabinet (IHS, étude septembre 2014) prévoit une accélération beaucoup plus vertigineuse, dépassant les 35 Milliards de dollars en 2020, avec une partie outillage qui devient extrêmement importante, presque aussi importante que la fabrication de pièces industrielles. Ce chiffre est sans doute optimiste, la réalité se situant probablement plus près de l'estimation prudente du cabinet Wohlers, dans une fourchette indiquée par les deux cabinets 20 MM\$ - 35 MM\$ (Wohlers a l'avantage d'être présent depuis longtemps sur ces analyses, mais il ne peut prendre en compte des investissements de grands industriels probablement en cours et cachés, voir à ce propos par exemple l'annexe 11).

PRÉVISIONS DE REVENUS POUR LES ACTIVITÉS LIÉES À L'IMPRESSION 3D DE 2014 À 2020



Source : HIS, The Impact of 3D Printing on the Industrial Manufacturing Sector – Sept 2014

Ce qui est très intéressant sur le graphe ci-dessus, c'est la décomposition des flux : la partie outillage, d'après l'institut de recherche (outils, moules, mais IHS considère également les prototypes) capterait la croissance la plus forte.

IHS fait remarquer que la croissance de la fabrication additive s'est faite à deux chiffres depuis les années 1980, avec une accélération depuis 2009 quand les brevets des technologies FDM (fil fondu) sont tombés. D'après IHS, en 2014, un certain nombre de brevets-clé concernant le SLS (fusion sur lit de poudre, matériaux thermoplastiques) s'arrêtent également, un facteur qui pourrait booster ce segment, voir l'ensemble de la fabrication additive.

II - STRATÉGIE INTERNATIONALE DES ACTEURS PRIVÉS : QUELS ENSEIGNEMENTS ?

Depuis l'époque « expérimentale », datant tout de même de plus de vingt ans, où des spécialistes du prototypage puis des start-up initiées par quelques jeunes visionnaires faisaient progresser un marché encore hésitant, le marché a progressivement considérablement mûri et s'est structuré, tout en se diversifiant et en s'internationalisant.

Il est actuellement d'une très grande effervescence et d'une très grande complexité. La France n'est guère présente dans les forums internationaux ni dans les études spécialisées¹⁶, laissant craindre que son industrie, voire sa recherche, souffrent soit d'un manque d'intérêt pour le sujet soit d'un manque de visibilité.

La vitesse de l'évolution du secteur et l'activité économique et financière qui y règne, y compris au niveau des rumeurs d'acquisitions, sont telles que ce chapitre ne tentera aucune synthèse d'un état du secteur mais s'efforcera plutôt de montrer les lignes de force de son évolution. L'un des plus grands défis dans cette compréhension est reflété par l'instabilité boursière des grands joueurs du secteur pour laquelle il est délicat de trancher entre des causes qui peuvent venir à la fois de l'incertitude intrinsèque au secteur (consolidation, technologies, etc.) et à des causes inhérentes au business model. En effet, il est très difficile à l'heure actuelle de savoir qui, des utilisateurs, des fournisseurs de matériaux, des fournisseurs de software ou encore des fournisseurs de machines, profitera le plus du surplus économique ainsi créé.

Les paragraphes suivants représentent une synthèse de l'annexe 7 qui comporte de nombreux exemples concrets.

La période actuelle se caractérise par huit grandes tendances :

1. **DIVERSIFICATION DES ACTEURS** : les grands fabricants d'imprimantes 3D ne monopolisent pas le marché. Les grands industriels, utilisateurs de longue date de ces technologies, le modèlent également, quand ils ne créent pas eux-mêmes le matériel dont ils ont besoin. Quant aux fabricants d'imprimantes traditionnelles, après une période d'incertitude, il semble qu'ils aient décidé de faire entendre leur voix ! Enfin, les fabricants de poudre ou les fournisseurs de software savent que leurs éléments sont cruciaux pour la qualité des applications, la vitesse d'exécution, la dimension économique de la production. Cette diversification devrait s'accélérer rapidement sous la double pression de la multiplication des usages et des enjeux d'une part et de l'entrée de nombreux brevets dans le domaine public d'autre part.
2. **SPECIALISATION ACCRUE DES SAVOIR-FAIRE** : elle se traduit par le lancement d'équipements de plus en plus performants et des enjeux éducatifs et opérationnels nombreux. La multiplication des technologies, des procédés de fabrication, des combinaisons matériaux-machines-software, et l'explosion des usages imaginés par les designers de tous horizons vont rendre essentiels d'une part une description plus rationnelle des savoir faire à venir et d'autre part la mise en œuvre concrète de la combinaison de savoir-faire complémentaires entre eux.
3. **SOPHISTICATION DES APPLICATIONS** : la volonté d'exploiter l'AM d'une façon de plus en plus sophistiquée, en l'appliquant à un nombre croissant de matériaux ou d'alliages, et/ou en faisant évoluer les conditions de cette exploitation. Il est à noter que toute nouvelle avancée en produits, en matériaux, ou en machines, déclenche un phénomène cumulatif d'innovations à travers un grand nombre d'industries.
4. **APPARITION D'UNE GAMME DE PLUS EN PLUS LARGE DE SERVICES CONNEXES** : celle-ci va de pair avec la diversification des formes de commercialisation des produits et des savoir-faire. Ces services conduisent de nombreuses industries de service à envisager de revoir leur business models par exemple

¹⁶ Comme exemple le remarquable rapport Wohlers dont un résumé peut être consulté ici : http://www.sme.org/uploadedFiles/Publications/ME_Magazine/2015/May/May%202015%20f3%20Additive.pdf

autour de la logistique (stockage, livraison, fabrication à l'unité) ou de l'adaptation fine aux exigences des consommateurs. Le marketing personnalisé, déjà bien connu, va nettement s'affirmer sous la forme de la production d'objets customisés.

5. **EXPANSION VERS DE NOUVEAUX DOMAINES OU SECTEURS** : ceux-ci sont parfois improbables ou nous apparaissent parfois encore comme de la science-fiction (ex. alimentation, architecture et construction, mode, joaillerie, santé, missions spatiales, art, etc.), mais dont les leaders du marché pressentent qu'ils ouvrent des perspectives de marchés substantielles, parfois complètement inédites.

Tous les secteurs s'intéressent désormais à ces technologies que ce soit pour des produits finis, des briques dans la production ou l'invention de nouveaux produits. Le prototypage demeure un élément très important et qui progresse très rapidement grâce aux avancées des technologies additives, tout en perdant en importance relative.

Cette expansion est d'autant plus massive que les joueurs ont tous compris qu'il ne s'agit pas de remplacer des technologies traditionnelles par d'autres mais d'imaginer de nouvelles combinaisons technologiques permettant plus d'innovation, des business models plus performants et des coûts ou des délais de production qui peuvent être fortement diminués.

6. **INTERNATIONALISATION DU PHENOMENE** : celle-ci se manifeste à la fois :

- par l'émergence de nouveaux acteurs dans des pays jusque-là peu présents dans ce type d'activité ;
- par l'arrivée de joueurs importants dans des pays émergents comme la Chine ou par l'entrée de joueurs de pays émergents dans des groupements ou des projets mondiaux (voir annexe 9 sur l'Afrique) ;
- par des processus de rachats ou de prises de contrôle à l'échelle internationale ;
- par la montée de consortiums de normalisations qui sans aucun doute vont aiguïser la concurrence et risquent de créer des « clusters » par types de normes.

7. **DEMOCRATISATION ACCELEREE** : elle a pour conséquence d'accroître les marchés de consommation, sans que cela soit préjudiciable au secteur industriel, qui conserve de nombreuses opportunités de développement (en particulier pour tout ce qui concerne la rationalisation des processus de production), et sans que cela nuise à la dynamique d'innovation, puisque le secteur bouillonne d'initiatives nouvelles, dont certaines, particulièrement futuristes, étaient inconcevables il y a moins de cinq ans. La démocratisation joue un rôle de motivation au niveau social, d'aiguillon sur le plan de l'offre marketing et de défi dans le domaine de la production d'objets complexes.

8. **RÔLE SOCIÉTAL ACCRU ET EN RESONNANCE AVEC LA SOCIÉTÉ** : la démocratisation s'accompagne d'une contribution originale à l'implication sociétale : grâce à sa flexibilité, l'impression 3D permet à de nombreux acteurs-citoyens d'exprimer leur créativité dans les domaines les plus inattendus (philanthropie, protection de l'environnement, sécurité des travailleurs, etc.). Les dimensions fondamentalement écologiques, locales, collaboratives et innovatrices de ces technologies s'inscrivent parfaitement dans les développements sociologiques actuels qui favorisent l'écologie et le collaboratif (*sharing economy*).

Cette effervescence se manifeste également par la multiplication des médias et des événements dédiés, qui jouent un rôle dans l'évolution de la concurrence, la diffusion des technologies et leur appréhension par un public de plus en plus large.

L'ensemble de ces points est développé et largement illustré dans la partie consacrée aux modèles économiques et en annexe 5 (Fiches entreprises – panorama international).

III - PANORAMA INTERNATIONAL DES STRATÉGIES MISES EN PLACE PAR LES POUVOIRS PUBLICS : DES BALBUTIEMENTS AUX PLANS STRUCTURÉS, DES SIMPLES ENCOURAGEMENTS À LA COURSE DE VITESSE

La fabrication additive (« Additive Fertigung ») vue de Berlin : « Il s'agit potentiellement d'une technologie-clé. Comme telle, elle peut servir à renforcer la production industrielle en Allemagne. Elle peut aussi servir à limiter les transferts de création de richesse et d'emplois vers d'autres territoires et même contribuer à rapatrier en Allemagne certaines parties de chaînes de valeur (« onshoring »)¹⁷ ».

Le gadget initial s'est mué en arme stratégique !

Après le processus initial de maturation, pris en charge majoritairement par des entreprises-pilotes, essentiellement américaines, le secteur de la défense a manifesté un certain intérêt pour la fabrication additive car elle offre une souplesse parfaitement adaptée aux besoins de ces opérateurs, habitués à travailler à distance et dans la discrétion.

Mais, paradoxalement, alors que la fabrication additive connaissait, ces dernières années, un développement considérable, tant sur le plan de la technologie que des applications, les Etats les plus puissants dans le domaine industriel subissaient des pertes de substance liées à la délocalisation de nombre de leurs activités.

Face à cette situation, devenue inquiétante du fait des pertes d'emplois et, corollairement, de savoir-faire, qu'elle occasionnait, la réaction s'est manifestée, non plus sur la plan économique ou scientifique, mais bel et bien politique.

En effet, la tertiarisation de l'économie ayant montré ses limites – et ses dangers – l'industrie a retrouvé des couleurs... et sa « légitimité d'antan » en termes de création de valeur ajoutée. Dans ces conditions, les autorités publiques des pays dans lesquels l'industrie continuait à jouer un rôle notable, quoique amoindri, ont décidé de veiller à soutenir, voire à restaurer, la compétitivité de leurs entreprises.

Or la fabrication additive présente l'avantage de modifier, voire de transformer, les chaînes de valeur, tout en permettant des percées innovantes tout à fait révolutionnaires dans des secteurs où celles-ci étaient impensables il y a seulement cinq ans.

En débarrassant l'industrie de certaines pesanteurs intrinsèques, l'impression 3D offre de nouvelles perspectives, notamment en termes de relocalisation d'activités jadis confiées à des opérateurs lointains. Du coup, les pays ayant bénéficié de ces délocalisations s'inquiètent pour leur avenir.

En effet, l'enjeu en termes d'emplois n'a pas échappé à la puissance publique, qui a décidé de miser, parfois gros – et, dans le cas des Etats-Unis et de la Chine, pour des raisons contradictoires - sur ce « sous-secteur » de l'industrie manufacturière, afin d'en faire un véritable levier de développement et d'innovation.

Aujourd'hui, il n'y a plus de place pour les doutes initiaux, même si certaines incertitudes demeurent, au vu des trajectoires, parfois déconcertantes, de certains opérateurs historiques.

L'impression 3D est bel et bien devenue une arme, pacifique certes, mais une arme quand même, capable, qui plus est, de modifier, non seulement les processus industriels, mais aussi les comportements des consommateurs.

¹⁷ Extrait (p. 79/80) du rapport annuel 2015 de la Commission d'experts pour la recherche et l'innovation (Expertenkommission Forschung und Innovation, EFI) remis, en février dernier, aux plus hautes autorités publiques allemandes. Cette Commission, créée en 2006, réunit six enseignants-chercheurs, spécialisés en économie de l'innovation, dans le but d'analyser la performance du système de recherche et d'innovation allemand et d'émettre des recommandations en vue de l'améliorer.

Pour accompagner cette mutation ou, s'agissant des « retardataires », pour tenter d'en capter les effets, les autorités publiques, dans un nombre croissant de pays, ont adapté à cette réalité très évolutive leur politique de soutien aux entreprises et aux pôles de compétences locaux.

Ceci aboutit à un panorama contrasté d'où se dégagent, en dehors du cas spécifique du « leader historique » (les Etats-Unis), quatre types de profils, qui peuvent être appréhendés schématiquement selon la typologie suivante :

- Les « coureurs de fond » (Allemagne, Israël, Corée du Sud, Japon...), dans lesquels l'effort de R&D des entreprises et les partenariats que celles-ci nouent avec des structures d'appui régionales sont les moteurs principaux de l'action ; il est à noter que le Royaume-Uni occupe une place particulière, à mi-chemin entre les positions américaine et allemande ;
- Les « interventionnistes » (Chine, Taïwan, Singapour...), où la puissance publique définit priorités et budgets au plus haut niveau (ce qui est aussi vrai des Etats-Unis, à ceci près que les initiatives régionales, notamment en collaboration avec le monde universitaire, y sont plus nombreuses) ;
- Les « opportunistes » (Inde, Australie, Brésil, Emirats, Afrique du Sud...), dans lesquels l'initiative privée a suscité des ouvertures intéressantes, en voie d'expansion/consolidation ;
- Les « défricheurs » (ex. Afrique sahélienne), qui sont partis plus tard, et avec beaucoup moins de moyens financiers et technologiques, mais qui peuvent brûler les étapes s'ils bénéficient des technologies adaptées.

L'analyse des données dont nous disposons permet de mettre en évidence les facteurs qui conditionnent le profil des principaux pays concernés.

GRANDES CARACTÉRISTIQUES DES « FAMILLES D'ACTEURS »

	USA	ALLEMAGNE	CHINE	ITALIE BELGIQUE PAYS-BAS	ROYAUME UNI	SINGAPOUR	CORÉE DU SUD	JAPON	FRANCE
Cadre politique à haut niveau	+++	++	++	+	++	+++	++	+	+
Enveloppes budgétaires publiques directes	++	+	+++	+	++	++	+	/	/
Enveloppes budgétaires publiques indirectes	+++	++	+	+	+	/	/	++	/
Compétences universitaires	+++	++	++	++	++	+	+	++	++
Compétences technologiques	++	++	++	++	++	+	++	++	++
Structures d'appui	++	++	+	+	++	+	+	+	++
Dynamique des fabricants, fournisseurs et prestataires de services du secteur 3D	+++	+++	+	++	+	+	+	+	+
Dynamique des entreprises utilisatrices	++	++	+	+	++	/	+	+++	+
Associations professionnelles spécialisées	++	++	/	/	+	/	/	/	+
Médias	++	++	/	/	++	/	+	+	/
Enseignement (supérieur, technique, ...)	++	++	+	++	++	+	+	++	+
Sensibilisation du grand public	+++	++	/	+	++	+	+	+	++
Dynamique « Do it yourself »	+++	++	/	+	++	/	+	+	+

Le développement global de la fabrication additive dans le monde, particulièrement marqué depuis le début de la décennie, s'explique par deux tendances fortes :

- Dans les pays disposant d'une vraie tradition industrielle, la nécessité de repenser le rôle, les moyens et les performances de l'industrie manufacturière s'est imposée tant en Europe qu'aux Etats-Unis ou en Chine, de manière à combattre les effets de la crise économique internationale. Dans ce cadre, la fabrication additive est vite apparue comme un levier particulièrement approprié pour dégager de nouvelles marges de manœuvre. Les pouvoirs publics (nationaux et européens) se sont alors emparés du phénomène pour renforcer, souvent de manière énergique, les efforts consentis par les entreprises et les centres d'expertise (et le faire savoir à l'extérieur, dans une optique claire de propagande nationale). Dans ce contexte, l'Allemagne et Israël occupent des places particulières car ces deux pays, conformément à leur tradition développent leur R&D de manière continue, dans le but de conserver un haut niveau de compétitivité.
- Dans nombre d'autres pays, les acteurs locaux n'ont pu que constater la manière dont le panorama évoluait chez les leaders disposant d'une plus grande expérience. Au-delà du constat, ils ont réagi, à leur manière, en compensant leur faiblesse ou leur retard relatif par des approches prenant en compte des atouts locaux (ex. l'Australie, faisant le choix de miser sur le titane, dont elle est productrice).

A. LES STRATÉGIES PUBLIQUES NATIONALES : DU SIMPLE ENCOURAGEMENT A UN INTERVENTIONNISME MARQUÉE

1. Les Etats-Unis : le « leader historique »



Un secteur vital : L'industrie manufacturière revêt une importance stratégique pour le pays. Elle représente plus de 160 MM\$ de valeur ajoutée (soit 12% du PIB des Etats-Unis) et plus de 11% des emplois (soit 11,5 millions). Elle est historiquement tournée vers l'innovation puisque les deux tiers des dépenses privées de recherche et développement lui bénéficient directement. Mais le secteur a subi la crise de plein fouet et, dépassé par la Chine et l'Allemagne depuis 2009, la compétitivité a fortement baissé et s'est accompagnée d'une disparition massive d'emplois.

Face à cette situation, la riposte s'est organisée au plus haut niveau, en prenant une forte coloration politique et nationaliste. Le monde de l'entreprise y a été associé dès l'origine, qu'il s'agisse des « grands utilisateurs industriels » (ex. Boeing) ou des fabricants d'imprimantes 3D (notamment 3D Systems et Stratasys, qui ont joué un rôle de pionniers).

La réponse politique : « Join the revolution ! »

► Conscient de la nécessité de relancer l'emploi industriel affecté par la crise économique internationale, le Président Obama a lancé une vaste campagne (« We can't wait ! »)¹⁸, visant à faire pression sur le Congrès.

Elle était assortie d'un plan ambitieux de 447 MM\$ visant à soutenir massivement la création d'emploi dans le courant l'année 2012. Concrètement, cela s'est traduit, notamment, en termes de méthode, par le développement de nouveaux partenariats public-privé destinés à faire coopérer entreprises, universités et établissements d'enseignement supérieur¹⁹.

► **Entre 2011 et 2014, l'accent a été mis sur la fabrication industrielle de pointe (« Advanced Manufacturing »)** : sur le plan technique, les autorités américaines, conseillées par le PCAST, ont décidé de se donner les moyens de renforcer l'avantage concurrentiel national que peuvent apporter ces activités. Il en est résulté un document stratégique²⁰, dont le titre, dépourvu d'ambiguïté, confirme la volonté publique d'investir massivement dans ce levier de compétitivité.

¹⁸ Initiative "We can't wait" (24.10.2011) : <http://www.theguardian.com/world/2011/oct/24/obama-jobs-campaign-congress>

¹⁹ We Can't Wait: Obama Administration Announces New Public-Private Partnership to Support Consortium of Businesses, Universities, and Community Colleges (16.08.2012): <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2012/08/16/we-can-t-wait-obama-administration-announces-new-public-private-partners>

²⁰ Report to the President on ensuring American leadership in Advanced Manufacturing (juin 2011) : <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-advanced-manufacturing-june2011.pdf>

► En 2014, cette stratégie a encore été renforcée car elle était apparemment payante : en effet, ce secteur aurait, selon la Maison Blanche, (re)créé 700.000 emplois entre 2010 et 2014²¹.

Fort de ce succès, et sans remettre en question ce qui avait été établi précédemment, le Président B. Obama a délibérément souhaité renforcer la compétitivité de l'industrie US, dans une perspective –très combative- de développement des capacités existantes et des compétences mobilisables.

Dans ses discours sur l'état de l'Union de 2013²² et de 2014²³, le Président Obama a lui-même appelé à la création d'un réseau national dédié à l'innovation en matière de manufacturing²⁴ (NNMI), afin de faire progresser les technologies et les procédés dans ce domaine-clé. Il a demandé au Congrès d'autoriser, sous forme de partenariat public-privé, l'investissement nécessaire à la création d'un réseau initial de 15 structures de ce type (avec, en perspective, un triplement du nombre de ces structures à l'horizon de dix ans)²⁵.

► Les dernières accélérations (octobre 2014) : Un nouveau rapport du PCAST a été rendu public en octobre 2014²⁶. Sa formulation est très claire : il ne suffit plus de mettre en place ; il faut accélérer le processus, en augmentant les moyens disponibles.

C'est ainsi que le Président a décidé, outre le fait d'encourager massivement l'efficacité énergétique pour faire baisser les coûts des industriels :

- d'étoffer le réseau NNMI, en le dotant de 4 centres supplémentaires,
- de consacrer 1 MM\$ à la formation des salariés et des techniciens²⁷,
- d'augmenter les investissements fédéraux en R&D dans ce secteur, afin de les porter à près de 2MM\$ (soit plus de 34% de plus que la dotation 2011, qui était de 1,4 MM\$).

2. Les « coureurs de fond »

Il s'agit d'acteurs solides, qui investissent dans le long terme... sans attendre les stimulants gouvernementaux, mais tout en étant en phase avec les pouvoirs publics nationaux.

En Allemagne, comme en Israël, l'accent mis de manière constante et réitérée sur la compétitivité incite les acteurs à rechercher en permanence la performance, en collaborant étroitement avec les entreprises. Vu de l'extérieur, cet état d'esprit se traduit par des processus de montée en compétences plus linéaires (et moins politiques).

► En **Allemagne**, le plan « industrie 4.0 », même s'il ne fait pas explicitement référence à l'impression 3D vise à faire évoluer les techniques et procédés de fabrication manufacturière. Or, traditionnellement, ce pays mise énormément sur deux types d'acteurs majeurs²⁸ :

- les centres de recherche et d'innovation décentralisés, largement représentés à travers des institutions telles que la Fondation Steinbeis ou la Fraunhofer Gesellschaft. Ces centres sont, on le sait, particulièrement efficaces en termes de collaboration entre entreprises et centres d'expertise scientifique et technologique, ce qui leur permet, assez naturellement, de bénéficier de financements publics nationaux ou régionaux. S'agissant de la fabrication additive, les Instituts Fraunhofer sont particulièrement impliqués, notamment celui de Paderborn ;

²¹ Voir les fiches suivantes, qui font état de comparaisons internationales (incluant la France) :

<http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/docs/manufacturingchartsfactsheet.pdf>

²² <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/02/12/remarks-president-state-union-address> (12.02.2013)

²³ <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2014/01/28/president-barack-obamas-state-union-address> (28.01.2014)

²⁴ Le NNMI (National Network for Manufacturing Innovation). Sa "philosophie" est présentée en annexe 6. **Le NIST a demandé un budget de 150 M\$ pour soutenir le NNMI en 2016.**

²⁵ En fait, fin janvier 2015, cinq de ces centres (dont le NAMII) sont opérationnels, et trois autres sont bien avancés dans leur processus de création. Ce dispositif de 8 centres a coûté, à ce stade, 1MM\$ sous forme de partenariat public-privé :

<http://manufacturing.gov/docs/Institutes-Summary.pdf>

²⁶ http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/amp20_report_final.pdf

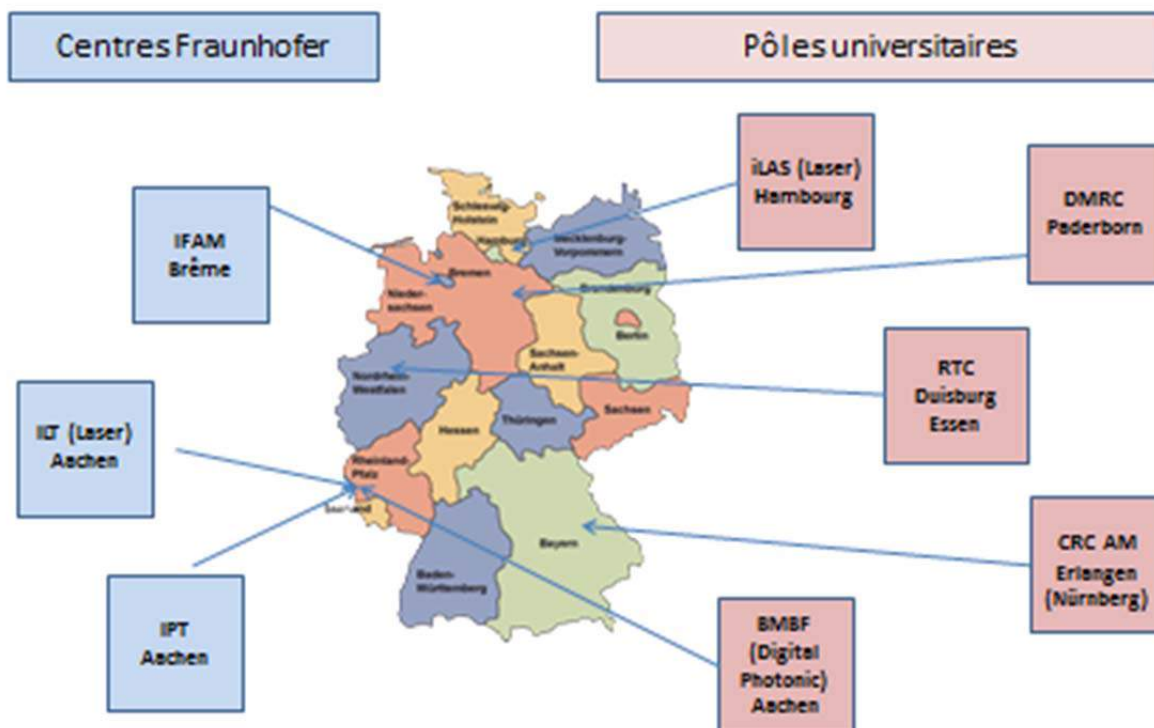
²⁷ President Obama Announces New Actions to Further Strengthen U.S. Manufacturing (27.10.2014): <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2014/10/27/fact-sheet-president-obama-announces-new-actions-further-strengthen-us-m>

²⁸ Source : Studien zum deutschen Innovationssystem - Nr. 17-2015 - Center for Digital Technology and Management (CDTM), München - February 2015 - http://www.e-fi.de/fileadmin/Innovationsstudien_2015/StuDIS_17_2015.pdf

- les universités, qui, dans ce domaine, ont procédé, à partir de 2008, à la mise en place de structures dédiées.

C'est ainsi que huit pôles de compétences se sont progressivement constitués et forment aujourd'hui la partie la plus visible du panorama de l'expertise allemande :

LES CENTRES D'EXPERTISE ALLEMANDS EN MATIÈRE DE FABRICATION ADDITIVE



Ces pôles comportent, eux-mêmes, des ramifications locales : si l'on prend l'exemple d'Erlangen (au nord de Nuremberg), la FAU (Friedrich-Alexander Universität) a développé, dans cette partie de la Bavière, un maillage de structures dédiées, qui encourage l'interdisciplinarité (laser, photonique, etc.). Parmi celles-ci figure le ZMP (Zentralinstitut für Neue Materialien und Prozesstechnik), au sein duquel une équipe travaille depuis plus de dix ans les technologies EBM (faisceaux d'électrons)²⁹.

Du côté des entreprises, les interlocuteurs sont de deux natures :

- les fabricants de matériel eux-mêmes³⁰ (voir tableau ci-après), qui disposent d'un bon positionnement dans la concurrence internationale, ainsi que les départements ad hoc de fabricants de machines-outils (ex. Trumpf AG) :

²⁹ <http://zmp.uni-erlangen.de/forschung-en-US/laser-based-additive-manufacturing/>.

³⁰ Selon le rapport EFI 2015 – Voir référence supra.

RAISON SOCIALE	LOCALISATION	CA 2013 (M€)	POUR EN SAVOIR PLUS
EOS Electro Optical Systems GmbH	Krailling (Haute-Bavière)	45,8	http://www.eos.info/en
SLM Solutions GmbH	Lübeck	21,0	http://stage.slm-solutions.com/index.php?index_en
Voxeljet AG	Friedberg (Hesse)	11,7	http://www.voxeljet.de/en/
Concept Laser GmbH (Hofmann Innovation Group)	Lichtenfels (Bavière)	7,0	http://www.concept-laser.de/en/home.html
Envisiontec GmbH	Gladbeck (RNW)	4,4	http://envisiontec.com/
Realizer GmbH	Borchen (RNW)	2,6	http://www.realizer.com/

- les leaders industriels, qui ont intégrés l'AM depuis de longues années dans leur processus productif et utilisent ses derniers développements pour promouvoir leur image³¹. Voir, par exemple, l'animation thématique proposée par Siemens à l'occasion de la Foire de Hanovre 2015.

► En ce qui concerne **Israël**, le panorama est faussé par le fait que Stratasys opère aussi bien sur le marché américain que sur le marché local... et à l'international. La dynamique des opérateurs privés a été telle que l'Etat, concentré sur d'autres tâches, ne s'est pas spécialement investi dans ce domaine.

Aujourd'hui, des voix s'élèvent³² pour demander une action publique visible, en particulier en vue de faciliter la dissémination de ces technologies dans le monde industriel au sens large.

En écho à cet appel, des initiatives universitaires individuelles permettent cependant de progresser. Ainsi, au Technion (Israël Institute of Technology)³³, le Pr. Nil Tessler a mis au point un procédé d'impression 3D de fine couches de métaux en très haute résolution, qui devrait permettre de concevoir et imprimer des objets combinant plusieurs fonctionnalités, chacune ayant été imprimée indépendamment des autres. Cette perspective est d'autant plus réaliste que le Pr. Tessler participe également au programme MAGNETON (parrainé par le ministère israélien de l'Economie), qui vise à faciliter les transferts entre univers académique et industrie.

► LE CAS PARTICULIER DU ROYAUME-UNI : UN VÉRITABLE EFFET « CATAPULT »

Le secteur manufacturier étant vital pour l'économie britannique³⁴, l'Etat a très tôt soutenu les dispositifs permettant de rationaliser et de renforcer l'efficacité des processus de fabrication, en particulier via le « High Value Manufacturing ». Dans ce contexte, la stratégie britannique pour l'impression 3D représente un modèle intermédiaire intéressant, car elle vise à optimiser le fonctionnement des structures existantes en faisant bénéficier les industriels des meilleures technologies disponibles sur le marché, à développer des technologies de niche (bio-printing, prothèses, etc.), ainsi que tout ce qui relève de l'usage, des logiciels et des interfaces.

► Pour pouvoir soutenir les efforts nécessaires au renforcement de la compétitivité, l'Etat a lancé début 2012 une consultation, qui a permis de faire émerger 5 thèmes transversaux, parmi lesquels les systèmes et les procédés de fabrication (manufacturing systems and processes).

³¹ Siemens à la Foire de Hanovre 2015 (13 au 17.04) : <http://w3.siemens.com/topics/global/en/events/hannover-messe/digitalization-forum/Pages/additive-manufacturing.aspx>

³² Telle que celle de Roy Keidar, animateur du Cross-Lab Network (voir infra) : <http://www.inside3dp.com/promised-land-3d-printing/>

³³ Voir : <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/77555.htm> (24.12.2014)

³⁴ L'industrie manufacturière « pèse » environ 6,7 MME, permettant au Royaume-Uni d'intégrer le groupe des dix premières économies mondiales. Ce secteur, qui emploie 2,5 millions de salariés, représente 10% de la valeur ajoutée globale du pays et 54% des exportations.

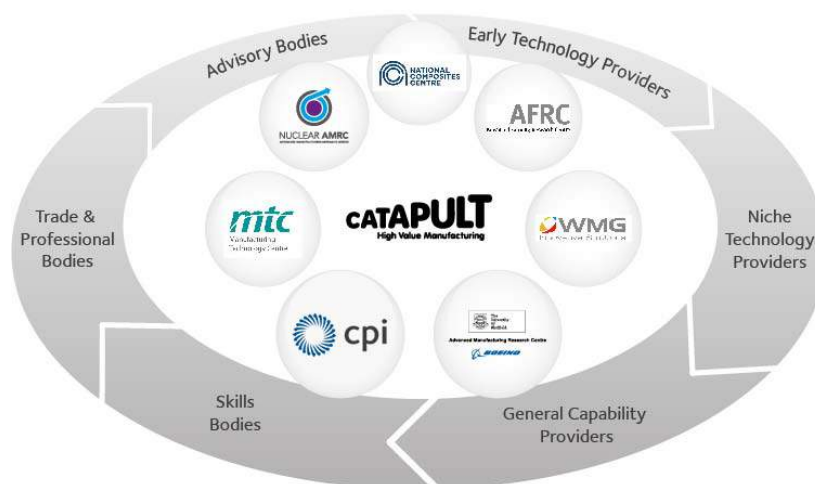
► Ce processus s'est conclu par l'adoption, en mai 2012, d'une « High Value Manufacturing Strategy 2012-2015 »³⁵, dotée d'un budget de 72 M£ et déclinée en une série d'actions-clés (cf plan d'action)³⁶, dont le renforcement du High Value Manufacturing Catapult (HVMC), créé en 2011 (voir ci-après).

► Dans le cadre de celle-ci, le Technology Strategy Board (TSB)³⁷ a annoncé, fin octobre 2012, qu'un investissement stratégique de 7 M£ serait consacré à la R&D dans le secteur de l'Additive Manufacturing, jugé prometteur. Dans la foulée, un appel à projets a été lancé en décembre 2012 sur le thème : "Inspiring New Design Freedoms in Additive Manufacturing".

Le TSB en a assuré la gestion, en collaboration avec trois organismes : Engineering & Physical Sciences Research Council (EPSRC), Arts and Humanities Research Council, Economic and Social Research Council.

"3D printing technologies offer huge potential for UK businesses to compete successfully by embracing radically different manufacturing techniques that could be applied across a wide variety of global market sectors, from aerospace to jewellery (...). We believe this new investment will help UK companies make the step change necessary to reach new markets and gain competitive advantage. Building on 20 M£ of previous Technology Strategy Board support for additive manufacturing innovation, it will help secure more of this game-changing high value activity for the UK, driving economic growth and enhancing quality of life." David Willetts (Ministre de la Recherche).

► Aujourd'hui, un peu moins de la moitié de la dotation affectée au High Value Manufacturing est consacrée au High Value Manufacturing Catapult³⁸, dispositif-tremplin qui coordonne les activités de 7 centres d'expertise sectorielle :



Ce financement a été récemment complété à hauteur de 89 M£³⁹, afin d'augmenter le nombre de secteurs couverts et d'accroître l'implication des PME.

³⁵ Voir : <https://www.innovateuk.org/documents/1524978/2139688/High+Value+Manufacturing+Strategy+2012-15/9b7e55f0-ed9a-4efe-89e5-59d13b2e47f7>

High value manufacturing (HVM): <https://www.innovateuk.org/documents/1524978/2138994/Delivery%20Plan%202014-15>

³⁶ https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/365766/High_value_manufacturing_-_action_plan_2014-15.pdf

³⁷ Aujourd'hui « Innovate UK ».

³⁸ A l'automne 2010, le gouvernement de coalition a décidé d'accorder à Innovate UK un financement supplémentaire de plus de 200 M£ pour mettre en place 7 "Catapults" pendant la période 2011-2015. Au sein de ce dispositif, le HVMC a été mis en place par le gouvernement dans le but de donner une impulsion nouvelle à l'industrie britannique grâce à la mise en réseau de 7 centres techniques qui fournissent une expertise transversale aux PME comme aux grands opérateurs industriels du pays. Ce consortium a notamment pour ambition d'accélérer la diffusion des technologies dans le monde industriel, **de façon à permettre à terme le doublement de la contribution du secteur manufacturier au PIB britannique**. Le HVMC, comme ses homologues, fonctionne grâce à un panachage de fonds publics et privés provenant essentiellement de contrats de recherche.

Voir : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/368416/bis-14-1085-review-of-the-catapult-network.pdf - Actualité : <https://hvm.catapult.org.uk/>

³⁹ <https://hvm.catapult.org.uk/documents/2157642/0/Autum+Statement+Press+release/c392e395-e123-4fcd-8481-5f82421a5200>

Parallèlement :

- les techniques avancées de fabrication continuent à bénéficier d'un soutien marqué des autorités, celles-ci ayant récemment annoncé⁴⁰ que vingt projets de type « supply chain » bénéficieraient d'une dotation de 176 M€ (dont 38% apportés par l'Etat) ;
- l'impression 3D continue à être d'actualité dans le secteur de la défense. En effet, le CDE (Centre for Defence Enterprise) lance périodiquement des appels d'offres en vue de la modernisation des équipements de l'armée britannique. Or, un tout récent « Marketplace » organisé par le CDE le 5 février 2015 était consacré à l'impression 3D⁴¹.

► LE CAS DE LA FRANCE

Les diagnostics qui ont été établis concernant la stratégie française en matière de fabrication additive, et que nous partageons, sont assez unanimes : il apparaît que la France n'est guère avancée dans ce domaine⁴². Ainsi la place de la fabrication additive dans le plan Usine du Futur s'est-elle trouvée très limitée.

Ce constat ne doit toutefois pas masquer les initiatives entreprises par les différents acteurs du système, qui opèrent souvent en réseau. Nous avons déjà cité les entreprises du secteur. Il va de soi que l'engagement du groupe Gorgé par le rachat de Phidias en 2013 est un facteur de développement important ; le rachat de Phenix par 3D Systems n'empêche pas sa proximité avec le tissu industriel français ; quant aux autres producteurs d'imprimantes et aux sociétés axées sur le service tels que Sculpteo, ils témoignent également de ce que des forces vives et ambitieuses se manifestent et se développent. Symétriquement, les grands acteurs de l'industrie française ont pris la mesure des enjeux.

On peut également citer les initiatives du CETIM, notamment en matière de mutualisation des machines, ainsi que l'implication des écoles et universités : l'Ecole nationale supérieure d'Arts et Métiers, l'Ecole Centrale Paris, l'Ecole Centrale de Nantes et l'ESIEE sont ainsi résolument engagées dans ce domaine, d'autres s'y impliquent. Mais les moyens dont dispose le monde académique y restent modestes.

Parallèlement, l'Association française de prototypage rapide (AFPR), qui s'est attelée depuis sa création en 1992 à sensibiliser à l'importance de la fabrication additive, joue un rôle important dans l'animation du dispositif national

Toutefois, beaucoup reste à faire. Dans cette perspective, le rapport du CESE a préconisé de créer un écosystème favorable et que les pouvoirs publics « clarifient leurs intentions quant à l'avenir des 34 plans industriels et plus particulièrement celui dédié à l'usine du futur ».

La stratégie industrielle visant à mobiliser les acteurs autour du projet Industrie du Futur, récemment annoncée, décline des axes structurants. Elle fait d'une certaine manière pendant à la stratégie Industrie 4.0 dont l'importance a été commentée pour l'Allemagne. Précisons que le premier de ses piliers, qui porte sur le développement de l'offre technologique pour l'industrie et s'appuie sur un programme d'investissement d'avenir de 305 millions d'euros ainsi que sur 425 millions d'euros du fonds SPI (Société de Projets industriels), fait explicitement mention de la fabrication additive, au même titre que des objets connectés et de la réalité augmentée.

A cela s'ajoutent des initiatives prises notamment en Régions témoignant de ce que le sujet est pris au sérieux dans l'ensemble du pays. Le Club Impression 3D et Fabrication Additive Nord-Pas de Calais portée par les CCI Nord de France⁴³ ou la Cité de l'objet connecté (COC), usine d'un genre nouveau, inaugurée le 12 juin dernier à Angers en sont des exemples concrets. L'objectif de cette cité est notamment de concentrer en un même lieu diverses compétences : mécanique, électronique, design, etc. Les innovateurs auront accès à un panel de services et de machines (CAO, machine de placement de composants électroniques, imprimantes 3D professionnelles, machines de découpe laser, équipement de contrôle dimensionnel...), tout pour tester l'industrialisation et lancer des préséries leur permettant de faire avancer leurs idées, voire dans certains cas

⁴⁰ Manufacturers get more support from government (26.03.2015): <https://www.gov.uk/government/news/manufacturers-get-more-support-from-government>

⁴¹ <https://www.gov.uk/government/news/protecting-our-armed-forces-with-3d-printing>

⁴² C'est ce qui ressort en particulier du projet de mémoire de troisième année du Corps des Mines portant sur la fabrication additive et rédigé par Charles-Pierre Astolfi, Emmanuel Constantin, Antoine Moulet, qui comprend également une analyse internationale approfondie (juin 2015), ainsi que du rapport du CESE : Innovations technologiques et performance industrielle globale : l'exemple de l'impression 3D » (mars 2015).

⁴³ <http://www.clubimpression3d.fr/club/>

aboutir à une commercialisation. Cependant, la stratégie en fabrication additive est au total limitée et dispersée, donnant ainsi lieu à une utilisation non optimale des fonds publics. Nous sommes bien loin de ce qu'il conviendrait d'entreprendre. Les recommandations figurant à la fin du rapport visent à combler ce déficit.

3. Les « interventionnistes »



La Chine entre très clairement dans cette catégorie, à la fois par tradition politique et pour pouvoir combattre, avec les moyens appropriés, un risque non négligeable de relocalisation d'opérateurs étrangers vers des destinations qu'ils pourraient juger plus favorables.

Une industrie puissante, mais nécessitant une modernisation permanente :

Bien loin de considérer la puissance de l'industrie manufacturière chinoise comme acquise une fois pour toutes, le besoin de « repenser la stratégie industrielle [du pays] pour renforcer la compétitivité du secteur manufacturier (et, ainsi, plus largement, restructurer l'économie nationale) » s'est fait jour l'année dernière, précisément au moment où le taux de croissance donnait des signes de ralentissement.

Cette prise de conscience n'est pas étrangère au fait que les débats de la 7^e Conférence annuelle de l'Asian Manufacturing Forum, en septembre dernier, se sont concentrés sur le thème de l'« Industrie 4.0 »⁴⁴, la principale question posée portant sur la capacité du pays à transcrire ce concept en réalité, ce qui, pour de nombreux experts, semblait loin d'être acquis⁴⁵.

Un pragmatisme éclairé !

► Adoptant une approche assez prudente, essentiellement concentrée sur une observation attentive – mais distante- des travaux menés aux Etats-Unis, la Chine est restée relativement discrète sur le marché de la 3D (sauf dans le domaine militaire), jusqu'en 2012-2013⁴⁶.

► Depuis cette période, tant les autorités que les entreprises ont compris les enjeux de ces technologies et avancent à marche forcée, **estimant être en capacité de dépasser les Etats-Unis dans les trois ans qui viennent**.⁴⁷

► Les années de transition (2012-2013) : Les autorités ont pressenti, à partir de cette période, le formidable changement qui se préparait, et ses conséquences, au-delà du secteur de la défense. Dès 2012⁴⁸, en effet, l'Etat a déclaré que l'impression 3D allait affecter l'avenir de l'industrie de la fabrication et qu'il fallait prévoir un renforcement de la planification et de la conception de haut niveau.

- Les bases d'une stratégie nationale pour le développement à long terme de la technologie d'impression 3D ont alors été mises en place par l'Etat, avec l'objectif de faire du pays le futur leader mondial dans l'impression 3D (en profitant, au passage, du fait que les brevets de certains fabricants historiques venaient à expiration⁴⁹). Les autorités centrales ont conçu et confirmé un plan d'investissement de près de 170 M€ pour un programme de sept ans.

⁴⁴ Mis à l'honneur à l'occasion de la Foire de Hanovre 2011.

⁴⁵ Voir notamment : « AMA says new technologies required to transform manufacturing sector » - Li Qiaoyi (12.08.2014) <http://www.globaltimes.cn/content/875812.shtml>

⁴⁶ "China's appetite for 3-D printing technology has been surging immensely since last year (2013). Increasing demand has given the nation momentum to become the world's No 1 in the next three to five years," - Graham Tromans, president of the United Kingdom-based 3-D printing consultancy G. P. Tromans Associates. Propos cités le 20.06.2014.

⁴⁷ D'ailleurs, selon Wohlers, le nombre de fabricants d'imprimantes 3D en Chine serait déjà supérieur à ce qu'il est aux Etats-Unis. Luo Jun estimait, en janvier dernier, que la Chine comptait une centaine de fabricants, actifs dans l'industrie, la biomédecine, les industries créatives, l'architecture, les matériaux et le software.

⁴⁸ « C'est une technologie de production révolutionnaire. Une fois mise en œuvre à grande échelle, elle va permettre de diminuer la pression de la Chine sur l'énergie et les ressources naturelles. » Su Bo, Vice-Ministre de l'Industrie et des Technologies de l'Information, lors du Forum International Additif et de la 6^{ème} conférence chinoise « Additif National Manufacturing », en 2012. NB : Selon lui, à l'époque, la Chine possédait alors seulement 8,6% des imprimantes 3D dans le monde, alors que les USA en détenaient 38,5%.

⁴⁹ « As patent-granted monopolies end on various technologies, Chinese manufacturers of 3D printers will see explosive growth. Simpler machines at low prices with inexpensive materials resonate with customers both big and small who reject the thousand percent markup on materials offered by 3D Systems, Stratasys, et al. » Tyler Benster (Meckler Media, organisateur de conférences spécialisées dans ce domaine) (benzinga.com – 15.10.2014).

- Le développement d'un écosystème innovant autour des imprimantes 3D a été aussi envisagé. Ce schéma prévoyait l'amélioration de l'environnement administratif, l'utilisation d'incitations fiscales et le soutien de programmes R&D dédiés, l'ensemble devant favoriser l'accélération du développement de la technologie d'impression 3D.

► Ce stimulant est d'autant plus nécessaire que l'économie chinoise a connu, en 2014, son plus faible taux de croissance depuis près d'un quart de siècle. En plus, les dirigeants souhaitent limiter les effets de la relocalisation des emplois industriels aux Etats-Unis, vivement encouragée par le Pt. Obama. **L'enjeu de compétitivité n'est donc pas constitué que du volet technique, mais comporte aussi une dimension sociale**⁵⁰.

► Enfin, la Chine doit tenir compte des politiques d'attractivité de ses **voisins d'Asie du Sud-Est** (notamment Singapour⁵¹, Malaisie et Thaïlande), qui constituent des marchés aval, mais organisent également la concurrence sur le terrain de l'impression 3D.

► Faisant preuve de lucidité, la Chine était consciente de son retard relatif en termes de capacité et de qualité⁵². De nombreux indices laissent penser que **cette phase « complexée » est aujourd'hui dépassée**.

NB : D'ailleurs, les grands opérateurs privés sont parfaitement conscients des possibilités offertes par le marché chinois. Ainsi 3D Systems vient-il de créer 3D Systems China par acquisition du groupe Easyway⁵³ pendant que Dassault Systèmes⁵⁴ confirme le « boom » du marché local, dont il entend bien profiter.

► DES « SUIVEURS ÉCLAIRÉS » : L'EXEMPLE DE SINGAPOUR



Face au géant chinois, la ville-état qu'est Singapour pourrait paraître un nain. Pourtant, ces deux pays sont puissants, chacun à son échelle. Et les deux pays, malgré leurs différences, ont une caractéristique commune : les autorités publiques nationales y jouent un rôle d'entraînement très affirmé. Or Singapour, à défaut de mobiliser des contingents énormes de main d'œuvre, souhaite valoriser au maximum sa position de tremplin vers l'ensemble de l'Asie.

En mars 2013, le gouvernement a lancé un programme national de développement de l'industrie (FoM program) visant à renforcer considérablement les compétences nécessaires à la maîtrise des technologies de rupture (« disruptive technologies ») - en particulier les technologies avancées de fabrication, dont la fabrication additive – et l'adaptation des business models à la « customisation de masse ».

"Additive Manufacturing is a disruptive technology that will change the current mode of operation for most of the adopters. It should not be seen as a one-off replacement of a particular manufacturing machine on the production floor. AM has the potential to replace a manufacturing line and even create a totally different value stream within a company," (Yeong Wai Yee / UTN). Source: The Future of Manufacturing Industry Dialogue (Singapore Manufacturing Federation) – Forum du 07.08.14.
<http://www.smfederation.org.sg/index.php/news/show/the-future-of-manufacturing-industry-dialogue>

Cette décision s'est concrétisée par la mise en place, via le Development Economic Board⁵⁵, **d'un programme d'investissement dédié d'une durée de 5 ans et doté d'un budget de 500 M\$**⁵⁶.

⁵⁰ "What may be a boon for the US economy could potentially devastate that of China's, if they don't find a way to compete... One way for China to eradicate the risks of losing manufacturing jobs back to the United States and Europe, is to keep pace and innovate within the AM space." China Creating Blueprint for a Major Plan to Develop Their 3D Printing Industry (23.06.2014) <http://3dprint.com/7016/china-3d-printing-plan/>

⁵¹ Voir ci-après.

⁵² Le 13.08.2013, un fabricant local de lasers expliquait, « qu'en Chine, le développement de l'impression 3D est limité par deux facteurs : ces techniques ne sont vraiment adaptées, jusqu'à présent, qu'à la réalisation de petites séries (lorsque les coûts sont inférieurs à ceux qu'occasionnerait une production de masse). Ensuite, la Chine importe encore la plupart de ses imprimantes 3D et des matériels connexes. » Chen Xuan, directeur général de Daye Laser Co. of Shenzhen.

⁵³ <http://globenewswire.com/news-release/2015/04/06/721829/10127674/en/3D-Systems-Acquires-Leading-Chinese-3D-Printing-Sales-and-Service-Provider-Expanding-Its-Regional-Presence.html> (06.04.2015).

⁵⁴ Dassault Systemes expects rapid rise of 3D technology in China (29.03.2015): <http://www.globaltimes.cn/content/914491.shtml>

⁵⁵ Voir les recommandations faites par cet organisme public en fin de document.

C'est l'Agence nationale pour la recherche et l'innovation technologique (A*STAR)⁵⁷ qui a été chargée de le mettre en œuvre dans le but de développer un certain nombre de technologies critiques destinées à rendre la fabrication additive particulièrement compétitive au service d'industries particulièrement stratégiques telles que l'aéronautique, l'automobile, la construction navale, l'énergie et l'ingénierie de précision.

4. Les « opportunistes »

De nombreux pays se trouvent dans cette situation. L'impression 3D y a été introduite par des entreprises ou des universitaires, qui ont joué un rôle de pionnier. Ensuite, le système s'est développé, à un rythme relativement lent et sans que la puissance publique intervienne de façon visible.

Aujourd'hui, ces pays souhaitent participer au mouvement mondial, de manière pragmatique, en exploitant un (ou des) atout(s) que leur ménagent leur potentiel économique et/ou leur localisation. En voici quelques exemples :

► En Europe :

- On peut clairement intégrer dans cette catégorie le **Danemark** (où l'Université Technologique nationale (DTU) s'est dotée d'un impressionnant laboratoire consacré à l'impression 3D) ou la **Norvège** (qui a fait de même au NTNU de Trondheim)⁵⁸.
- À Bratislava, l'Institut Français de **Slovaquie** et plusieurs organismes et collectivités territoriales du pays, en coopération avec Dassault Systèmes (via sa filiale Dytron), ont inauguré en novembre 2014 le premier Fab Lab slovaque⁵⁹, qui permet de concevoir et de fabriquer des objets, notamment avec l'aide d'imprimantes 3D.

► Hors d'Europe :



L'exemple singulier de l'**Inde** : le réveil du géant ?

Ce pays est encore loin d'avoir encore exploité le potentiel de l'impression 3D.

- Le secteur public n'est que faiblement impliqué dans la dissémination de ces procédés, mais la situation pourrait changer avec l'adoption, fin septembre 2014, du programme « Make in India »⁶⁰, dont l'initiative revient au Premier Ministre, M. Narendra Modi, en personne, qui en assure activement la promotion (par exemple, à l'occasion de la dernière Foire de Hanovre 2015). Préalablement, il conviendra néanmoins de régler une difficulté de nature douanière : en effet, comme l'explique Omer Krieger⁶¹, Directeur général Asie-Pacifique-Japon chez Stratasys : « Pour l'administration indienne, les imprimantes 3D ne constituent pas (encore) une catégorie distincte de produit. A cause de cela, les importations sont pénalisées par une taxe de près de 40%. Il s'agit là d'un gros obstacle à la pénétration de ces matériels dans le pays et leur appropriation par les entreprises locales. »

⁵⁶ <http://news.asiaone.com/News/Latest+News/Science+and+Tech/Story/A1Story20130226-404649.html> (The Straits Times, 28.02.13)

Voir aussi: "Announced in Budget 2013, this funding is part of government's Future of Manufacturing (FoM) programme aiming to get Singapore's manufacturing firms to embrace disruptive technologies such as 3D printing and Robotics, and **new business models such as mass customisation**. The \$500 million funding will be used to upgrade skills among workers and engineers as well as "exploring the potential of building a new 3D printing industry ecosystem". Source: <http://www.3ders.org/articles/20130325-singapore-to-invest-500-million-in-3d-printing.html>

⁵⁷ Cette agence nationale a été créée en 2002 sur la base de la NSTB, elle-même mise en place en 1991.

⁵⁸ Voir: <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/077/77074.htm> (06.11.2014).

⁵⁹ Voir: <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/077/77433.htm> (16.12.2014).

⁶⁰ http://www.business-standard.com/content/b2b-manufacturing-industry/modi-s-make-in-india-campaign-aims-to-boost-manufacturing-sector-114092600587_1.html

⁶¹ Voir l'article décrivant l'implantation de Stratasys en Inde (Times of India – 24 avril 2015), déjà cité.

- En revanche, le secteur privé a accompli de réels progrès, grâce à des « locomotives » locales. S'agissant des grands ensembliers industriels, c'est surtout, pour le moment, le secteur automobile, bien développé dans le pays (Ford, Nissan, Tata Motors...), qui sert de « véhicule »⁶² pour diffuser ces procédés à l'intérieur du pays. Mais l'aéronautique n'a pas voulu être en reste, ainsi qu'en témoigne l'exemple de Hindustan Aeronautics Ltd (HAL)⁶³ :



HAL prévoit de recourir à la fabrication additive pour réaliser des pièces entrant dans la fabrication d'un moteur d'avion de 25 kilonewton (kN), dans le cadre d'un projet dont le budget dépasse 70 M\$. A titre indicatif, HAL a provisionné 10% de ses bénéfices après impôts pour financer de telles activités de R&D. En plus de celles qu'il mène pour son propre compte, HAL parraine des chaires académiques, dans des campus où sont implantés les principaux Instituts Indiens de Technologie (IIT), tels que celui de Chennai (ex-Madras) (Tamil Nadu) (boîtes de vitesses), de Mumbai (Maharashtra) (communications), de Kharagpur (Bengale occidentale) (radars et équipement électronique de défense) ou de Kanpur (Uttar-Pradesh) (aéronefs sans pilotes/UAV).

- D'autres initiatives méritent d'être signalées, notamment celle de Wipro Technologies, puissante SSII de Bangalore, qui propose des compétences en mécanique de précision⁶⁴, et celle de l'Institut National de Technologie de la Mode (NIFT), qui incorpore dans son programme d'enseignement la conception par imprimante 3D⁶⁵.

Ce qui est vrai pour Singapour l'est aussi pour l'Australie :



Australie : intégrer le peloton des acteurs en misant sur l'atout « titane »⁶⁶

► En Australie, l'introduction de la fabrication additive (par 3D Systems) remonte à 1990, mais ce procédé n'a, au cours de cette décennie, intéressé que des structures de type universitaire (Queensland Manufacturing Institute, Monash University ou encore South Australian Centre for Manufacturing). Dans les années 2000, la sensibilisation a nettement progressé, sous l'influence d'entreprises étrangères, telles que Boeing, qui a installé dans ce pays sa plus grande implantation hors territoire US.

► Plus récemment (2011), le RMIT (Royal Melbourne Institute of Technology) a mis en place un centre d'excellence, le Centre for Additive Manufacturing⁶⁷, qui permet de regrouper les chercheurs de différents établissements dans le but de créer une masse critique suffisante dans ce domaine, en privilégiant à la fois la technologie et le design.

Encore plus récemment (1^{er} semestre 2015), le panorama national s'est notablement enrichi :

- d'une part, le CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), pôle officiel de recherche du gouvernement australien, a lancé, moyennant un investissement de 6 M\$, « Lab 22 », un

⁶² À titre promotionnel, l'équipe locale de Formule 1 (Sahara Force India) a ainsi passé un accord avec 3D Systems pour développer l'utilisation de ces technologies dans le cadre de la fabrication de voitures.

⁶³ India's Hindustan Aeronautics, Ltd. (HAL) is Now 3D Printing Aircraft Engine Components (13.02.2015):

<http://3dprint.com/44403/hindustan-aeronautics-raju-rd/>

⁶⁴ Société mondialisée de consulting et d'outsourcing dans le domaine technologique, spécialisée dans l'utilisation des TIC depuis plus de trente ans, Wipro emploie plus de 150.000 salariés et a réalisé en 2014 un CA de plus de 7 MM\$. Grâce à ses 55 centres d'excellence, cette entreprise participe à la diffusion des technologies émergentes dans le monde entier: <http://www.wipro.com/industries/manufacturing/>

⁶⁵ Voir les programmes de niveau "Bachelor" (B.FTech « Apparel Production »): <http://www.nift.ac.in/btap.html>

⁶⁶ Sources : Additive Manufacturing : Technology Roadmap for Australia – Wohlers Associates – Mars 2011 + RMIT.

⁶⁷ Voir : <https://www.rmit.edu.au/research/research-institutes-centres-and-groups/research-centres/centre-for-additive-manufacturing/>

laboratoire et centre de services dédié à la fabrication additive, qui a immédiatement entamé une coopération avec deux start-ups de Canberra (Made for Me et Keech3D) ;

- d'autre part, à plus grande échelle (budget : 250 M\$), le pays a mis en place l'IMRC (Innovative Manufacturing Cooperative Research Centre), qui se propose de jouer un rôle équivalent à celui d'America Makes aux Etats-Unis. L'IMRC va, en effet, associer d'emblée 16 universités, 14 entreprises, le Fraunhofer Institute for Laser Technology et 4 structures intermédiaires représentant plus de 300 PME, offrant ainsi à ces différentes structures un accès direct à de multiples compétences de bon niveau⁶⁸.



Innovative Manufacturing CRC

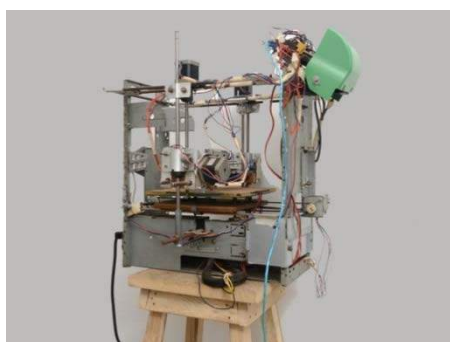
A collaborative venture between industry, government and researchers

Les liaisons avec l'industrie aéronautique sont très largement à l'origine de ces développements, puisque la collaboration du RMIT avec Boeing a commencé en 2006 et s'est ensuite amplifiée grâce à un accord passé avec le centre de recherche de la COMAC (Commercial Aircraft Corporation of China Ltd), basé à Beijing.

► Le pays a, par ailleurs, la chance de disposer de ressources en titane⁶⁹. Or ce métal peut être utilisé pur ou sous forme de poudre ou d'alliages dans le domaine de l'impression 3D, notamment pour répondre aux besoins de l'industrie aéronautique. Considérant qu'il s'avère judicieux d'exploiter cet avantage pour apporter de la valeur ajoutée aux produits dans le pays, plutôt que de vendre l'alliage en Chine ou dans un pays tiers, l'Australie a adopté cette approche pour faire valoir économiquement sa différence de manière économiquement profitable.

5. Les « défricheurs »

L'Afrique (en dehors du cas singulier de la République Sud-africaine) est en train de découvrir le potentiel de l'impression 3D. Celle-ci, judicieusement utilisée dans des projets soigneusement dimensionnés, peut permettre aux pays les plus dynamiques de franchir les étapes à vitesse accélérée (à l'instar de ce qui s'est opéré dans le domaine de la téléphonie cellulaire). En dehors du projet AWA développé en annexe 9, la créativité africaine, même sans appui public, se manifeste à travers des initiatives astucieuses, qui permettent de pallier le manque de moyens financiers. Un exemple de cette débrouillardise figure ci-après :



Que faire des tonnes de déchets technologiques déversés en Afrique ? Créer une imprimante « écologiquement responsable »

Le Woelab, un hackerspace coopératif implanté à Lomé a eu l'idée d'en faire une imprimante 3D low cost, dont le prototype, parfaitement opérationnel, a été primé à l'African Innovation Summit et au NASA Space App Challenge.

Une telle initiative devrait contribuer à l'éclosion de nombreux Fab Labs sur le continent africain.

Source : Netexplo – Janvier 2015

<https://www.netexplo.org/fr/veille/innovation/w-afate-3d-printer#video-anchor>

⁶⁸ <http://www.imcrc.org/> - Voir: Australia Launches \$250M Advanced Manufacturing & 3D Printing Center (10.06) <http://3dprintingindustry.com/2015/06/10/australia-launches-250m-advanced-manufacturing-and-3d-printing-center/> <http://3dprintingindustry.com/2015/05/25/csiro-launches-high-tech-3d-printing-lab-in-australia/>.

⁶⁹ Les produits de l'extraction minière constituent 10% du PIB national et une part très significative des exportations australiennes.

B. LA DYNAMIQUE EUROPÉENNE : UNE RÉELLE ANTICIPATION, UN ACQUIS INDÉNIABLE... MAIS DES EFFORTS QUI RESTENT À AMPLIFIER

Il faut reconnaître que la recherche européenne n'a pas manqué de s'intéresser à l'Additive Manufacturing (AM) **dès l'émergence de ces technologies sur le marché** (voir le rappel historique en partie III.A).

Toutefois, ce secteur ayant connu des développements importants en trente ans – et, en particulier au cours des cinq à six dernières années, **l'ampleur de l'effort consenti au niveau européen ne semble plus en phase avec les besoins actuels de l'industrie européenne**, compte tenu des évolutions de la concurrence internationale. Il sera néanmoins difficile de faire beaucoup plus dans le contexte actuel, compte tenu de **l'insuffisance des investissements actuels dans l'industrie**, ces derniers restant inférieurs de 20% en moyenne à ce qu'ils étaient avant la crise, ainsi que l'a récemment rappelé la Commissaire Elżbieta Bienkowska⁷⁰.

► LES FONDEMENTS POLITIQUES DE L'APPUI EN FAVEUR DE CE SECTEUR

Au-delà du soutien à des projets-pilotes, la Commission européenne (CE) a progressivement nourri sa réflexion stratégique sur le thème de l'AM, ce qui a débouché sur des considérations – et des travaux – de nature politique, afin de faire face aux défis que pose l'universalisation de l'AM.

L'importance de ce secteur d'activité (qui inclut l'impression 3D *stricto sensu*), ainsi que son caractère transversal, ont été ainsi mis en évidence dans différents documents :

⇒ Les communications successives consacrées à la politique industrielle européenne

- ✓ A la suite du travail réalisé en 2010, la CE a publié, en octobre 2012, après une large consultation publique, une nouvelle communication⁷¹ mettant l'accent sur l'intérêt qu'aurait pour l'Europe, le développement des technologies d'« advanced manufacturing » (AM), parmi lesquelles figure, au premier chef, l'impression 3D.
- ✓ Cette communication a fait, elle-même, l'objet d'une actualisation, publiée début 2014 (« Pour une Renaissance industrielle européenne »⁷²). Dans ce document, **l'AM reste la première des six priorités citées** (avec les KET's⁷³), même si le texte évoque surtout les technologies digitales.
- ✓ La partie « Indicateurs & Analyses » de la politique industrielle est également évoquée dans le rapport consacré à la Task-Force spécialement mise en place dans le domaine de l'AM⁷⁴.
- ✓ Une synthèse a été publiée sous forme de mémo au printemps 2014 : « Advancing Manufacturing paves way for future of industry in Europe »⁷⁵.
- ✓ Enfin, se pose, en corollaire, la question – sensible - des **transferts de technologies**, qui a fait l'objet, le 25 février dernier, d'un séminaire spécialement consacré aux défis posés par l'AM⁷⁶.

⁷⁰ « Dans bien trop de domaines, l'industrie européenne n'investit plus suffisamment...**Il manque 500 MM€**. [En plus,] l'écart de productivité s'élargit entre l'Europe et ses concurrents. Dans certains secteurs, il existe des entreprises européennes qui n'ont consenti aucun investissement au cours des sept à huit dernières années... [Par ailleurs,] nous n'investissons pas assez dans les nouvelles technologies. Les investissements en R&D des entreprises européennes représentent à peine 40% des montants que les Etats-Unis y consacrent! » (extrait de l'intervention de la Commissaire à l'inauguration de la dernière Foire de Hanovre (13.04.15) : http://ec.europa.eu/commission/2014-2019/bienkowska/announcements/commissioner-bienkowska-global-business-markets-forum-hanover-messe_en

⁷¹ « A stronger European industry for Growth and Economic Recovery » - COM(2012) 582 – 10.10.12 – Voir p. 8 (lignes d'action prioritaires) : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0582:FIN:EN:PDF>

⁷² COM(2014) 14 du 22.01.14 – Voir p. 10 et suivantes : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2014:0014:FIN:EN:PDF>

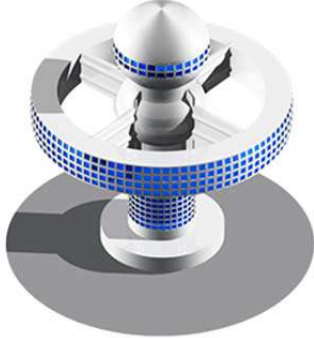
⁷³ Key Enabling Technologies : Technologies clés.

⁷⁴ Voir : <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/4765/attachments/1/translations/en/renditions/pdf> (février 2014)

⁷⁵ Mémo du 19 mars 2014 : http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-14-193_en.htm

⇒ Les travaux relatifs à l'anticipation du paysage de l'industrie manufacturière européenne à l'horizon 2025⁷⁷

- ✓ Le centre Commun de recherche (CCR) de la CE a réalisé une carte interactive⁷⁸ des différents aspects qui conditionnent l'avenir de l'industrie (technologie, économie, société, environnement, etc.). Il est frappant de constater que l'« Additive Manufacturing » est cité à deux titres dans cette analyse prospective (cf infra) :

<p>« Combining Technologies »</p> <p>Le développement des technologies est certes essentiel, mais la manière dont celles-ci sont mises en œuvre par les industriels l'est tout autant. Différentes technologies peuvent en effet être utilisées de manière combinée pour améliorer la qualité d'un produit, sa sécurité, son impact sur l'environnement et/ou réduire son coût de fabrication... Parmi celles-ci, figurent des technologies de pointe, telles que la fabrication additive et les outils avancés de contrôle des processus de fabrication, qui permettent à l'industrie de créer de nouveaux produits et d'améliorer l'efficacité de leur chaîne de production.</p>		<p>« Advanced Manufacturing Systems »</p> <p>Les techniques de fabrication de pointe (AM) ont révolutionné les processus de fabrication et de consommation, en donnant aux centres de production une flexibilité accrue et en rendant possible une fabrication « personnalisée ».</p> <p>La fabrication additive (impression 3D), les nouvelles techniques d'assemblage, la photonique et les derniers développements en matière de moulage et de robotique ont fortement contribué au développement de nouveaux produits et services, tout en rendant la chaîne de production plus efficace.</p>
---	---	--

Source: CE (voir référence en bas de page) – Volet « Technologie »

- ✓ En termes d'outils, la Commission européenne, a traduit ces priorités en termes opérationnels, dans le cadre de sa stratégie d'encouragement à la **digitalisation de l'industrie**⁷⁹, en mettant sur pied deux Task-Forces consacrées respectivement, l'une aux KETs (voir point suivant), l'autre, précisément, à l'Advanced Manufacturing (AM)⁸⁰.
- ✓ Le volet incorpore la dimension stratégique de la **normalisation**, en particulier dans le but de tenter d'anticiper les besoins de l'industrie, laquelle a été consultée au second semestre 2014⁸¹. La Commission européenne joue ainsi son rôle traditionnel d'analyse des phénomènes affectant l'économie et la société (cf. forums périodiques consacrés à la FTA : Future-Oriented Technology Analysis, dont la 5^e édition a eu lieu les 27-28 novembre 2014⁸²), tout en s'inscrivant dans le sillage de travaux menés par d'autres entités (par exemple l'Université de Cambridge, en 2012⁸³).

⇒ Différents travaux spécialisés consacrés à des domaines techniques où l'impression 3D peut jouer un rôle particulier

⁷⁶ «Technology transfer : paving the way for advanced manufacturing» (Comité des Régions) (25.02.15) :

<https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/20150225-tech-transfer-advanced-manufacturing-programme.pdf?search>

⁷⁷ «A Manufacturing Industry Vision 2025» – The example of Standards (Oct. 2013): https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/fta2014-t1_practice_167.pdf

⁷⁸ Industrial Landscape Vision 2025: <https://ec.europa.eu/jrc/en/research/foresight/ilv2025>

⁷⁹ Voir, par exemple, le projet I4MS (ICT Innovation for Manufacturing SMEs), cofinancé par le 7^e PCRD : <http://i4ms.eu/i4ms/i4ms.php>

⁸⁰ Voir la déclaration de Daniel Calleja Crespo, DG / DG Entreprise & Industrie, à l'occasion du forum « European Forum for Manufacturing » organisé au Parlement européen le 24.09.14 : http://www.euromanuforum.com/documents/Future_Manufacturing_Policy_Papers.pdf

⁸¹ «Innovation and Research - Anticipation of standardisation needs in additive manufacturing» Independent Review of the European Standardisation System - Final Report – Annexes – Travaux réalisés par Ernst & Young Advisory - Ref. Ares(2015)1956608 - 08/05/2015 – Voir en particulier p. 76 à 84 :

http://www.google.fr/url?url=http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/10084/attachments/1/translations/en/renditions/native&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=vJaBVZ7kF4r-UJCZqlqE&ved=0CB0QFjAB&usq=AFQjCNHZNp5_Qa3Cu8Ar6_OeQMTD9--5pQ

⁸² Voir: https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/fta2014_presentation_t1practice%20167_scapolo.pdf

⁸³ « Role of Standardisation in support of Emerging Technologies » (p. 33-40) – Etude réalisée par l'Institute for Manufacturing, à la demande des autorités britanniques : http://www.ifm.eng.cam.ac.uk/uploads/Resources/Reports/OSullivan_Dodin_Role_of_Standardisation_June_2012_2_.pdf

Domaine	Contributions
Technologies-clés (KETs⁸⁴)	Domaines susceptibles de présenter un intérêt sur le plan industriel, en lien avec les technologies-clés transversales, dans les secteurs du Manufacturing et de l'Automatisation : http://ec.europa.eu/growth/industry/key-enabling-technologies/eu-actions/ro-ckets/downloads/cross-cutting-kets-roadmap-innovation-fields-manufacturing-automation-ma13_en.pdf Extrait de: http://ec.europa.eu/growth/industry/key-enabling-technologies/eu-actions/ro-ckets/downloads/cross-cutting-kets-roadmap_en.pdf (Novembre 2014)
Chaînes de valeur (Smart Value Chains)	Business Innovation Observatory (Septembre 2013): http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/business-innovation-observatory/files/case-studies/05-amt-smart-value-chains_en.pdf
Design industriel	The Economic Review of Industrial Design in Europe - Final Report MARKT/2013/064//D2/ST/OP (Janvier 2015) http://www.google.fr/url?url=http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/10463/attachments/1/translations/en/renditions/native&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ei=jZqCVa69McfSUbufqJqF&ved=0CBkQFjAA&usq=AFQjCNGf-4ij6dlvNBNPnGCmeznDSwY1Gw Concurrent Design Foresight - Report to the European Commission of the Expert Group on Foresight Modelling (2015) - Chapter 6: Modelling the future: the case of 3D printing (p. 49 à 55) http://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_governance/concurrent_design foresight_report.pdf

(liste non exhaustive)

⇒ Les technologies de fabrication de pointe en matière de production propre, pour lesquelles un groupe de travail *ad hoc* a été mis sur pied⁸⁵ en 2013. En effet, l'impression 3D permet aussi de répondre à cette préoccupation, qui s'inscrit de manière transversale dans la plupart des activités menées par l'UE

► OÙ EN EST-ON AUJOURD'HUI ? UNE PLUS GRANDE IMPLICATION DES DÉCIDEURS POLITIQUES, EN LIAISON AVEC LES MILIEUX INDUSTRIELS

Les difficultés que rencontre l'Europe pour « booster » sa compétitivité n'ont pas échappé aux décideurs politiques, qui établissent, à juste titre, un lien étroit entre innovation, développement industriel et financement adapté de la conversion des idées en processus plus efficaces et moins coûteux de fabrication ou de création de produits.

Afin de passer de la prospective à la pratique, il était important que les acteurs politiques :

- prennent conscience des effets de la transformation notable que connaissent les processus de fabrication industrielle,
- et aménagent en conséquence les dispositifs d'appui à l'innovation et à la recherche appliquée dans ce domaine.

Cette prise de conscience se traduit par différentes initiatives, qui se complètent mutuellement, en donnant une visibilité accrue à ces nouvelles activités. Quelques-unes d'entre elles, récentes, figurent ci-après :

- ✓ Mobiliser les plus hautes autorités responsables de la définition et de la mise en œuvre des instruments d'appui :

⁸⁴ Key Enabling Technologies : Technologies clés.

⁸⁵ 'Advancing Manufacturing - Advancing Europe' - Report of the Task Force on Advanced Manufacturing for Clean Production - Document de travail CE - SWD(2014) 120 final – 19.03.14:

<http://www.google.fr/url?url=http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/4766/attachments/1/translations/en/renditions/native&rct=j&frm=1&q=&esrc=s&sa=U&ved=0CC0QFjADahUKEwirsKf7pbGAhUFqHlKHetiAJA&usq=AFQjCNF1voo1HM81QM-KebuiBLsTAu112A>

Voir aussi la version sous forme de rapport (21.05.14):

<http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/5370/attachments/1/translations/en/renditions/pdf>



Carlos Moedas, Commissaire européen en charge de la Recherche, de l'Innovation et de la Science, est déjà bien sensibilisé à la nécessité de renforcer les capacités industrielles de l'Europe. Il a d'ailleurs mentionné explicitement l'impression 3D, dès son audition devant le Parlement européen, en tant que candidat à la Commission européenne, à l'automne dernier.

Il a renouvelé récemment⁸⁶ sa conviction selon laquelle « **la fabrication additive représente la « nouvelle frontière» de l'industrie** : “ *In a world moving from standardized mass-produced products to products which are personalized and produced in small batches, additive manufacturing appears as a key component of this paradigm shift.*”

Le Parlement européen s'est déjà saisi de cette question, notamment à travers les activités d'un sous-groupe composé d'élus tels que Lambert van Nistelrooij, Christian Ehler⁸⁷, Reinhard Bütikofer ou l'ancien Président de l'institution lui-même, Jerzy Buzek, qui participent régulièrement à des activités d'information/sensibilisation sur ce thème⁸⁸.

- ✓ Faire de l'Advanced Manufacturing un point-clé de la valorisation de l'innovation :



Sixth European Innovation Summit: Passion and 3D Printing

Il est révélateur que le dernier Forum Européen de l'Innovation⁸⁹, qui a consacré l'une de ses principales tables-rondes à la question de l'AM⁹⁰, ait fait de l'impression 3D un objet de « passion » (cf illustration supra), ce qui confirme un net changement de mentalité !

Cette tendance se confirme aussi dans d'autres sphères, telle que l'Agence européenne de défense (EDA), qui, à l'occasion d'un atelier consacré spécifiquement à l'AM, en novembre 2014, confirmait que cette technologie était jugée « très prometteuse pour l'industrie de la défense » et que, tant la Commission européenne que l'Agence spatiale européenne (ESA), estimaient qu'elle était « stratégique pour la ré-industrialisation de l'Europe ».

- ✓ Participer à la sensibilisation des acteurs :

Afin de susciter la créativité des entrepreneurs et de favoriser l'éclosion d'idées « susceptibles de faire progresser le modèle de croissance de l'Europe », la CE a organisé, entre mars et mai dernier, le **Challenge de l'Innovation sociale européenne**⁹¹. Parmi les quatre axes de réflexion proposés, figure en particulier « la conception de nouvelles technologies – ou l'utilisation « adaptée » de technologies existantes – susceptibles d'apporter un bénéfice à la société, telles que l'Internet des objets ou l'impression 3D ».

⁸⁶ Interview accordée au CECIMO (31.03.15) :

http://www.cecimo.eu/site/publications/news/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=234&cHash=1624413acdf446a2c7be01b00128c02b

⁸⁷ Qui se sont d'ailleurs tous deux impliqués dans la mise en place du Fonds Européen pour les Investissements Stratégiques (FEIS), qui devrait être opérationnel à l'été 2015.

⁸⁸ A titre d'exemple, voir le dîner-débat organisé le 12 mai dernier par l'Association Knowledge for Innovation (K4I) sur le thème « What "Digital" / What "Smart" for Advanced Manufacturing? » : http://www.knowledge4innovation.eu/sites/default/files/events/Edit%20Events%20What%20E2%80%9CDigital%20%80%9D%20/%20What%20E2%80%9CSmart%20%80%9D%20for%20%20Advanced%20Manuf acturing%3F/K4I_Dinner_Debate_What_Digital_What_Smart_Briefing.pdf

⁸⁹ Le 6^e « European Innovation Summit » s'est tenu du 17 au 20 novembre 2014 à Bruxelles. Il a mobilisé **40 membres du PE** parmi les 900 participants enregistrés. Voir : <http://suschem.blogspot.fr/2014/12/sixth-european-innovation-summit.html>

⁹⁰ « Advanced Manufacturing for a new European Industrial Renaissance ».

⁹¹ Cette initiative (« European Social Innovation Competition ») a été lancée à Gdańsk le 23 mars. Plus de 1.400 idées ont été recueillies avant la clôture, le 8 mai. Trois prix d'une valeur unitaire de 50.000 € seront attribués en novembre prochain.

Voir : http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/policy/social/competition/index_en.htm

- ✓ Se donner les moyens de progresser en optimisant expertise et financement :
 - Pour faire le point sur l'existant, en analysant les réalisations et les besoins de l'industrie, la CE a organisé, mi-2014, un atelier⁹² consacré à la place occupée par l'AM dans le 7^e PCRD et Horizon 2020, en vue de dégager une série de recommandations, qui sont décrites succinctement plus loin.
 - Selon des indications recueillies fin mars 2015 auprès de la DG Recherche & Innovation, celle-ci va poursuivre son soutien à l'AM dans le cadre du programme Horizon 2020, « surtout dans la partie correspondant aux technologies industrielles, mais aussi à travers le volet consacré aux défis sociétaux (secteur médical, aéronautique, etc.) ». De la même façon, le PPP « Factories of the Future » (FoF)⁹³ continuera à intégrer l'AM dans ses prochains programmes de travail.
 - Ces sources précisent également qu'une collaboration s'est établie entre la DG R&I et la DG GROW (Entreprises) pour approfondir les questions de contrôle qualité et de propriété industrielle.
 - La contribution de l'AM au « verdissement » de l'économie n'est pas oubliée, et, même s'il est difficile d'en évaluer précisément les effets, la Commission européenne tente d'y parvenir, en lançant par exemple des études sur ce thème⁹⁴.
 - Elle poursuit son soutien aux initiatives locales de sensibilisation et d'échange d'expériences technologiques : un événement de ce type est ainsi programmé à Nantes⁹⁵, le 24 juin 2014, sur le thème « Advanced manufacturing and processing ».
 - Enfin, elle favorise les échanges avec les organisations professionnelles représentatives pour pouvoir réactualiser en permanence l'analyse des besoins exprimés par les entreprises : voir, par exemple, la conférence organisée par le CECIMO au Parlement européen le 23 juin 2015⁹⁶, conférence qui fait suite à l'analyse d'impact⁹⁷ que cette fédération a réalisée pour le compte de ses adhérents (15 associations nationales, regroupant 1 500 entreprises industrielles européennes du secteur de la machine-outil).

► LA SITUATION DE PLUSIEURS PAYS-CLÉS VUE DE BRUXELLES : ÉLÉMENTS COMPACOMPARATIFS

Une grande partie du travail réalisé par la Commission européenne repose sur les données comparatives qu'elle est en mesure de collecter auprès des Etats membres. Selon les sources précitées, il apparaît, informellement, que « l'Allemagne semble être le pays le plus avancé, surtout dans l'AM appliqué aux métaux ». Par ailleurs, « d'autres pays (Belgique, Espagne, Royaume-Uni) - mais la France n'est pas citée ! – sont en train d'organiser, de manière consistante, leurs activités dans le domaine de l'AM ».

Un peu plus globalement, la CE avait recueilli, en vue de l'atelier spécialisé de juin 2014, certaines indications sur l'état de préparation des industries nationales. Ces indications figurent dans le tableau ci-après (Source : CE + Rapport Wohlers), et sont à rapprocher des éléments comparatifs internationaux plus récents qui figurent dans les autres parties de la présente étude.

⁹² Additive Manufacturing in FP7 and Horizon 2020 - Report from the EC Workshop on Additive Manufacturing held on 18 June 2014: <http://www.rm-platform.com/linkdoc/EC%20AM%20Workshop%20Report%202014.pdf>

⁹³ Voir : http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-the-future_en.html (Budget : 1,2 MM€).

⁹⁴ Voir l'appel à propositions lancé le 12 mai dernier sur le thème : « Frugal innovation (from an industrial perspective) and re-engineering of traditional techniques » : <http://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:154254-2015:TEXT:EN:HTML&tabId=1>

⁹⁵ Voir : <http://ec.europa.eu/research/index.cfm?pg=events&eventcode=FF1E7CC2-9DAD-E8C0-48F3C5DFC8CAB2B9>

⁹⁶ Voir : <http://www.cecimo.eu/site/am-european-conference/>

⁹⁷ Measuring the Competitive Benefits of Additive Manufacturing: the perspective of the Machine Tool Industry. (June 2015) : http://www.mpdays.com/media/geerts_filip.pdf

Hors d'Europe :

Pays/Régions	Initiatives publiques identifiées
Etats-Unis	2012 : Le National Additive Manufacturing Innovation Institute (NAMII) (aujourd'hui « America Makes ») cofinance 22 projets de recherche dédiée (dotation publique: 13,5 M\$ - contrepartie privée: 15 M\$). Parallèlement, 7 M\$ sont affectés à des projets de recherche pilotés par des agences publiques. Mars 2014 : Le gouvernement fédéral annonce un renforcement de son soutien, à hauteur de 50 M\$.
Asie	La plupart des pays investissent dans ce domaine. D'ailleurs, plus de 26% de tout l'équipement AM mondial à usage industriel serait installé dans la zone Asie/Pacifique.
Chine	Dans la province d'Anhui, les villes de Hefei et de Bozhou auraient décidé d'investir, en coopération avec Xery3D, environ 245 M\$ sur 6 ans pour développer l'impression 3D.
Japon	Avril 2014 : Le Ministère de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie (METI) investit plus de 36,5 M\$ dans la création d'une nouvelle association de recherche spécialisée dans le développement des technologies AM destinées au traitement des métaux.
Singapour	Mars 2013 : Le gouvernement annonce vouloir investir environ 400 M\$ sur 5 ans dans les technologies AM, en s'appuyant sur l'Université technologique de Nanyang, qui prévoit une enveloppe de 30 M\$ pour la mise en place d'un centre de recherche dédié.
Taiwan	La Ministère de la Science et de la Technologie a lancé un programme de développement de l'impression 3D doté d'un budget annuel de 2,33 M\$.
Pays/Régions	Initiatives publiques identifiées
Afrique du Sud (RSA)	2013 : Le pays aurait dépensé environ 10 M\$ dans le domaine de l'AM, 80% des 1.500 équipements recensés entrant dans la catégorie des imprimantes 3D à usage personnel. Les autorités prévoient d'accroître les dépenses publiques dans ce secteur, en ciblant prioritairement des applications dans le domaine médical (y compris dentaire) et l'aéronautique.
Australie	L'AMCRC (Advanced Manufacturing Cooperative Research Centre), principale organisation de recherche publique dans ce domaine, indique avoir déjà financé plusieurs projets dans le domaine de l'AM et pilote un consortium destiné à mettre en place un centre national de compétences, dans le cadre d'un plan de 7 ans doté d'un budget de 38,7 M\$ (au cours actuel de l'AUD).

Au sein de l'Union européenne :

Etats membres	Initiatives publiques identifiées
Belgique	Le gouvernement régional flamand a investi dans un programme consacré aux matériaux : STREAM (Structural Engineering Materials through AM). Ce programme, qui associe des universités, des centres de recherche et des entreprises industrielles a lancé, début 2014, trois projets qu'il cofinance. Ces projets visent à développer le frittage laser appliqué aux polymères et la fusion sélective par laser appliquée aux métaux. Plusieurs initiatives à visée pédagogique complètent cette stratégie, afin de favoriser la dissémination des bonnes pratiques.
France	L'AFPR (Association Française de Prototypage Rapide) a contribué « à élever le niveau de la normalisation applicable à l'AM, à la fois au niveau national et sur le plan des organisations internationales compétentes. De nouveaux appels à propositions ont été lancés courant 2013, l'un d'entre eux étant exclusivement consacré aux « maker space labs ». D'autres appels à propositions ont été prévus pour le développement de la recherche en matière de technologies et d'applications nouvelles.
Allemagne	La stratégie nationale passe à travers les liens qu'ont noués traditionnellement les milieux représentatifs industriels et scientifiques. Ainsi, le DRMC (Direct Manufacturing Research Centre), mis en place à l'Université de Paderborn, est-il le résultat de la coopération entre entreprises et compétences académiques, le budget global (de plus de 2 M€) ayant été cofinancé par le Land de Rhénanie-Westphalie. Un budget supplémentaire de 3,4 M€ est apporté par les autorités fédérales, dans le but de cofinancer des projets initiés par les milieux industriels. Si l'on ajoute les contreparties fournies par ces dernières, le budget global est de l'ordre de 11 M€ pour cinq ans.
Pays-Bas	L'institut national de recherche (TNO) a lancé en 2013, en coopération avec plusieurs entreprises industrielles emblématiques, le projet Penrose, qui vise à développer la « nouvelle génération » d'équipements AM à usage industriel. Voir : http://3dprintingindustry.com/2013/04/17/penrose-an-open-research-programme-from-tno/
Pologne	L'année 2013 a été mise à profit pour sensibiliser les acteurs potentiels de l'AM à travers une série d'événements, de conférences et d'ateliers. Plusieurs projets de R&D ont bénéficié de subsides publics, tel le projet « Lider », qui a bénéficié d'une dotation de 300 000 \$ pour développer des applications au bénéfice de l'industrie aérospatiale.

Etats membres	Initiatives publiques identifiées															
Portugal	Le CDRSP (Centre for Rapid & Sustainable Production Development) de l'Institut Polytechnique de Leiria a développé un cycle de conférences consacrées à l'AM. Il a également initié, en coopération avec l'Université de Coimbra et le CENTIMFE, l'Initiative Portugaise en faveur de l'AM (PAMI), qui est inscrite dans la feuille de route nationale en matière d'infrastructure de recherche. Par ailleurs, plusieurs projets de recherche ont été soutenus par la Fondation Portugaise pour la Science et la Technologie et par l'Agence portugaise pour l'Innovation et l'Industrie.															
Espagne	Plusieurs initiatives d'origine entrepreneuriale ont été mises en place dans le but de favoriser le développement des imprimantes 3D personnelles, et de faire évoluer les applications et les business models. L'ASERM (Asociación Española de Rapid Manufacturing), créée en 2004 et basée à Barcelone, a lancé une initiative conjointe, AEI-DIRECTMAN, qui permet de fédérer les acteurs les plus représentatifs du secteur dans le pays ⁹⁸ . Quant aux centres de recherche privés spécialisés (Ascamm Technology Centre, AIMME (Metal-Processing Technology Institute), AITIIP Technological Centre, Prodirtec, ...), ils développent leur coopération avec les régions les plus actives dans ce secteur d'activité (Andalousie, Aragon, Asturies et Catalogne), notamment dans le cadre des initiatives européennes RIS3 liées à la stratégie de « Smart Specialisation » ⁹⁹ .															
Suède	C'est le secteur de la recherche et de l'enseignement qui concentre les financements en matière de R&D. Plusieurs Universités ont ainsi augmenté de manière significative leurs investissements dans le domaine de la recherche appliquée à l'AM.															
Royaume-Uni	Plusieurs secteurs industriels ont bénéficié d'investissements notables dans le pays, avec des effets-leviers non négligeables (en plus du soutien de plus de 4 M£ accordé à l'EPSRC, centre de compétences national) :															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Investissements industriels (M£)</th> <th>Contreparties publiques mobilisées (M£)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Biens de consommation</td> <td>2,5</td> <td>7,5</td> </tr> <tr> <td>Automobile</td> <td>3,5</td> <td>6,5</td> </tr> <tr> <td>Médical</td> <td>3</td> <td>11,5</td> </tr> <tr> <td>Aéronautique</td> <td>13 + 15 (plan sur 7 ans)</td> <td>15 (plan sur 7 ans)</td> </tr> </tbody> </table>		Investissements industriels (M£)	Contreparties publiques mobilisées (M£)	Biens de consommation	2,5	7,5	Automobile	3,5	6,5	Médical	3	11,5	Aéronautique	13 + 15 (plan sur 7 ans)	15 (plan sur 7 ans)
	Investissements industriels (M£)	Contreparties publiques mobilisées (M£)														
Biens de consommation	2,5	7,5														
Automobile	3,5	6,5														
Médical	3	11,5														
Aéronautique	13 + 15 (plan sur 7 ans)	15 (plan sur 7 ans)														

► LES PRÉCONISATIONS EUROPÉENNES – SYNTHÈSE : QUELLES ORIENTATIONS POUR DEMAIN ?

Ces travaux ont conduit la Commission européenne à formuler, en juin 2014, en s'appuyant sur les contributions d'une centaine d'experts, une série de préconisations, visant au renforcement du soutien public à l'AM, par différents moyens, y compris l'action normative¹⁰⁰.

Constatant que les acteurs du marché, qu'ils soient publics ou privés, agissent de façon fragmentée, ce qui est peu efficace et contribue à maintenir des déséquilibres entre pays/régions, la Commission européenne entend soutenir le développement d'un réseau européen de compétences en matière de manufacturing, afin d'accélérer la diffusion de ces technologies sur l'ensemble du territoire.

Globalement, elle estimait que des initiatives étaient à mettre en place selon trois axes :

- La prise en compte des défis technologiques.
Analyse des besoins des industriels ; développement de la modélisation et des techniques de simulation ; comparabilité des tests ; besoins spécifiques en matière d'équipement et d'ingénierie ; développement des technologies intégrées/combinées ; industrialisation de ces technologies ; miniaturisation (micro/nano) ; réduction des volumes de matières premières nécessaires, notamment lorsqu'elles sont très coûteuses ; intégration de chaînes de production complexes ; etc.
- La recherche de solutions en matière de normalisation, de réglementation, de qualification et de certification.
Règles et lignes directrices applicables en matière de marquage CE et de conformité des éléments fabriqués grâce à l'AM ; règles en matière de certification des produits ; contrôle-qualité ; normalisation (en liaison avec les travaux menés par les USA) ; protection des brevets et du copyright ; codification des engagements vis-à-vis des consommateurs ; règles applicables en matière d'hygiène et de sécurité (matériaux et processus) ; etc.

⁹⁸ Elle a aussi réalisé, fin 2013, un guide pratique du « Rapid Manufacturing » : <http://www.aserm.net/2013/12/30/una-guia-practica-para-rapid-manufacturing-resultado-del-proyecto-krm/>

⁹⁹ Voir : http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/informat/2014/smart_specialisation_en.pdf

¹⁰⁰ Voir le projet SASAM (Support Action for Standardisation in Additive Manufacturing) développé par l'Agence néerlandaise de l'Innovation (TNO) : http://cordis.europa.eu/result/rcn/149448_en.html/http://cordis.europa.eu/programme/rcn/854_en.html
<http://www.sasam.eu/>

- Le développement et l'adaptation des compétences.

Dissémination à grande échelle des technologies existantes auprès des utilisateurs des technologies traditionnelles et des innovateurs ; formation des designers ; collecte de bonnes pratiques ; sensibilisation des PME et du grand public aux possibilités offertes par ces nouvelles technologies ; mise en place de centres de transfert de technologie dédiés ; mobilisation du secteur éducatif dès l'école primaire ; utilisation élargie des matériels dont disposent les fablabs ; approfondissement des relations BtoC et CtoC ; formations multidisciplinaires permettant d'aborder les différentes facettes de la fabrication additive : design, software, matériels, matériaux, post processing, essais non destructifs, finitions, etc.) ; etc.

- Le soutien financier croissant de l'Europe à l'Additive Manufacturing (AM) constitue, à sa façon et à son échelle, **une forme de réponse aux investissements considérables** consentis par les Etats-Unis et la Chine, notamment, ainsi que par de nombreux autres pays (Israël, Singapour, Japon...), dans ce secteur.
- L'ensemble du financement alloué par la Commission européenne ces dernières années pèse cependant assez peu par rapport à ces masses, ce qui suppose **une réaction significative – et donc un renforcement des moyens – pour éviter un éventuel décrochage.**
- Pour autant, **il n'est pas évident que l'Europe puisse s'adapter aussi facilement qu'il le faudrait aux évolutions extrêmement rapides et diversifiées qu'entraîne une utilisation croissante et multisectorielle de l'AM.** Des industriels américains doutent des capacités de l'Europe à se mobiliser suffisamment¹⁰¹ mais il est clair que l'Europe a commencé à prendre conscience de l'importance de cette nouvelle technologie et va désormais accélérer sa mobilisation.

C. LES AUTRES LEVIERS DE L'ACTION PUBLIQUE : RECHERCHE, DEVELOPPEMENT REGIONAL, FORMATION, SENSIBILISATION... ET COMMUNICATION

1. Des compétences technologiques et universitaires, à la fois initiatrices et courroies d'entraînement des politiques publiques

► « NOYAUX DURS » DE COMPÉTENCES : LES « PÈRES FONDATEURS » ONT CRÉÉ LA TENDANCE ... ET S'ACHEMINENT VERS LA 4D !



Chine : « l'explorateur » devenu leader industriel !

La technologie US a été introduite dans le pays via un professeur de génie mécanique de l'Université de Tsinghua (qui a ensuite fondé Tiertime, devenu le plus important fabricant chinois de ce type de matériel). L'activité a commencé dans la capitale, puis s'est étendue à l'Anhui, et plus récemment dans le Guangdong. L'utilisation de la technologie LAM a commencé en 1995, trois ans après que les États-Unis aient rendus publics des travaux classifiés. À partir de 2000, la *Beijing University of Aeronautics and Astronautics (BUAA)* a constitué une équipe de recherche, soutenue par les milieux liés à la défense et plutôt orientée sur les technologies LMD. C'est la raison pour laquelle les applications militaires ont pris une longueur d'avance et sont aujourd'hui d'utilisation courante dans l'industrie aéronautique et aérospatiale, ainsi que dans la réparation navale.

Deux exemples allemands, en Rhénanie du Nord-Westphalie :



Le Direct Manufacturing Research Center (DMRC) de Paderborn: un PPP harmonieux !



Le RWTH d'Aix-la-Chapelle : concilier compétitivité, recherche, aspects sociaux et géopolitique !

¹⁰¹ Voir le témoignage d'Andrew Walker, fondateur de Skyforge, une plate-forme de gestion à distance d'imprimantes 3D, basée dans l'Idaho. Cette plate-forme permet d'optimiser les ressources d'universités, de bibliothèques et d'entreprises (<http://www.tctmagazine.com/ces-2015/skyforge-3d-printing-cloud-system-to-simplify-3d-printing-ne/>): « L'impression 3D représente une opportunité considérable pour l'Europe, peut-être plus encore que pour les Etats-Unis et la Chine, car l'industrie européenne bénéficie d'une longue tradition de qualité, y compris dans le domaine du luxe ou s'agissant d'activités à haute valeur ajoutée, telles que l'aéronautique ou l'automobile. Ces perspectives se heurtent néanmoins au fait que **le Vieux-Continent ne fait pas preuve de dynamisme lorsqu'il s'agit de faire évoluer la législation qui s'applique à la valorisation de telles innovations.** » (propos cités par Davide Sher (08.06.15) dans le magazine 3dprintingindustry.com (<http://3dprintingindustry.com/2015/06/08/eu-finally-unites-for-am-adoption-with-cecimo-european-conference/>)).



Opérationnel depuis 2008, ce centre d'expertise a été mis sur pied grâce au partenariat noué entre cette université de Rhénanie-Westphalie et plusieurs industriels majeurs (Boeing, Siemens, Stratasys, EOS Electro Optical Systems, Evonik Industries, SLM Solutions GmbH, Stükerjürgen et JetAviation).

<http://www.prototypetoday.com/eos/research-center-at-university-of-paderborn-officially-starts-operations-siemens-stratasys-st%C3%BCkerj%C3%BCrgen-and-jetaviation-join-the-industrial-consortium-as-new-members>

Le Land de Rhénanie—Westphalie, qui a apporté à l'époque un budget d'environ 2 M€ pour constituer l'infrastructure nécessaire et contribuer aux moyens humains, continue à cofinancer les projets de recherche (3,4 M€). Le secteur privé intervient via des cotisations, dont le montant (50 K€ à 100 K€) est proportionnel au degré d'implication des entreprises dans le dispositif, ainsi qu'à travers le cofinancement de projets de recherche. **Le budget prévisionnel du DRMC en 2016 devrait être de l'ordre de 11 M€.**

"Especially in times of a global economic crisis, thinking and acting innovatively generates tremendous opportunities. The DMRC is a perfect example how industry and academia can work together successfully to chart the course for the future. This visionary view will pay dividends because those companies that have invested in modern technology and excellent research today will lead the way with the next upcycle," said Prof. Dr. Andreas Pinkwart, minister for innovation, science, research and technology of the State of North Rhine-Westphalia.



L'Allemagne, comme nombre de pays industrialisés, est confrontée à la question suivante, qui conditionne sa compétitivité : comment compenser les « surcoûts » des pays industrialisés offrant des salaires élevés à leur main d'œuvre ?

Pour répondre à cette question, 32 professeurs (et 82 collaborateurs) du RWTH travaillant dans les domaines des matériaux et de l'ingénierie de production se sont associés à plusieurs centres de compétences locaux (dont certains, affiliés à la Fraunhofer Gesellschaft), dans la mouvance du schéma « Industrie 4.0 », pour constituer un « **Cluster d'Excellence** »¹⁰², qui étudie les différentes manières d'optimiser les technologies de production, de manière à compenser, grâce aux innovations et à la maîtrise de procédés performants, les dépenses liées à l'emploi de personnel hautement qualifié. **Ce cluster dispose d'un budget de 77 M€ pour la période 2006-2017**¹⁰³.

De manière plus traditionnelle, la fabrication additive est « prise en charge » simultanément par 5 instituts spécialisés (dont l'Institut du Laser (ILT) et celui de la transformation des plastiques (IKV)), ce dispositif ¹⁰⁴ étant complété par un centre de documentation technique (KEX Knowledge Exchange AG : www.kex-ag.com).

Cette concentration d'expertise a permis d'aller plus loin, en mixant photonique et fabrication additive, un couplage qui semble ouvrir de nouvelles perspectives très encourageantes (voir document cité en note 42, p. 67 à 90).

Enfin, l'Université prône des approches interdisciplinaires, estimant que cette pratique permet de combler des « gaps de compétences ». C'est ainsi qu'elle a mis sur pied une série d'Instituts Interdisciplinaires Intégrés (I³)¹⁰⁵, qui fait vivre cette réalité au quotidien, tout en laissant de la place pour pouvoir aborder de « futures espaces de croissance » (cf schéma ci-dessous).

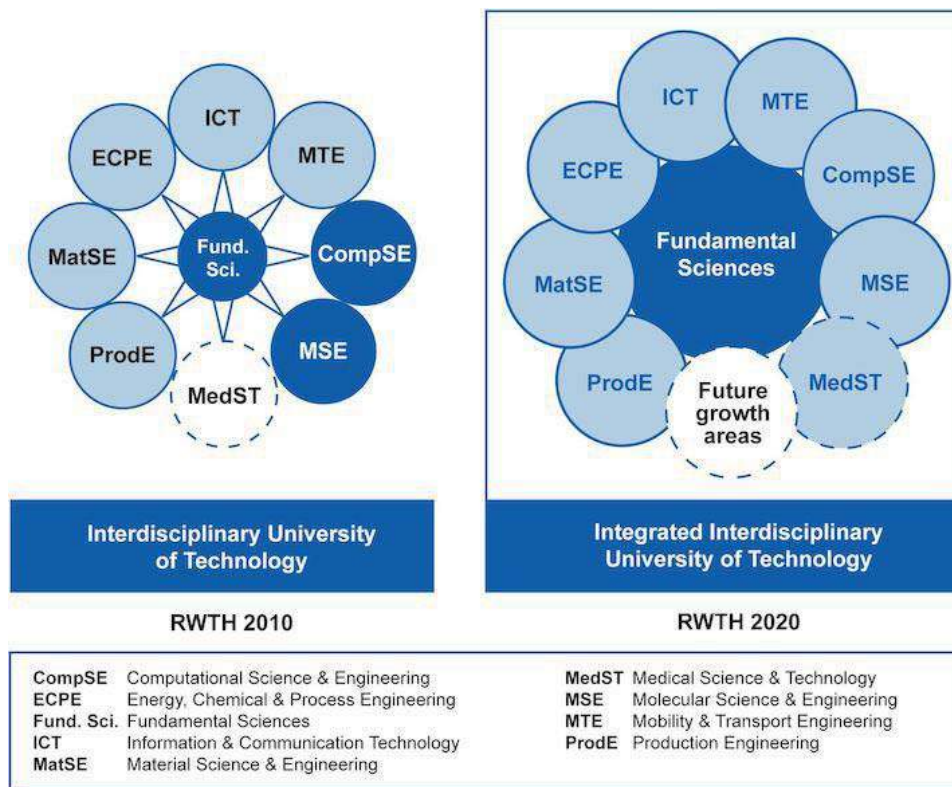
¹⁰² "Integrative Production Technology for High-Wage Countries".

¹⁰³ Voir p. 35 du document suivant :

<https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/regional-innovation-monitor/sites/default/files/report/Aachen%20Centre%20for%203D%20Printing.pdf>

¹⁰⁴ <https://www.produktionstechnik.rwth-aachen.de/cms/Produktionstechnik/Wirtschaft/Themen/~gwx/Additive-Fertigung/lidx/1/>

¹⁰⁵ <https://www.rwth-aachen.de/cms/root/Forschung/Einrichtungen/~dlids/Integrierte-Interdisziplinaere-Institute/lidx/1/>



Source : <https://www.rwth-aachen.de/go/id/ptz/lidx/1>

C'est encore le monde universitaire qui crée la tendance, en particulier vers l'impression 4D, qui intègre dans le concept des matériaux à mémoire de forme. À titre d'exemple, le Centre de Lasers de Hanovre (LZH) est en train, dans ce domaine, de développer des implants médicaux « sur mesure », capables de prendre leur forme finale, une fois en place¹⁰⁶.

L'EXEMPLE DE SINGAPOUR



L'engagement particulier de l'Université de Nanyang (UTN)

Sous la houlette du Pr. Chua, qui dirige le NAMC¹⁰⁷, l'Université est devenue l'un des principaux leaders asiatiques dans ce secteur d'activité qui « a transformé la façon dont les ingénieurs conçoivent désormais les produits car il ouvre un monde nouveau en matière de design. » Pour y parvenir, plusieurs accords de partenariat ont été noués avec des entreprises, d'abord locales, telles que l'électronicien Molex Corporation, puis internationales. Ainsi, en mai dernier, NTU a signé un accord de 4,8 M\$ avec l'un des principaux fabricants mondiaux d'imprimantes, SLM Solutions.

Dans un tel contexte, c'est l'Université qui relaie le programme d'appui public : Ce programme est géré par le Singapore Institute of Manufacturing Technology (SIMTech), un institut de recherche spécialisé qui dépend de A*STAR, en collaboration avec la Nanyang Technological University (NTU)¹⁰⁸. Pour en savoir plus : <http://www.a-star.edu.sg/Portals/0/media/Press%20Release/News%20Release%20Launch%20of%203D%20Additive%20Manufacturing%20Programme%2022%20Nov.pdf>

A*STAR et son Additive Manufacturing Programme : <http://www.a-star.edu.sg/Research/Research-Focus/Physical-Sciences-Engineering/Industrial-Additive-Manufacturing-Programme.aspx>

¹⁰⁶ Source : Die Welt (22.02.2014) : <http://www.welt.de/wissenschaft/article125102207/4D-Druck-macht-Produkte-beinahe-lebendig.html>

¹⁰⁷ Le NTU Additive Manufacturing Centre (budget : 30 MSGD) fonctionne avec une équipe de 30 professeurs et de 100 chercheurs. Pour en savoir plus : <http://namc.mae.ntu.edu.sg/NewsnEvents/Pages/News-Detail.aspx?news=210ce1e2-d8dd-4ce5-9eb7-1c26d09e3929&print=1> (10.11.2014).

¹⁰⁸ For example, SIMTech has worked with one local company, Tru-Marine, to use additive manufacturing instead of manual welding so as to repair turbochargers, and to cut the time taken to do the job from four days to two hours.

► COLLABORATION TRILATÉRALE ENTREPRISES/UNIVERSITÉS/POUVOIRS PUBLICS : UN EXEMPLE DE « TIERCÉ GAGNANT » DANS L'ÉTAT DE NEW-YORK



Le 25 septembre 2014, le Gouverneur Andrew M. Cuomo a annoncé un plan en faveur de l'innovation, doté d'un budget de 55 M\$. Sur cette enveloppe, **10 M\$ vont être consacrés à un Engineering Innovation Hub piloté par SUNY (State University of NY)**. Cette structure, implantée sur 2.000 m², devrait permettre de créer 200 emplois à plein temps et de former, sur une période de 10 ans, quelque

300 ingénieurs spécialisés dans les secteurs de l'Advanced Manufacturing et de l'impression 3D :

<http://www.newpaltz.edu/3d/index.php#cuomo>

Ce projet vient conforter le travail déjà réalisé par SUNY New Paltz qui, en mai 2013, a lancé, en collaboration avec MakerBot, la « **Hudson Valley 3D Printing Initiative** », qui a permis de regrouper les compétences en un lieu unique, équipé d'un parc de machines 3D ultra-moderne, et enrichi de nombreux partenariats industriels : <http://www.hudsonvalley3dprinting.com/>

Ces recherches ont, par exemple, abouti à la mise au point réussie d'une prothèse de main pour un enfant handicapé, habitant de l'État : <http://www.newpaltz.edu/3d/news.html>

Ce laboratoire a d'ailleurs reçu, de la part du Sénateur J. Bonacic, un financement complémentaire de 850.000 \$ en septembre 2014 : <http://www.nysenate.gov/press-release/senator-john-bonacic-secures-state-funding-suny-new-paltz-funds-will-support-growing-0>

L'État entier est mobilisé sur de tels développements, qui associent structures publiques et entreprises privées. À titre d'exemple, on peut citer :

* Le « Buffalo High-Tech Manufacturing Innovation Hub » de RiverBend, mis en place en novembre 2013 avec le concours de fonds publics: <https://www.governor.ny.gov/news/governor-cuomo-announces-new-york-state-build-high-tech-manufacturing-complex-buffalo>

* Les recherches menées par Harbec Inc., fabricant de pièces métalliques et en plastique, qui ont été subventionnées, en mars dernier, à hauteur de 400.000 \$ par le NYSERDA (State Energy Research and Development Authority), dans le but de développer, grâce aux technologies 3D, des moules high-tech permettant de réduire la consommation d'énergie :

http://www.harbec.com/wp-content/uploads/2014/08/nyserdaproject_pressrelease_march2014.pdf

2. La dynamique régionale : une réalité qui s'affirme aussi bien aux Etats-Unis qu'en Allemagne qu'en Chine



America Makes: National Additive Manufacturing Innovation Institute (NAMII): <https://americamakes.us/>

Tutelle : National Center for Defense Manufacturing & Machining (NCDMM)

Membres/Partenaires: 50 entreprises, 28 universités et laboratoires associés et 16 autres organisations.

Dotation financière fédérale : 50 M\$

Mission : Favoriser l'adoption accélérée des technologies d'AM et d'impression 3D par le secteur manufacturier US, afin de renforcer la compétitivité nationale de ce secteur. Appels à projets périodiques:

<https://americamakes.us/engage/projects>

⇒ En Chine, la dimension territoriale est également très présente car il s'agit de faire en sorte que les infrastructures des espaces industriels restent attractives pour les investisseurs locaux et étrangers. L'impression 3D devient donc un outil de développement régional et local.

Une plus grande utilisation de ces technologies passe par leur diffusion au niveau régional et local. C'est la raison pour laquelle, le secteur de l'impression 3D se trouve mis en avant dans plusieurs projets récents d'une certaine envergure :

- À Changsha (capitale du Hunan), les autorités municipales ont inauguré, en octobre dernier, un parc industriel ayant vocation à constituer un « hub » technologique. Ses activités incluent la fabrication d'imprimantes 3D, avec l'objectif de tripler la production dès 2016. Dans le sillage de ce projet, les villes de Wuhan et de Zhuhai prévoient de faire de même dans les prochains mois.
- À Shenyang (capitale du Liaoning), la Chine et l'Allemagne¹⁰⁹ ont uni leurs efforts pour bâtir un parc industriel de 120 km², qui concentrera ses activités dans des secteurs à haute valeur ajoutée, dont la robotique et l'impression 3D. Outre le fait que ce projet permet d'irriguer en technologie de Nord-Ouest du pays, il contribue à renforcer les échanges commerciaux entre les deux pays.
- À Chengdu (capitale du Sichuan), les autorités locales ont lancé en 2014¹¹⁰ plan triennal d'investissement dans la haute technologie (dont l'impression 3D), doté d'un budget de plus de 160 M\$. Or, cette zone accueille déjà plus de 250 grandes entreprises internationales, dont Siemens AG, qui y a implanté sa première usine virtuelle hors d'Allemagne.

3. Former la « nouvelle garde » : un enjeu aussi bien politique que technique

► SENSIBILISER L'OPINION ET AGIR EN DIRECTION DES PUBLICS JEUNES

- Alimenter la curiosité pour susciter des vocations : Chine (et Taïwan) sur tous les fronts !



► Pinla 3D : En près de 22 ans d'existence, le métro de Shanghai a permis aux habitants de la ville d'effectuer plus de 13 milliards de voyages. Autant dire qu'il s'agit d'un excellent moyen d'atteindre le grand public. Afin de susciter son intérêt, en faisant référence à la culture locale, une boutique 3D spécialisée dans la reproduction de personnages et de figurines (telles que celles du zodiaque chinois, particulièrement en vogue) a été implantée l'année dernière au sein de ce système de transport (station Xintiandi)¹¹¹. Cette initiative a rencontré un vif succès.

► Musée de l'impression 3D¹¹² : L'Industrial Design and Creative Industry Base de Beijing a inauguré, en janvier 2013, un "musée" qui présente à la fois de l'équipement ayant déjà servi à certaines réalisations notables et des séries de produits courants réalisés en impression 3D (boîtes métalliques, chaussures de sport, poupées...), démontrant ainsi comment peut être réalisée une « customisation de masse ».



En Chine, toujours, l'Etat est soucieux d'assurer une sensibilisation du public le plus large, en mettant l'accent sur les plus jeunes. En agissant ainsi, il incite ceux-ci à découvrir ce secteur et à s'y investir, ce qui permet de constituer la main d'œuvre de demain, à la fois curieuse et compétente¹¹³. Une initiative en matière périscolaire a été ainsi mise en place en mai dernier, en partenariat avec TierTime (le fabricant leader dans le pays) : <http://www.tiertime.com/EN/case/Education/2014/0905/109.html>

Ce genre de projet est ensuite repris par le secteur privé, qui l'utilise à des fins pédagogiques : voir le projet Creatica : <http://www.bbc.com/news/business-29076933>

¹⁰⁹ Fin 2013, 400 entreprises allemandes étaient déjà implantées dans cette région, où elles ont injecté plus de 2 MM\$ de capital. (01.11.2014). Voir : <http://www.globaltimes.cn/content/889467.shtml>

¹¹⁰ http://europe.chinadaily.com.cn/epaper/2014-06/13/content_17584256.htm (13.06.2014).

¹¹¹ <http://www.globaltimes.cn/content/870663.shtml>

¹¹² Voir : <http://3dprintingindustry.com/2013/01/21/3d-print-museum-opens-in-beijing-china/>

¹¹³ "3D printers are a great way for schools to really engage their students in the learning process and offer many advanced possibilities in college for a variety of disciplines." (M. Suki, Winbo Industrial Co. Ltd.).



► En vue de renforcer son action pédagogique, l'Etat a aussi prévu d'équiper systématiquement les lycées d'imprimantes 3D. Dans ce cadre, très récemment, une initiative symbolique a aussi vu le jour. Il s'agit de l'ouverture, en partenariat avec un fabricant réputé d'imprimantes, Winbo Industrial Co. Ltd.¹¹⁴, d'un collège dédié à l'impression 3D, dans le complexe urbain de Guangzhou (Canton) (cf photo). À terme, l'objectif consiste à équiper en imprimantes 3D l'ensemble des 400.000 écoles élémentaires du pays d'ici à l'année prochaine¹¹⁵.

► A Taïwan, dans le même esprit, les autorités ont récemment décidé de faire circuler des « Fab Trucks » (ateliers roulants de démonstration) dans tout le pays¹¹⁶. D'ici à deux ans, ces ateliers mobiles auront permis d'assurer des présentations dans les quelque 500 lycées de l'île, permettant ainsi à 160 000 étudiants et enseignants de faire connaissance avec la réalité de la fabrication additive et d'en percevoir les enjeux en termes économiques et pédagogiques.

- Faire jouer « l'esprit Fondation » pour rendre l'expertise largement abordable : l'expérience israélienne du Cross-Lab Network (XLN)¹¹⁷

Ce projet, financé par le Reut Institute¹¹⁸, vise à optimiser la collaboration entre acteurs-clés de la fabrication additive, tout en rendant ces technologies accessibles au plus grand nombre.

XLN se propose :

- de promouvoir la communauté des « Makers » au premier plan des leaders du pays,
- de développer la connaissance de ces nouvelles technologies par le grand public à travers une série d'institutions, telles que les écoles, les collèges, les universités, etc,
- de rendre ces technologies accessibles au plus grand nombre, y compris aux PME et aux personnes ayant des besoins spécifiques.

Implanté jusqu'à présent à Tel Aviv, à Jérusalem et à Haïfa, XLN se propose de disposer de 15 centres coopératifs dédiés d'ici à fin 2015. Ces structures polyvalentes permettent d'assurer des fonctions pédagogiques, mais aussi professionnelles et de démonstration, de manière à encourager l'essaimage.

► DÉVELOPPER DES ACTIONS SPÉCIFIQUES EN DIRECTION DU MONDE PROFESSIONNEL

Le lien entre niveau de qualification professionnelle et compétitivité n'a pas échappé aux décideurs politiques des pays à fort développement industriel, pas plus que la nécessité d'améliorer l'image de marque de ces activités, ternie au fil des années.

The quality and skills of the workforce will be a critical factor in capturing competitive advantage. It is essential that UK policy makers focus on the supply of skilled workers, including apprenticeship schemes, support for researchers, and the supply of skilled managers. Firms will need to pay much more attention to building multidisciplinary teams to develop increasingly complex products, and also innovative business models. It will also be crucial to address the current image associated with manufacturing¹¹⁹.

¹¹⁴ Baiyun Winbo - 3D Printing College Opens its Doors in China: Very first school of its kind (26.12.2014):<http://3dprint.com/33398/3d-printing-college-in-china/>

¹¹⁵ Chinese Government to Put 3D Printers in All 400,000 Elementary Schools by Next Year (08.04.2015): <http://3dprint.com/56699/china-3d-printers-schools/>

¹¹⁶ Taiwan launches Fab Trucks to bring 3D printing to 497 campuses over the next 2 years (10.04.2015):<http://www.3ders.org/articles/20150410-fab-trucks-to-promote-3d-printing-by-visiting-497-campuses-in-taiwan.html>

¹¹⁷ Voir: http://xln.org.il/tlv/?page_id=70

¹¹⁸ Créé en 2004, le Reut Institute est une organisation à but non-lucratif qui se propose de contribuer à un "significant and substantive impact on the future of the State of Israel and the Jewish people". Elle fonctionne grâce à des dons et des legs. Son équipe est constituée de jeunes professionnels qualifiés, qui ont en charge la rédaction de prises de position destinées à la sphère publique et travaillent en Task-Forces dédiées à des thèmes précis. Voir : <http://www.reut-institute.org/en/Publication.aspx?PublicationId=4109>

¹¹⁹ Source : Future of manufacturing: a new era of opportunity and challenge for the UK (30.10.2013) https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/255922/13-809-future-manufacturing-project-report.pdf

Pour pouvoir contribuer à une certaine amélioration du potentiel, deux approches (d'ailleurs complémentaires) sont possible :

- a) Soutenir les programmes de formation universitaire sectorielle pour faciliter le perfectionnement de la main d'œuvre :

Aux Etats-Unis, la Pennsylvanie, par exemple, a mis en oeuvre une telle politique dans le domaine des nanotechnologies¹²⁰ :

“One of our greatest challenges is that today’s technologies are developing at such a rapid pace, traditional curricular programs can’t easily keep up. To augment those programs, we develop and identify non-traditional programs that help inspire ingenuity, facilitate experience and empower all”¹²¹.

Pour répondre aux besoins des industriels en matière de main d'œuvre qualifiée dans le domaine des micros et nano-fabrications, un réseau national de compétences dédiées (le NACK)¹²² s'est constitué, associant universités et collèges techniques, implantés dans sept États, ainsi qu'à Porto-Rico.

Ce réseau a la particularité de comporter certains « hubs », qui constituent de véritables points focaux de référence. Ainsi le hub de Pennsylvanie, sous l'égide de l'Université de l'État, permet-il aux entreprises comme aux étudiants de disposer d'enseignements, ainsi que de la compétence d'experts et de locaux adaptés, l'ensemble fonctionnant grâce à un accord de partenariat spécifique (Pennsylvania Nanofabrication Manufacturing Technology (NMT) Partnership) et avec l'appui d'un centre de ressources techniques (Center for Nanotechnology Education and Utilization).

- b) Mettre l'accent sur l'anticipation des besoins :

- Au Royaume-Uni, une telle analyse prospective, notamment en termes de main d'œuvre, a été réalisée mi-2013 dans deux secteurs clés : la construction aéronautique et l'automobile¹²³. Si les enjeux apparaissent plus clairs dans le domaine aéronautique que dans le secteur automobile, plusieurs tendances fortes ont été identifiées, en particulier en matière d'utilisation des composites et de l'impression 3D¹²⁴.

S'agissant plus particulièrement de cette dernière :

- Une demande de compétences accrue devrait concerner le personnel en charge du fonctionnement et de la maintenance des imprimantes, des poudres et des équipements de finition, ainsi que les personnels chargés du design et de la conception ;
- En termes de postes, les besoins couvrent un large spectre, depuis les fonctions d'ingénierie (R&D, qualité, gestion de production, contrôle de résistance des matériaux, CAD, etc.) jusqu'à celles des ouvriers (ex. ajusteurs), en passant par les équipes techniques (techniciens de laboratoires, conducteurs de machines, personnel en charge des contrôles destructifs et non-destructifs, etc.) ;
- Les formations correspondantes peuvent être assurées par les fabricants d'équipements eux-mêmes, ainsi que par certains organismes spécifiques, mais ceux-ci se limitent le plus souvent à servir leurs clients. C'est ainsi que certains employeurs ont entamé une réflexion en vue de mettre en place un schéma d'apprentissage spécialement dédié à ce type de filière. Parallèlement, l'enseignement supérieur est invité à développer des enseignements complets et des modules de différents niveaux (certifiés par un diplôme), tant dans le domaine de la fabrication additive que dans la CAD, les deux spécialités étant assez complémentaires.

¹²⁰ Au sujet des enjeux portés par les « nanotechnologies », voir le rapport rédigé en 2014 des cinq conseils généraux de l'Etat (CGE, CGARM, etc.) avec pour auteurs Françoise Roure (CGE), Christian Maillard et Catherine Fargeon (CGARM), etc.

¹²¹ <https://americamakes.us/technology/growing-3d-workforce>

¹²² National Nanotechnology Applications and Career Knowledge (NACK) Network - <http://www.cneu.psu.edu/abHomeOf.html>.

Voir notamment: www.nano4me.org.

¹²³ Voir : Technology and Skills in the Aerospace and Automotive Industries – UKCES – Octobre 2013 https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/303096/evidence-report-76-aerospace-and-automotive-exec-summ.pdf

¹²⁴ Voir : Technology and Skills in the Aerospace and Automotive Industries – UKCES – Octobre 2013 https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/303096/evidence-report-76-aerospace-and-automotive-exec-summ.pdf

PARTIE 3

**CHAÎNES DE VALEURS,
NOUVELLES ORGANISATIONS,
NOUVELLES COMPÉTENCES**

I – LA CHAÎNE DE VALEUR DU MODE DE FABRICATION ADDITIVE

La véritable révolution que permet la fabrication additive consiste à pouvoir aujourd’hui concevoir librement des pièces qui n’étaient, jusqu’à présent, absolument pas réalisables par des machines-outils.

L’imagination fertile de nos ingénieurs a été longtemps bridée par une question : la pièce que j’imagine peut-elle être fabriquée par les outillages dont je dispose (moules, injection, taraudage, perçage, vissage, etc.) et avec les matériaux dont je dispose (blocs de matière, tôles, fils, tubes, barres, rails, etc...). Or, la fabrication additive apporte d’autres degrés de liberté, et permet facilement, en déposant de la matière juste aux endroits souhaités, de créer nombre d’objets qui n’étaient pas accessibles jusqu’à présent. C’est un processus qui s’améliore par itération, un processus créatif, porteur de valeur.

C’est un profond gisement en innovations que va entraîner la fabrication additive et la multiplication des modèles de business, et en même temps, il faut garder en mémoire qu’il s’agit d’une nouvelle révolution dans la machine-outil, et que la finalité demeure de fabriquer des objets. Révolution du numérique, certes, avec une interpénétration d’abord dans le monde physique : les industriels, joueront, avec les start-up, un rôle prépondérant comme acteurs de cette révolution, étant précisé que les services innovants et bien d’autres secteurs saisiront toutes les opportunités. On peut aussi dire que, par « industriels », on entend les mécaniciens, comme les métallurgistes, les chimistes, les éditeurs de softwares, les designers, etc.

Pour qu’il y ait un marché, il faut que les produits fabriqués ou qui seront fabriqués par ces nouvelles technologies de fabrication additive présentent une valeur ajoutée par apport aux fabrications plus traditionnelles (qualifions-les de soustractives). Cette valeur ajoutée peut-être le prix, la qualité, la souplesse d’obtention – fabrication unitaire à la demande – l’obtention de pièces que l’on ne savait pas réaliser avant, ou les combinaisons de ces éléments et de bien d’autres. N’oublions pas l’innovation car de nouveaux produits, de nouveaux aspects, de nouvelles matières vont apparaître et susciter de la demande.

Le marché de la fabrication additive est en forte croissance. Ce mode de fabrication – qui va rester et se développer chez des utilisateurs passionnés – va probablement connaître une forte expansion en valeur surtout dans un marché professionnel B to B, et pour des applications qui répondront à des exigences industrielles. La chaîne de développement d’un objet en fabrication additive, ainsi que la chaîne de valeur associée à ce développement peuvent être décrites par le diagramme ci-après :

VALUE CHAIN

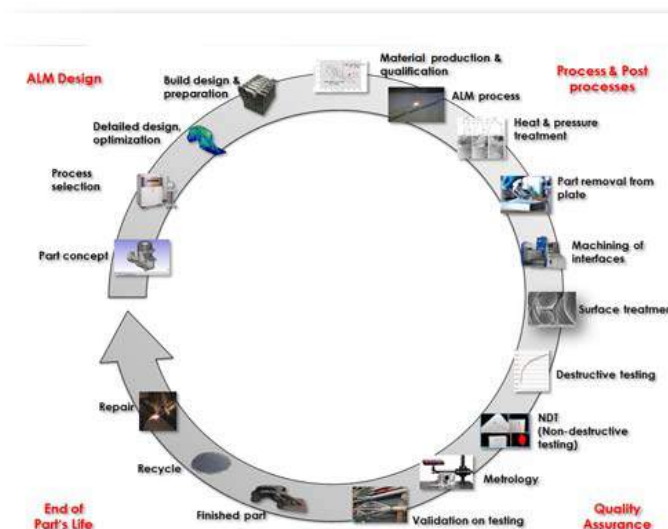
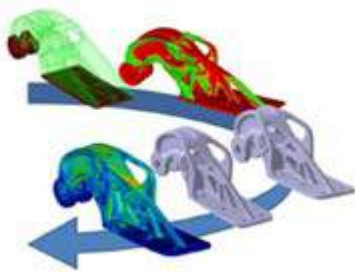


Schéma : Apworks - <http://www.apworks.de/apworks/int/en/Additive-Manufacturing/Value-Chain.html> (filiale à 100% d'Airbus group)

Dans le schéma ci-dessus, il s’agit d’un processus industriel relativement élaboré depuis les premières étapes de la création, de l’idée de l’objet à concevoir, jusqu’à la fin de vie de l’objet, sa destruction ou son recyclage (cf. ci-après). Suivant les cas, les machines et les matériaux, un certain nombre de ces étapes ne sont pas encore

présentes. Pour les machines dites « grand public », on passe beaucoup plus simplement du fichier numérique à la production d'un objet à partir d'un ou plusieurs filaments de matière plastique par exemple, mais l'objet produit n'a pas toutes les qualités industrielles que l'on pourrait obtenir par le processus rigoureux du schéma ci-dessus et décrit ci-après :

- 1) La conception de l'objet, sur un logiciel de visualisation 3D.
- 2) Le choix des matériaux et du process, donc de la machine qui pourra être utilisée, est une itération entre le cahier des charges fonctionnelles (propriétés mécaniques, électriques, magnétiques, étanchéité, etc.), les matériaux envisagés et la maîtrise complète du process, c'est-à-dire les opérations d'empilement de couches additives, les opérations en cours de fabrication (par exemple, tenue en température) et les opérations post-traitement. Des calculs d'optimisation sur la forme physique dans laquelle se présentent les matériaux sont évidemment possibles : par exemple s'il s'agit d'une poudre métallique, la taille des grains de poudre, leurs puretés, etc.
- 3) Une fois le procédé et les matériaux choisis, la forme de la pièce peut être optimisée. Il existe un champ considérable d'innovation sur les formes de pièces, des structures dites lattices (qui font apparaître l'objet dans ces contours, avec un maillage plus ou moins fin en forme de grille), des optimisations topologiques : ces optimisations visent à garantir les exigences fonctionnelles tout en réduisant la consommation de matière, donc le poids de l'objet. Elles sont rendues possibles par la fabrication additive et il n'y a aucun autre moyen connu pour fabriquer des pièces qui deviennent extrêmement complexes et qui dans la plupart des cas ne peuvent-être ni usinées, ni moulées.
- 4) Pour un processus industriel, au-delà des performances assurées ou améliorées, de la fiabilité de l'ensemble du process, le critère déterminant restera le coût des pièces produites. Pour aller plus loin dans cette mise en œuvre, les estimations devront clairement laisser entrevoir une baisse des coûts de production à iso-qualité. Si ce n'était pas le cas, cette évaluation pourrait être reprise ultérieurement lors de l'apparition d'autres sources de gain (machines plus performantes et moins chères, idem pour les matériaux, etc.).



Étapes d'optimisation topologique d'une charnière : la première image est le mode classique de fabrication. Les images qui se succèdent illustrent différentes étapes de conception jusqu'à la version retenue qui présente un gain de poids d'environ 50% par rapport au design initial.

- 5) Il y a ensuite la préparation des pièces qui vont être réalisées ensemble : c'est une stratégie de positionnement des pièces les unes à côté des autres dans la machine. Par exemple, si l'on souhaite « imprimer » un objet ayant la forme d'un stylo, il peut être réalisé à l'horizontale, ou à la verticale (pointe en haut ou en bas), ou avec un angle et la conception d'un support pour le maintenir. Ce support sera détaché pendant la phase de post-traitement. Pour ce positionnement, on cherche là encore à optimiser le nombre de pièces qui seront fabriquées dans la machine, la qualité de la fabrication (il y a des stratégies de parcours du faisceau laser, ou du dépôt de matière qui sont ainsi optimisées), la consommation de matière et d'énergie, etc.
- 6) Une fois toutes ces opérations préparées, le fichier CAO de chaque objet est converti en un fichier que comprend la machine. On indique également – via un fichier numérique – comment réaliser le process – par exemple quelle sera la programmation du parcours de la tête d'impression si la machine fonctionne avec une buse, ou un/plusieurs faisceau(x) laser – ou un faisceau d'électrons - s'il s'agit par exemple d'une imprimante à lit de poudre.
- 7) La fabrication des pièces peut commencer, en atmosphère confinée (le plus souvent, si la machine est industrielle) ou non. À chaque étape de couche, les matériaux qui sont dispersés – et non agglomérés à la pièce – sont soit balayés, soit aspirés, et le plus souvent recyclés ou réutilisés. La machine travaille seule,

sans avoir besoin d'un opérateur, son utilisation peut-être ainsi programmée pour 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 avec simplement d'un opérateur pour lancer l'opération, retirer les pièces en fin de fabrication, nettoyer l'encainte, recharger en matériaux la machine, et relancer une nouvelle fabrication. Il conviendra de détacher les pièces des supports si des supports ont été réalisés pour construire les pièces (qui sont les éléments création de valeur).

- 8) Les pièces sont ensuite testées. Lorsque la pièce est réalisée pour la première fois (il s'agit alors d'un prototype), il y a toute une batterie de tests. Des morceaux de la pièce (échantillons) peuvent avoir été également réalisés... Les contrôles doivent permettre de s'assurer que le cahier des charges fonctionnelles est bien respecté, ces tests peuvent aller jusqu'à détruire les échantillons ou la pièce pour s'assurer des qualités requises.
- 9) Il s'agit de véritables procédés industriels, qui permettent d'avoir par exemple des pièces ayant des tenues aussi satisfaisantes que dans les procédés de fabrication par moulage, presse, ou mode soustractif, à condition qu'un certain nombre de traitements post-fabrication leur soient appliqués :
 - Ces pièces peuvent être plongées dans différents bains de traitement, enduites de vernis, subir des traitements thermiques, ou d'autres procédés permettant d'obtenir l'aspect, les qualités et les interfaces souhaitées ;
 - Bien entendu, les pièces n'ont pas le fini d'un moulage par injection. Il convient donc d'appliquer après la fabrication des traitements de surface (par exemple polir les pièces – ce qui peut être une opération plus ou moins délicate et coûteuse suivant les matériaux et les procédés utilisés).

L'ordre dans lequel se déroulent ces opérations est optimisé pour chaque type de pièce, il peut y avoir des itérations jusqu'à élaborer la meilleure séquence d'enchaînement de ces opérations.

- 10) La pièce finie, on doit s'assurer qu'elle respecte le cahier des charges. Si ce n'est pas le cas, il faudra réfléchir à un nouveau design et/ou une nouvelle mise en œuvre du cycle de fabrication – en modifiant certains des paramètres qui interviennent dans ce cycle. Il est utile de modéliser, simuler et calculer les performances attendues, pour éviter un trop grand nombre d'itérations pour la mise au point : nous le verrons plus loin. Le réservoir de recherche et d'apports scientifiques sur ces sujets est gigantesque.

Une fois élaborés tous ces travaux, on relance la fabrication d'un nouveau prototype et on le teste.

Le processus peut être itéré de très nombreuses fois. Dès que la mise au point est conforme, qu'il s'agisse d'un objet unique, d'une petite ou moyenne série, on peut lancer en production en contrôlant que les objets ont bien été produits d'une façon satisfaisant les fonctionnalités attendues.

Ce schéma de principe de la fabrication additive avec une vocation de qualité industrielle connaîtra probablement des modifications, de la complexité accrue et/ou des améliorations.

Parmi ce qui est prévisible et/ou envisageable, on doit particulièrement chercher à :

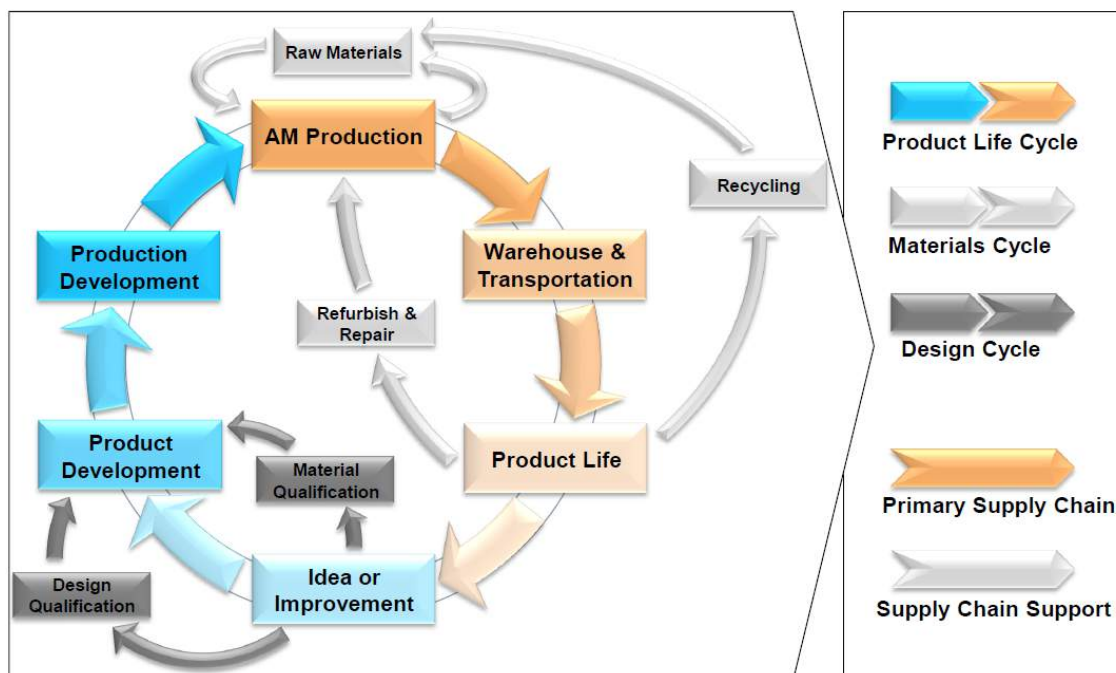
- Accroître la dimension écologique (économie de matière, énergie, stockage, précautions pour prévenir la toxicité, recyclage des produits...)
- Accroître la productivité des machines (capacité de fabriquer plus rapidement, avec une qualité améliorée : cela concerne toutes les étapes du processus, par exemple les travaux de contrôle, qui, s'ils étaient réalisés in situ seraient un facteur de productivité : un gain de temps par rapport à un contrôle réalisé après la fabrication, mais aussi la possibilité de programmer la machine pour corriger automatiquement les défauts détectés en cours de processus de fabrication ;
- Mélanger la fabrication additive et soustractive.

Quand les machines de fabrication tridimensionnelle utilisent un ou plusieurs lasers, un axe de recherche dans le futur serait que l'un de ces lasers puisse également réaliser les travaux de traitements de surface ou de contrôle dimensionnel. Mais il peut y avoir bien d'autres innovations.

Les technologies de fabrication par AM seront certainement des voies utilisables pour la création de nouveaux matériaux (dépôt de poudres de matériaux différents), mais cela dépendra des solutions technologiques choisies qui seront plus ou moins faciles à mettre en œuvre. Les machines de fabrication additives métalliques par projection de poudre (technologie DMD) permettent ainsi de faire varier la composition d'un mélange de deux ou plusieurs poudres métalliques au fur et à mesure que se construit la pièce – on appelle cela un gradient de matériaux. Une autre voie à explorer peut dépendre des paramètres du laser. Avec différents refroidissements, la même poudre peut donner différents matériaux. En faisant varier ces différents paramètres, les champs d'exploration sont immenses et nous n'en sommes qu'au début.

- 11) Certaines de ces technologies sont adaptées pour permettre des techniques de rechargement, d'ajout de fonctions, et de réparation de pièces, nous les aborderons plus loin. Il peut s'agir de modifier ou d'enrichir la fonctionnalité de pièces déjà fabriquées, de prolonger l'utilisation de pièces de valeur (notamment dans des matériaux rares ou critiques), et par là-même de contribuer à un développement durable de la chaîne industrielle : réutiliser des pièces, ou les réparer, en assurant les exigences de qualité nécessaires. C'est important car c'est ici que se situe la réparation par addition de matière que nous verrons plus loin (technologie de la société française BeAM).
- 12) Le cycle de vie d'un produit est plus complexe ; il n'est pas un cercle linéaire, mais plutôt une multitude de boucles d'optimisation :

CYCLE DE VIE D'UN PRODUIT ET INTERACTIONS POSSIBLES AVEC LA FABRICATION ADDITIVE



Source : Schéma emprunté à Siemens, Conférence Euromold (novembre 2014)

La fabrication additive peut intervenir à de nombreuses étapes :

À la conception et dans la boucle d'optimisation de la phase de développement jusqu'à la production puisque chaque pièce produite peut être testée, repensée, et améliorée jusqu'à une optimisation finale permettant de sortir une série limitée ou non de pièces identiques ou customisées.

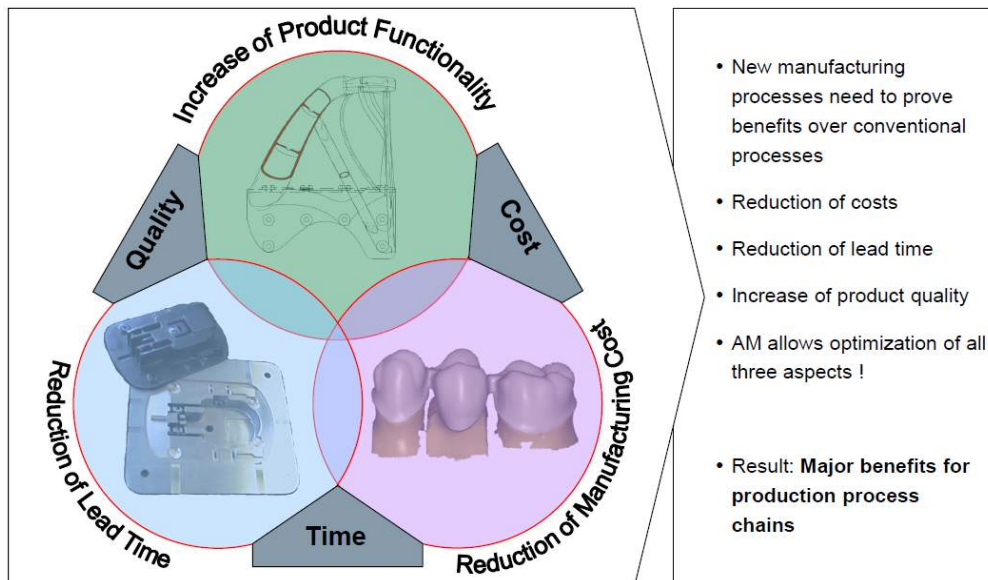
La pièce peut être ensuite directement fabriquée au plus près des clients, ce qui évite le stockage, les transports, les passages en douane, etc.

La pièce, au cours de son cycle de vie peut être modifiée et/ou réparée : la fabrication additive ouvre des champs très larges pour effectuer des pièces de réassort alors que les fabricants initiaux ne savent plus produire les pièces ou ont disparu, mais certaines technologies de fabrication additive (voir les procédés de dépôt de matière sous flux d'énergie dirigée (DMD)) permettent de réaliser dans certains cas des ajouts de fonction ou des

réparations qui peuvent être des sources de forte création de valeur, *i.e* qui procurent un avantage économique indéniable.

Enfin, les efforts de recyclage de matériaux vont se poursuivre, une portion croissante de matériaux devrait pouvoir être recyclée.

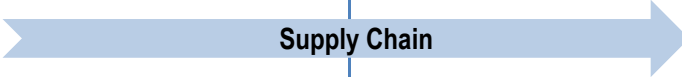
- Parmi les avantages de ces processus de fabrication, notons :



- Le délai d'obtention d'une pièce prototype qui est infiniment plus rapide que par toutes les méthodes traditionnelles.
- La recherche d'optimisations, par exemple dans les coûts de fabrication, de simplification ou de rationalisation des composants ou des pièces : on peut ainsi en fabrication additive « imprimer » une pièce complexe qui était auparavant constituée de plusieurs autres pièces assemblées ;
- La souplesse d'emploi de ces technologies. Une fois la pièce parfaitement définie, on peut la reproduire à la demande et dans une localisation déportée (il suffit d'avoir les matériaux, la machine d'impression et les outils nécessaires aux traitements après fabrication). Cette production « on-demand » va réduire les stocks, et permettre d'améliorer la gestion de ceux-ci ;
- Cela aura des conséquences sur toute la chaîne de fabrication d'un produit fini, la sous-traitance, la supply-chain : amélioration et optimisation de la logistique ;
- Les pièces peuvent être customisées : à partir d'un modèle, on peut personnaliser chaque édition de pièce en apportant des modifications au fichier numérique ;
- L'innovation incrémentale peut ainsi se poursuivre quasiment en continu, ou par étapes, on pourra différencier plus facilement les produits, ou les options, faire évoluer plus facilement dans le cycle de vie d'un produit fini les pièces le composant, par exemple passer sur certaines de ces pièces d'un mode de fabrication classique à un mode de fabrication additive ;
- Les pièces (de valeur) pourront être réparées, modifiées, améliorées, avec des procédés qui permettront d'assurer une très forte qualité de ces ajouts ou réparations ;
- Les pièces peuvent être fabriquées dans un pays à fort coût de main-d'œuvre, une ré-industrialisation forte des zones très développées est donc tout à fait envisageable ;
- pas de nécessité d'un outillage spécifique, ce qui permet une grande souplesse dans les développements et les modifications.

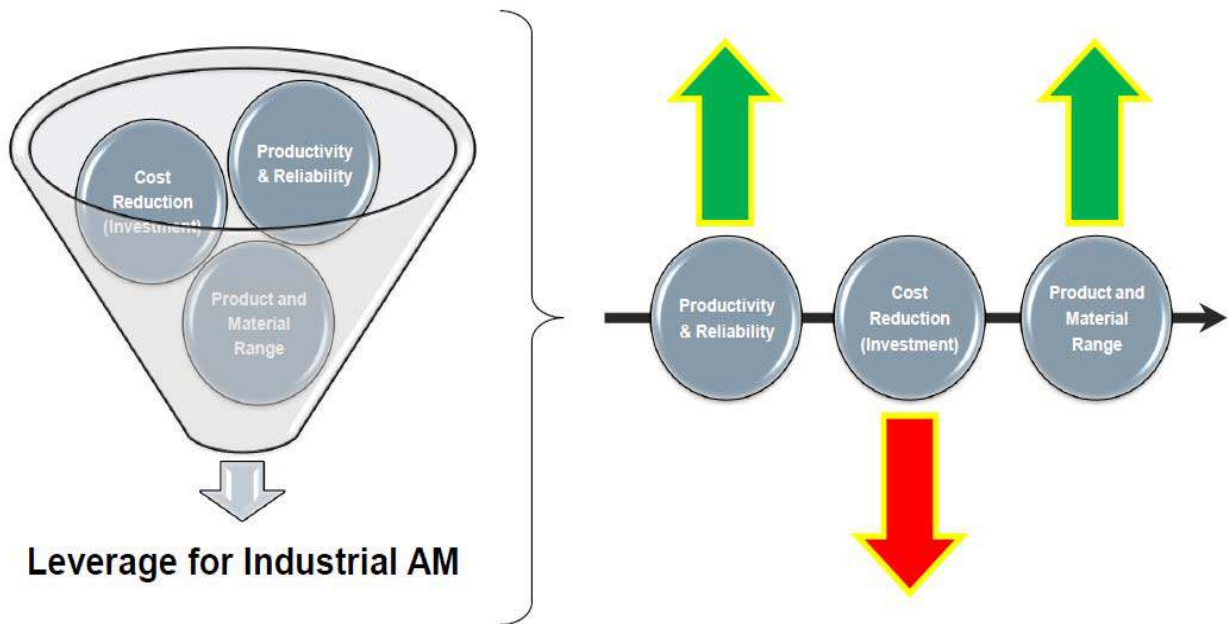
SYNTHÈSE DES AVANTAGES DE LA FABRICATION ADDITIVE

DÉFIS A RÉLEVER MATÉRIAUX ET MULTIMATERIEUX	DESIGN ET CONCEPTION	PRODUCTION	CLIENT/UTILISATEUR
<ul style="list-style-type: none"> - Optimisation des matériaux connus - Développement de nouveaux alliages. - Forme de matériaux (granulométrie, fil chargé, etc). 	<ul style="list-style-type: none"> - Géométries complexes. - Intégration de fonctions. - Matériaux spécifiques : customisation des matériaux (poudres, fils) en fonction des procédés (laser, faisceaux d'électrons...) pour optimiser les caractéristiques des produits. - Contraction des cycles de la mise au point avant de passer à la production en série. 	<ul style="list-style-type: none"> - Production en quantité et simultanée de pièces personnalisées (par exemple, prothèses dentaires ou auditives). - Raccourcissement des délais de mise sur le marché. - Possibilité de produire dans des pays à coût de main d'œuvre élevé. - Possibilité de concevoir des pièces uniques plutôt que des pièces assemblées (assemblage de fonctions sur la même pièce). - Possibilité de n'utiliser que les matières nécessaires pour la production. - Possibilité de s'affranchir d'outillages spécifiques, ce qui permet une grande souplesse dans les développements et les modifications. 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité d'avoir une production à la demande : réduction des stocks. - Capacité d'avoir une production locale : réduction de la logistique. - Réduction de la consommation d'énergie. - Pièces détachées : <ul style="list-style-type: none"> ▪ capacité à les réparer ; ▪ capacité à assurer leur production neuve sur de très longues durées ; ▪ capacité à ajouter des fonctions ou des améliorations.



La fabrication additive ouvre des champs de développement très larges :

- Variété des gammes et des produits ;
- Cycle plus court de développement avec le potentiel d'une productivité et d'une fiabilité accrue, un temps de vie des produits (évolution, personnalisation, customisation, réparation, ajouts de fonctions) accru, et cela à partir des mêmes outillages de production (imprimantes 3D industrielles).



Les défis à relever :

- optimisation des matériaux connus
- développement de nouveaux alliages
- présentation ou formes des matériaux (granulométrie, fils chargés...)
- étude particulière pour chacun des matériaux
- travaux de R&D dans les parachèvements et post-traitements.

Un exemple d'application très innovant dans le domaine de l'électronique : CERADROP

Cette société conçoit et commercialise des imprimantes jet d'encre exclusivement dans le domaine de l'électronique imprimée et de l'impression 3D intelligente. Rachetée par le groupe français MGI, elle peut faire appel à plus de 60 ingénieurs pour de la R&D avancée ou de la production haute performance. Installée à Limoges, elle utilise la fabrication additive pour concevoir – en phase de développement – des circuits électroniques spécifiques. Cette société maîtriserait aussi l'ajout de fonctions sur des circuits existants, toujours par des technologies de gravures très fines. Ses savoir-faire peuvent intéresser tous les industriels qui font du développement spécifique en électronique.

II – LES MODÈLES ÉCONOMIQUES DE L'IMPRESSION 3D

S'il est généralement admis que les technologies additives vont avoir un impact certain sur le paysage de l'industrie et de la production en général, les opinions peuvent différer grandement quant à l'ampleur de cet impact. Les uns considèrent que c'est avant tout la phase du prototypage qui sera touchée, les autres que la transfiguration sera telle que l'heure est bientôt venue de la relocalisation à grande échelle des activités industrielles. Il peut être également estimé que l'impression 3D relève avant tout de la haute technologie et des spécialistes qui sont capables d'en faire usage ; ou que c'est au contraire une technologie qui redonne le pouvoir, non seulement au designer, mais surtout au grand public, selon une forme de démocratisation totale de la technologie.

Tout cela est vrai, non contradictoire, la question est de savoir dans quelles proportions ces mutations vont intervenir et quelle approche est la meilleure pour en comprendre la portée.

Le raisonnement qui suit est de type microéconomique sans pour autant faire appel à une formalisation mathématique. Il s'agit de déterminer les différents paramètres et la manière dont ils interagissent entre eux, dans le contexte de ce qui constitue une nouvelle fonction de production de référence : on peut parvenir au même résultat qu'avec des technologies soustractives et une organisation industrielle traditionnelle, en utilisant les mêmes matières premières et intrants en général. On peut aussi concevoir de nouveaux biens et produits en utilisant des matières traditionnelles ou des matériaux encore à inventer, tout cela avec un mode alternatif de production.

L'impression 3D représente on l'a vu une innovation technologique de type incrémental, cela depuis trois décennies. Elle ne devient plus précisément innovation que si elle donne lieu à un nouveau modèle économique. Elle est par ailleurs naturellement liée à la révolution numérique et retient d'autant plus l'attention que la chaîne de valeur totalement remise en question.

Elle se greffe également sur une évolution continue de l'industrie et des services depuis quelques décennies en faveur de l'individualisation du produit apporté au client, ce qu'il est convenu d'appeler la *customisation*.

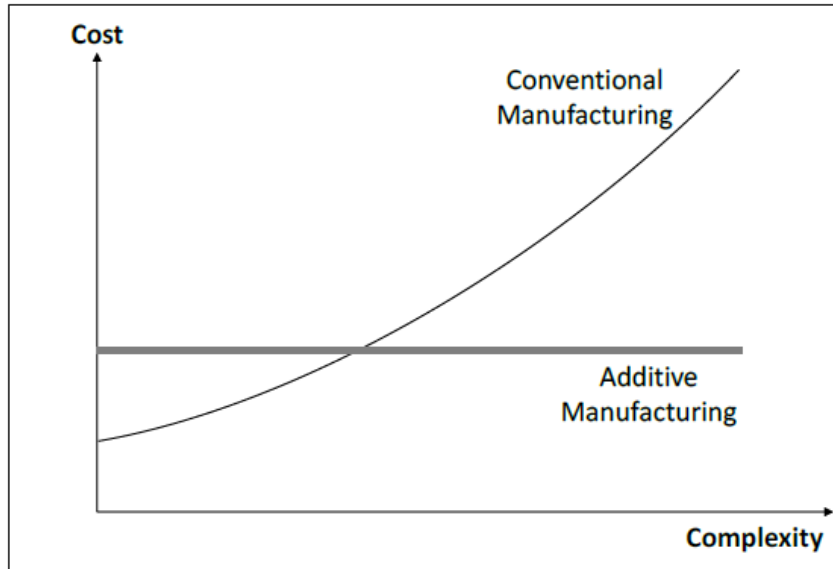
Elle intervient dans un contexte où l'entrepreneuriat et le *coworking* sont omniprésents, où la créativité trouve de nouveaux terrains d'expression, où le rapport sensoriel à l'objet gagne en importance. Enfin, elle n'est pas sans relation avec l'écologie, ne serait-ce que par les économies de matière et de transport qu'elle induit. La compréhension de la complexité de ce système en mutation profonde oblige à procéder par étapes.

A. LES LOGIQUES DU COÛT UNITAIRE

► ABSENCE D'ÉCONOMIES D'ÉCHELLE

Le principe même de la fabrication additive réduit considérablement, voire élimine les économies d'échelle. Ceci est illustré par le graphique ci-après, par contraste avec les technologies traditionnelles, où le coût unitaire diminue avec la quantité produite. La théorie microéconomique fait certes référence à un coût marginal croissant à partir d'un certain stade mais la réalité industrielle est que les méthodes de fabrication traditionnelles telles que le formage ou le moulage par injection sont adaptées à des productions en grandes séries. L'impression 3D convient mieux et est plus économique pour la production de petites séries.

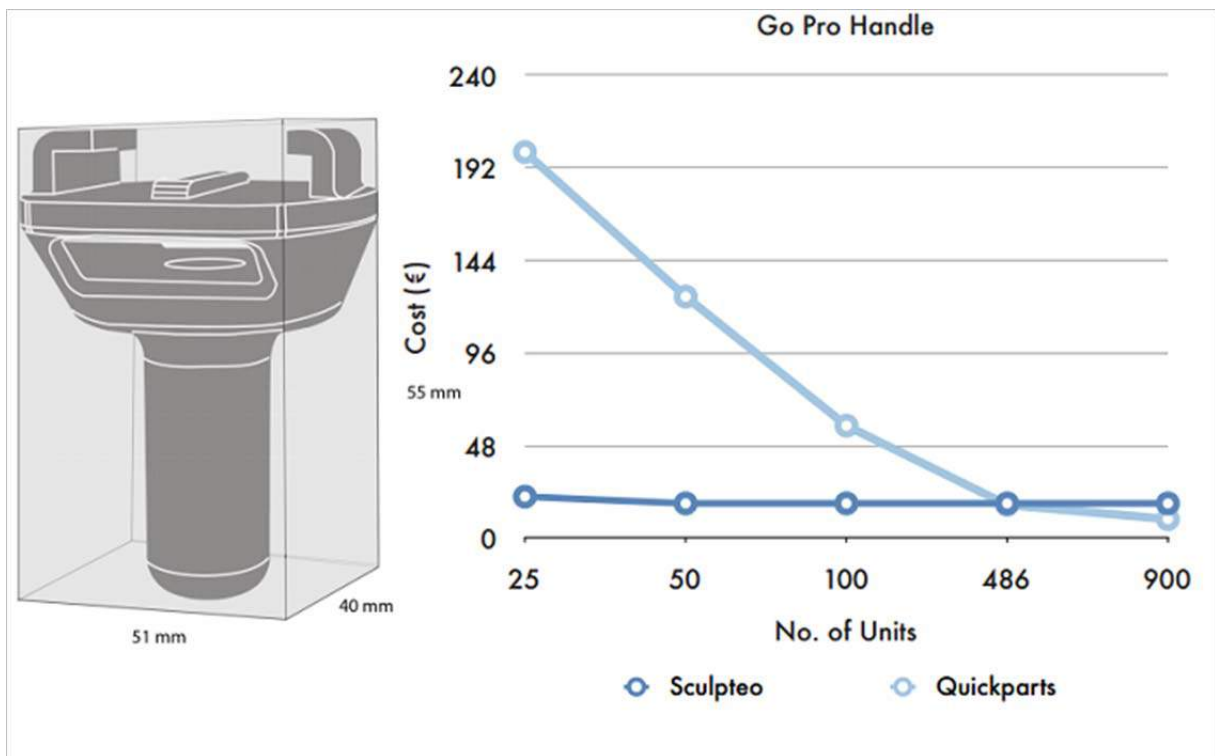
**CORRÉLATION ENTRE LA PRODUCTION DES COÛTS ET LA COMPLEXITÉ DES PIÈCES
PRODUCTION CLASSIQUE ET FABRICATION ADDITIVE**



Source : Eisenhut & Langefeld, 2013

Pour une application plus précise, le graphique ci-après illustre le coût unitaire estimé d'une poignée de GoPro en fonction de la quantité produite pour le moulage par injection (Quickparts) en comparaison avec le frittage sélectif par laser (Sculpteo). Dans ce cas, l'impression 3D est l'option la plus économique pour les 486 premières unités.

PIÈCE SERVANT DE POIGNÉE À LA GO PRO



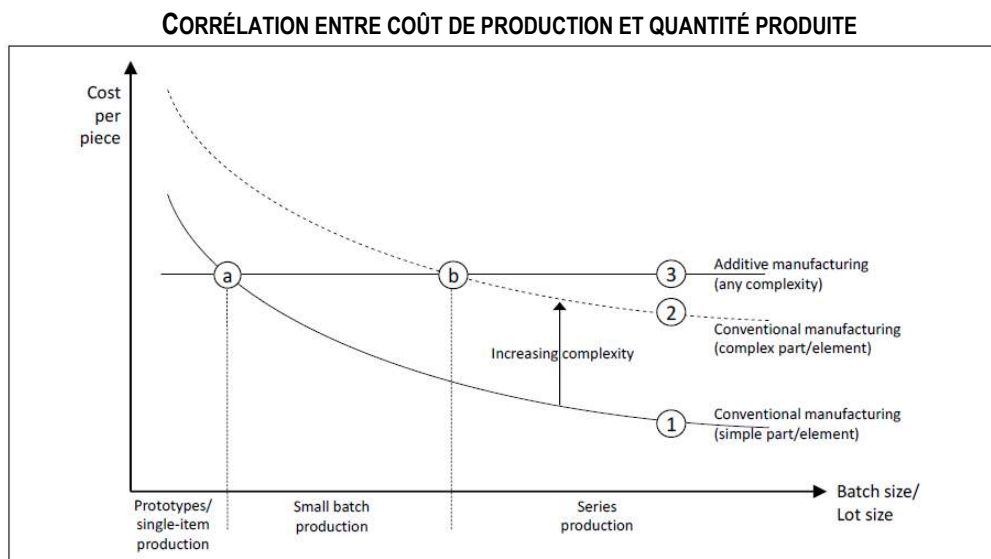
<http://www.sculpteo.com/fr/impression-3d-et-procedes-de-fabrication-traditionnels-comparaison/>

Source : SCULPTEO

► COÛT UNITAIRE ET COMPLEXITÉ

En fabrication additive, la complexité n'est coûteuse qu'au stade de la conception. En revanche, une fois le design de la pièce effectué et la programmation de sa conception en machine, c'est la quantité de matière qui fait le coût de la pièce, et non sa complexité. Parfois, une seule pièce peut remplacer un assemblage de pièces, de nombreuses opérations de soudure, perçage, forage, sertissage, des montages extrêmement longs et complexes qui ne permettent pas toujours d'optimiser tous les paramètres ou fonctionnalités.

Prenons le cas le plus général : pour un nombre de pièces données, le coût est une fonction croissante de la complexité de ces pièces en fabrication traditionnelle alors que le coût est relativement indifférent à la complexité géométrique de la pièce en fabrication additive, comme l'illustre le graphique ci-dessous. Ainsi, la complexité permet et favorise la fabrication additive par rapport aux méthodes conventionnelles.



Source : 3D Printing – A qualitative Assessment of Applications, Recent Trends and the Technology's Future Potential – Nr 17-2015 - Center for Digital Technology and Management (CDTM), München

Pour des pièces dont on recherche des exigences fonctionnelles accrues, ou des optimisations sur des axes de performance indépendants et fort différents, prenons l'exemple d'une pièce d'injection de moteur d'Ariane. Cette pièce pourrait être optimisée suivant trois variables très distinctes et indépendantes :

- Résistance structurelle,
- Optimisation hydraulique,
- Optimisation thermique (résistance aux très basses températures – avant le décollage - comme des températures très élevées après le décollage).

Du fait de cette complexité, la recherche d'une solution optimisée pourrait donner un avantage compétitif très fort au niveau des coûts à la fabrication additive. Ce type de pièce complexe peut demander pour la réalisation d'un prototype de 10 à 18 mois en fabrication traditionnelle, alors que quelques semaines seraient nécessaires en fabrication additive. Si après les tests, il convient de modifier la conception de la pièce et de refaire un nouveau prototype, ce sont des délais du même ordre de grandeur qui s'appliqueront. Ainsi peut-on passer pour deux ou trois essais successifs de prototypes de pièces très complexes de 3 à 4 années dans des technologies classiques à des délais de l'ordre de 3 à 6 mois en utilisant les outils de la fabrication additive, et pour un coût de réalisation qui n'augmente pas avec la complexité de la pièce.

La complexité n'est pas une fin industrielle en soi. Cependant, les gains de compétitivité passeront par la mise au point de solutions extrêmement innovantes via la fabrication additive. Dans l'exemple mentionné ci-dessus, on relève que pour des pièces dont la complexité a augmenté (assemblage de nombreuses pièces remplacées par une seule, par exemple), non seulement le prototype est moins onéreux en fabrication additive, mais des petites voire des moyennes séries le seraient aussi.

L'optimisation plurifonctionnelle de pièces est un champ d'exploration quasiment vierge. Lorsque les technologies de fabrication additive rendront la mise au point de moules pour des géométries complexes atteignables - ce qui est déjà techniquement possible même si les usages ne portent que sur des cas limités ou gardés confidentiels pour assurer justement un avantage concurrentiel -, ce sont les grandes, voire les très grandes séries de pièces qui seront également concernées. Des pièces extrêmement techniques sont déjà ainsi produites par un nombre d'unités de centaines de milliers, voire de millions, par exemple dans l'industrie automobile (voir annexe 11).

B. LE MODÈLE ÉCONOMIQUE SIMPLIFIÉ

► DÉFINITION

Plaçons-nous dans le cadre de la production d'un bien pouvant être obtenu de deux manières : à partir de méthodes classiques de technologies soustractives ; à partir de méthodes de technologies additives. Considérons que les intrants sont achetés selon des modalités « classiques ». Quel que soit le secteur d'activité, la chaîne de valeur comprend dès lors les étapes suivantes : design ; fichier numérique du produit (ici placé en second pour illustrer le déroulement mais pouvant intervenir dès le stade du design et tout au long de la chaîne) ; prototypage ; production ; customisation ; distribution ; réparation. Les problématiques liées à la logistique ne sont pas abordées à ce stade. Ne le sont pas non plus l'impact de l'internet et la dimension grand public de l'impression 3D. Cela ne signifie pas que ces aspects sont ignorés, ils seront traités dans le cadre du modèle général.

Il est, dans ces conditions, essentiel de déterminer quelle est la méthode la plus compétitive, en considérant tant la compétitivité prix que la compétitivité hors prix.

► DESIGN ET PROTOTYPE

Il est aisé de voir que la méthode additive présente plusieurs avantages favorisant sa généralisation au stade initial de la chaîne de valeur. En effet, elle repose par définition sur la réalisation d'une pièce unique et permet des gains de temps en se prêtant facilement à l'expérimentation. C'est le principe même du prototypage rapide. Elle donne ainsi davantage de potentiel et de liberté au design : la combinaison d'un design plus libre et d'un gain de temps représente un avantage indéniable de compétitivité hors prix. En matière de prototype, l'enjeu de la compétitivité prix n'est pas crucial. En électroménager par exemple, il n'est pas choquant que le coût de revient d'une cafetière en prototype soit de 200 euros si le coût unitaire d'une cafetière produite en série est dix à vingt fois inférieur, dès lors que le coût de prototypage reste extrêmement faible par rapport au chiffre d'affaires réalisé et aux coûts de production en général. Le point le plus important est la qualité du prototype réalisé à partir de méthodes de technologies additives, qui dans bien des secteurs (automobile, électroménager, etc.) reste assez élémentaire, le prototype étant souvent élaboré à partir d'une résine ABS basique. A cela peuvent s'ajouter des problèmes de dimensionnement, un écart d'un millimètre est préjudiciable d'un point de vue technique mais aussi du design car il peut par exemple déplacer un rai de lumière essentiel à la perception de l'objet. Toutefois, les choses évoluent rapidement, avec une meilleure qualité de l'impression 3D et des matières de plus en plus sophistiquées. Un autre double grand avantage de la méthode additive est une amélioration paradoxale de qualité et une meilleure sensorialité de l'objet. L'amélioration qualitative ne concerne pas l'avantage comparatif par rapport à la méthode soustractive mais par rapport à une troisième méthodologie en design : la tendance au tout numérique en vertu de laquelle le 3D est appréhendé avec une très grande précision mais sur un écran 2D. Cette méthode s'est développée dans de nombreux secteurs grâce aux progrès massifs réalisés en création assistée par ordinateur ; elle a fait gagner de l'argent et du temps au design traditionnel en relativisant l'importance du prototypage physique. Mais elle présente deux défauts : celui de laisser passer des erreurs liées à des incompatibilités techniques qui n'ont pas été perçues à l'écran (on peut certes imaginer que les logiciels de CAO ne sont pas encore suffisamment sophistiqués pour les éviter mais en tout cas cela reste un problème) ; celui d'amputer la perception sensorielle du designer, privé du toucher et le cas échéant de l'ouïe (sonorité de la matière) ou d'autres référents sensoriels. C'est le déficit de toucher qui est le plus handicapant et rentre en contradiction avec la culture design en général comme avec l'importance croissante du sensoriel dans le monde contemporain. Le grand avantage de l'impression 3D à cet égard est d'englober simultanément une culture numérique et une culture matérielle.

Au surplus, la fonction de production de la 3D évolue extrêmement vite grâce aux progrès du numérique. Les informations dont il faut disposer pour réaliser un prototype sont moindres que dans le cas des méthodes classiques et cet écart ne peut que s'accroître : scanner un objet en 3D pour le reproduire sur la base du nuage de points obtenu est à portée de main (dans la limite de la nécessité de scanner l'intérieur d'un produit mais de telles technologies sont en cours de développement rapide). Scanner une image 2D comme base de travail pour la réalisation d'une maquette d'objet en 3D l'est également. Les potentialités de l'impression 3D sont ainsi décuplées.

Ces différents facteurs impliquent que l'impression 3D est en passe d'acquiescer une place dominante dans tout ce qui est prototypage, maquettage, etc. *A contrario*, cela a pour conséquence qu'un grand nombre d'activités et métiers relevant des méthodes classiques sont appelés à muter, quand elles ne sont pas vouées à la disparition. C'est exactement ce qui s'est passé avec l'arrivée de l'impression numérique ou de la photo numérique, mais à une plus grande échelle, puisque tous les objets en trois dimensions sont concernés.

► PRODUCTION INDUSTRIELLE ET CUSTOMISATION

La question de fond concernant le passage à la production industrielle est, on l'a vu, celle des économies d'échelle. Cela reste l'avantage comparatif majeur de la production industrielle « classique ». Cette problématique est loin d'être nouvelle. Ainsi, un livre fit grand bruit dans les années 70, écrit par Ernst Schumacher et vantant les mérites d'une production à petite échelle¹²⁵. Mais le modèle préconisé se heurta immédiatement au mur des déséconomies d'échelle. On retrouva les mêmes accents une dizaine d'années plus tard quand la méthode dite des groupes autonomes prit racine, avec l'idée qu'elle responsabilisait davantage les salariés tout en enrichissant leurs tâches et permettait de mieux répondre au défi de la flexibilité. Elle se concrétisa à une certaine échelle, mais c'est une autre direction que prit ensuite le modèle industriel en général, nous y reviendrons.

En revanche, l'industrie prit deux orientations importantes dès les années 80 pour mieux satisfaire les consommateurs et les clients : la première est celle de la réduction de la taille des séries (ainsi dans le textile ou elles ont été souvent divisées par dix) ; la différenciation retardée (il s'agit de concevoir et vendre des produits les plus différenciés possibles pour satisfaire tous les créneaux de marché tout en bénéficiant d'économies d'échelle). Un exemple emblématique est celui de Benetton, qui rencontra un grand succès en recourant à la méthode dite du « prêt-à-teindre » ou teinture en plongé, ce qui signifie que l'entreprise disposait de stocks en écarlate teints au dernier moment en fonction des tendances. L'industrie automobile est une grande adepte de la différenciation retardée, il n'est que de penser à la diversité des marques et modèles ayant recours à un même châssis. L'aspiration à la différenciation retardée n'a fait que s'accroître depuis quelques décennies, même si des obstacles techniques empêchent sa systématisation (ainsi les paramètres de sécurité interdisent-ils la customisation des pare-chocs pour un modèle donné). Cela dit, l'évolution de la consommation et les exigences des clients en général ont rendu la customisation incontournable, en matière de produits et de services. L'un des cas les plus visibles aujourd'hui est la possibilité d'acheter des chaussures de sport customisées pour chacun des composants de la chaussure.



¹²⁵ Ernst Friedrich Schumacher, *Small is beautiful, une société à la mesure de l'homme*, Contretemps, 1978.

Qu'en est-il de l'impression 3D dans ce contexte ? Dans quelle mesure les grandes séries excluent-elles que l'on y recoure ? On ne peut pas tirer de conclusions trop générales et dire : cela ne s'applique pas et ne s'appliquera pas ; ou considérer à l'inverse que les perspectives sont là aussi infinies. Cela dépend des secteurs, des technologies, de la taille des séries.

Le cas général est, on l'a vu, celui d'une fonction de coût unitaire constante avec l'impression 3D et décroissante dans un schéma industriel classique. Ceci implique que tout secteur concerné par les pièces uniques ou les petites séries se prête à l'impression 3D si le coût unitaire est inférieur à ce qu'il est dans le cas d'une technologie classique. On retrouve la logique inhérente au prototypage. C'est pourquoi l'art et l'artisanat sont ici des champs privilégiés. C'est également le cas de secteurs, indépendamment des paramètres techniques, tels que la bijouterie/joaillerie, le médical externe (prothèses, etc.) ou interne (tissus, etc.) ou encore l'alimentaire (les économies d'échelle dans la production de pizzas ne sont pas évidentes...).

Quand on passe aux moyennes et grandes séries, on rentre dans d'autres scénarios. Mais que veut dire « grande série » ? Ce critère n'a pas la même signification d'un secteur à l'autre et l'impact de l'échelle de mesure se combine avec le degré de complexité de réalisation. Dans l'aéronautique, une série de mille objets/pièces n'est pas négligeable ; dix mille pièces représentent une grande série. En électroménager, une grande série se compte en centaines de milliers, voire dix fois plus. Les fonctions de production sont très différentes et s'appliquent à des ordres de grandeur différents. Étant donné que les technologies et savoir-faire évoluent rapidement, les « grandes » séries ne sont désormais plus à exclure en impression 3D dans l'aéronautique et le spatial, alors qu'une rupture technologique est nécessaire dans l'électroménager ou dans l'automobile, notamment par l'impression de moules et matrices comme mentionné plus haut. L'annonce de la joint-venture entre Michelin et Fives (voir annexe 11) révèle que le constructeur utilise déjà la fabrication additive métal pour réaliser des moules et produire avec un avantage technologique des millions de pneumatiques.

Toutefois des séries moyennes peuvent être réalisées dans les cas où ce qui est produit en 3D est le moule de pressage. En effet si la création de ce moule en imprimante 3D permet d'en réduire le coût, le coût unitaire de la pièce produite diminuera.

La diminution de la taille des séries renforce le pouvoir potentiel de l'impression 3D, ainsi que la différenciation retardée et la customisation en général. La situation générale peut être celle d'une base commune produite selon la méthode soustractive avec une différenciation en aval conduisant à des petites séries produites selon la méthode additive, ou de toute autre combinaison mixte possible. L'avantage de l'impression 3D est d'accroître largement le potentiel de customisation. Comme le souligne de surcroît Thierry Rayna, Professeur à Novancia et Imperial College (Londres), il existe un « chasm » (au sens du Moore) dans l'adoption de l'impression 3D, dans la mesure où elle n'arrivera pas seule à s'imposer. Elle le fera en effet d'autant plus qu'elle bénéficiera d'intégration d'autres technologies dans un même processus industriel et design : Big data, objets connectés, biomimétisme, intelligence artificielle.

► APPROCHE COMPARATIVE DU TEMPS

Le principe de l'impression 3D est de pouvoir retarder la phase de production en la déclenchant lorsque la commande est identifiée et passée. Il est clair que cette qualité n'est pas incorporée de la même manière selon les secteurs. Lorsque cela concerne strictement la phase de prototypage, l'enjeu n'est pas de retarder la réalisation de l'objet mais au contraire d'accélérer les rythmes des expérimentations. Le ralentissement ne vaut clairement que si l'impression concerne un objet qui peut être imprimé d'un bloc sur la base d'un fichier numérique sans engager d'autres délais logistiques. On assiste ainsi à un nouveau type d'articulation entre les achats, la production et la distribution, puisque la localisation de la production des intrants et des biens eux-mêmes peut intervenir dans le ou les lieu(x) où se trouvent les imprimantes dédiées. Cela bouleverse profondément les modèles économiques.

S'agissant de la production en série elle-même, c'est encore généralement la technologie soustractive qui a l'avantage pour des biens homogènes. Or, le délai est un aspect majeur de la compétitivité hors coûts, d'autant plus important que le temps s'accélère et fait écho à la quête omniprésente d'instantanéité. C'est la raison par exemple pour laquelle les fournisseurs de l'industrie automobile s'installent à proximité immédiate des usines qui produisent les voitures. Comment rivaliser avec un mode opératoire permettant par exemple la production d'un composant complexe réalisé en quarante-cinq secondes et livré tout de go ?

Pour autant, les choses évoluent de deux manières. D'une part et comme on l'a vu, la customisation modifie la donne, car elle diminue la taille des séries le cas échéant de manière drastique pour une partie de la chaîne. D'autre part, la vitesse de réalisation des objets en 3D s'accélère avec les progrès réalisés en matière d'imprimantes, point qui a été illustré précédemment. C'est pourquoi il faut se garder ici d'une conclusion manichéenne, les technologies soustractives étant particulièrement évolutives. Dès aujourd'hui, la réponse optimale dépend de la nature des objets, des matériaux, des machines utilisées et des délais requis.

► RÉPARATION ET REMANUFACTURING

L'exemple systématiquement cité dans ce registre est celui de la poignée de frigidaire. Il va de soi que ce type d'exemple n'est que la façade visible de l'iceberg, car cela vaut pour tout type de secteur et tout type de pièce. L'impact sera majeur puisqu'il suffit de disposer du fichier, en supposant que l'on maîtrise les aspects techniques et de savoir-faire (ou que l'on puisse y accéder facilement dans un « garage »/ atelier/ Fab Lab près de chez soi ou de son lieu habituel de production). Là aussi, les modèles économiques changent de nature. Le consommateur / bricoleur peut étendre son champ de compétences ; le client industriel peut régler plus facilement ses problèmes de panne, de défaillance et d'obsolescence ; le producteur/fournisseur doit transformer le *modus operandi* du service après-vente en mettant à disposition ou non les fichiers correspondant aux composants du bien et ne peut plus compter sur une éventuelle tarification de la réparation lui permettant de compenser de faibles marges au stade de la vente du produit pris globalement. Par ailleurs, le libre accès éventuel aux fichiers des biens et des intrants dont ils sont composés transforme le paysage de la réparation, ce qui est bien sûr lié au statut de la propriété intellectuelle, eu égard aux documents correspondants.

Il serait toutefois illusoire, s'agissant des consommateurs en tout cas, d'imaginer que l'autoréparation sera toujours facile. Cela dépend là aussi des cas et de ce qui est anticipé et voulu par le producteur. Pour que cela soit le cas, il faut que ce principe soit acté au stade du design, faute de quoi le « bricoleur » sera confronté à des difficultés techniques difficilement surmontables et devra s'appuyer sur des réparateurs professionnels. Toutefois même ce cas n'est pas négligeable car de nombreux consommateurs préféreront remplacer des pièces d'un équipement ancien que d'en acheter un nouveau, alternative qu'ils n'ont pas aujourd'hui, où le professionnel de la réparation préfère fonctionner sur un modèle du « jetable ».

Au-delà de la réparation, le *remanufacturing* fait écho au *do it yourself*. Il est désormais possible de penser un produit en fonction de composants qui sont tous reproductibles en 3D, l'ensemble, comprenant les fichiers numériques et les caractéristiques techniques, étant mis à la disposition du consommateur et du client en général. Ceci correspond, là encore, à un bouleversement dans l'élaboration du produit, mettant en quelque sorte un terme au principe de l'obsolescence programmée tout au moins pour ce qui concerne le produit dans sa globalité.

C. LE MODÈLE GÉNÉRAL

► DÉFINITION

Ce qui va être développé ici n'annule ni ne nuance ce qui a été écrit précédemment mais le complète en s'appuyant sur une représentation plus globale de la chaîne de valeur. Le principe général est que la vague contemporaine de la mondialisation s'est déroulée en deux temps : tout d'abord, celui de la mise en œuvre de la révolution de la supply chain et le découplage (*unbundling*) de la chaîne de valeur induit par la baisse des coûts de transport et la mise en place des « nouvelles » technologies de l'information et de la communication dans les années 90. Ceci a conduit à ce que la concurrence s'est située d'abord dans l'entreprise, et non plus simplement entre les entreprises et entre les pays, car chaque entreprise s'est trouvée en mesure de localiser ses lieux d'achat et de production, partout dans le monde, beaucoup mieux qu'auparavant. Le second temps est celui de la vague de l'internet que nous connaissons aujourd'hui, liée à l'avènement du Big Data, à la disponibilité infinie des applications et à la grande facilitation du codage, accessible à presque tous.

► DES CYCLES DE PRODUCTION/DISTRIBUTION ENTIÈREMENT RENOUVÉLÉS

Nous avons jusqu'à maintenant traité le cas d'une chaîne de valeur simple : un bien et des intrants dont il était implicitement postulé qu'ils étaient en nombre limité. La situation des groupes industriels et au-delà de la plupart des entreprises n'est pas celle-là, mais prend la forme de fonctions de production composites et complexes, comprenant un grand nombre de produits customisés élaborés à partir d'un grand nombre d'intrants, avec une programmation logistique très élaborée. Ceci revient à dire, étant donné la diversité des cas qui en résulte, qu'un examen sophistiqué des processus de production va être nécessaire, cela au moment même où l'ensemble des entreprises doivent s'approprier la révolution numérique. Il faut raisonner ici au cas par cas, en fonction des caractéristiques sectorielles et des cultures d'entreprise, s'agissant des intrants, des processus de conception et de production, des modes de distribution et de maintenance, en veillant à la cohérence globale.

Ce contexte représente une opportunité pour la reconfiguration de la chaîne de production dans son ensemble, à l'échelle des entreprises et des écosystèmes dans lesquels elles s'inscrivent, car le 3D fait partie d'un tout. Il constitue ainsi l'une des trois composantes de la recomposition de l'industrie pour Paul Brody, d'IBM, avec la robotique intelligente et l'électronique open source. À l'échelle des ERP (Enterprise Resource Planning : logiciel des ressources de l'entreprise) eux-mêmes, un nouveau paramétrage général s'avère nécessaire. L'impression 3D est ainsi au cœur des enjeux et stratégies d'entreprises expertes en systèmes d'information. Citons Sarah Harvey, de SAP, qui après avoir expliqué que l'impression 3D va permettre l'avènement de l'homme bionique, ajoute qu'elle « transformera la *supply chain*, peut-être en fin de compte en éliminant les usines telles que nous les connaissons. La plateforme SAP HANA va assembler les données et les imprimeurs 3D produiront des produits à l'étape finale, pour l'utilisateur final ». Un point très important est la prise en compte dans les coûts de revient des coûts de transport et de stockage pour les deux types de méthode, déterminants dans le choix de la localisation des activités. Un enjeu additionnel est qu'au même titre que pour la révolution numérique, une entreprise ne peut refondre son modèle économique isolément. Ses fournisseurs et ses clients doivent en faire autant. C'est pourquoi il s'agit de faire évoluer en profondeur l'écosystème industriel.

► ÉMERGENCE DE NOUVEAUX MODÈLES INDUSTRIELS

Face à cette complexité transformationnelle, on peut s'attacher à concevoir de nouvelles chaînes de valeur ex nihilo. Ainsi des alternatives au modèle désormais « traditionnel » de l'i-phone (valeur ajoutée réalisée par neuf entreprises dans cinq pays avec assemblage en Chine) et du Smartphone en général peuvent-elles voir le jour. Certes, ce n'est pas nécessairement l'impression 3D qui en est le moteur, en tout cas pas seulement... mais elle est assurément un facteur d'innovation.

Le cas du Phonebloks est à cet égard révélateur. Il s'agit d'un Smartphone modulaire conçu en 2013 par le designer néerlandais Dave Hakkens et dont l'objectif premier est l'écologisme, puisque son objet est de réduire les déchets électroniques. Depuis lors repris par Google (via Motorola) avec le projet Ara, cela aboutit à un Smartphone mis effectivement sur le marché et que chacun pourra composer à sa manière. Il va de soi que dans un tel modèle, l'impression 3D est un mode de production bien adapté pour la coque et d'autres éléments tels que l'antenne, car le caractère modulaire de l'objet évacue l'enjeu des évaluations alternatives dans le contexte d'un système de production et de *supply chain* existant. Les solutions en fabrication additive sont loin d'être immédiates, comme en témoigne la suspension récente de la coopération entre Google et 3D Systems sur ce cas précis, mais là comme ailleurs les choses rebondissent et évoluent très vite.

On en trouve une autre illustration avec la première voiture de type roadster/buggy imprimée, conçue par Local Motors, présentée au salon de Chicago en septembre 2014. Cette innovation ne signifie certes pas que le temps de l'auto-fabrication des véhicules est advenu. Mais le processus de fabrication et son contexte méritent amplement d'être commentés. Le nombre de composants a été drastiquement diminué puisqu'il est réduit à une cinquantaine, là où il est usuellement de l'ordre de 20 000. La matière est un plastique renforcé de carbone. Le véhicule a été imprimé en 44 heures. Ce n'est pas le cas du moteur puisqu'il s'agit d'un moteur de Twizy. Cette voiture a été conçue par Local Motors, entreprise créée en 2007 à Phoenix en Arizona, dont l'objet plus généralement est de produire dans des *microfactories* des véhicules *open source* c'est-à-dire en *open design*, utilisant du *hardware open source* et des principes *open source*.

Un point essentiel est que si l'entreprise ne comprend qu'un peu plus de cent salariés, elle a constitué une communauté de 50 000 contributeurs à travers le monde. D'ores et déjà, Local Motors Rally Fyghter et le Verrado Drift Trike roulent aux USA.

Un vaste éventail de pièces détachées comme d'objets de toutes matières est par ailleurs disponible à la vente. On comprend bien que ce qui prime ici est la quête d'un nouveau rapport à la production et au design et d'un modèle économique communautaire. La fabrication additive en est l'un des facteurs clés. Il n'est pas le seul. Son poids a été renforcé en février 2014 avec l'entrée de Bre Pettis, le CEO de MakerBot, au sein du conseil d'administration de Local Motors. On aurait tort de considérer cette initiative globale d'un œil amusé, voir condescendant. Elle est annonciatrice de tendances lourdes et de modèles disruptifs, comme l'est dans l'industrie automobile dans un registre différent l'irruption de Tesla dont les véhicules roulent d'ores et déjà en Europe.

De telles avancées vont se multiplier, avec de nouvelles formes de concurrence expérimentale au sein des entreprises, ou provenant de pure players ou d'acteurs d'autres secteurs, achevant de briser l'idée déjà bien caduque de filière industrielle car incluant un très grand nombre d'interdépendances horizontales et non plus surtout verticales.

Sous un autre aspect, l'impression 3D invite à changer la mentalité des concepteurs en les amenant à utiliser moins de matériaux et moins d'énergie¹²⁶. Le développement de la production en 3D en réduisant les coûts de transport (par des circuits courts en termes d'approvisionnement) et en éliminant, le cas échéant, le gaspillage sur les phases de production (surproduction) et de packaging participe de l'instauration de la *green supply chain*, c'est-à-dire une chaîne d'approvisionnement plus respectueuse de l'environnement en réduisant l'empreinte carbone.

► LE MAKER AU CENTRE DU NOUVEAU PROCESSUS DE PRODUCTION ?

La caractéristique fondamentale de l'impression 3D est d'être en phase, d'une part avec les nouvelles tendances de *coworking* dans des Fab Labs dédiés, d'autre part avec le développement potentiel des compétences du grand public. Tout un chacun peut en effet fabriquer un objet simple ou assister à la fabrication d'un objet à proximité immédiate, notamment dans les *Maker Fair* et autres *Maker faire*, dans un grand magasin, ou à la poste. Bien sûr, les produits réalisés par une personne sans compétence technique et design particulière le sont généralement dans des thermoplastiques de base à partir d'une imprimante déposant du fil fondu, avec des formes qui peuvent toutefois être plus complexes selon l'information numérique relative au produit. Mais il demeure qu'une tendance lourde d'appropriation collective de l'impression 3D est en cours. Les publics les plus concernés sont, dans le désordre : les scientifiques, les ingénieurs, les designers, les bricoleurs, les créatifs, les « branchés », les adeptes de la modernité technologique ou du développement durable, les nostalgiques du concours Lépine, postmodernes ou non. Il va de soi que ces ensembles ne sont a priori pas directement comparables, mais il est clair que leur union représente une population considérable, sachant que l'intérêt pour l'impression 3D est par ailleurs inversement corrélé en moyenne à l'âge (ne serait-ce qu'au vu de l'âge moyen constaté dans les *Maker Faire*).

Jusqu'où va aller cette appropriation ? On assiste certes à l'avènement du consommateur/producteur, mais il ne faut pas exagérer cette tendance, car elle ne rendra pas le consommateur étranger aux marques, à l'identification à l'imaginaire et à l'émotion qu'elles véhiculent, ce qui prend au contraire plus d'ampleur aujourd'hui avec en parallèle une demande accrue pour de la customisation. De tout cela, on peut déduire que la créativité individuelle et collective sera encouragée et exercée davantage, au même titre qu'avec le numérique en général ; que le néobricolage va s'amplifier ; que la mise à disposition des fichiers sera déterminante ; que les consommateurs pourront être parties prenantes dans la customisation en singularisant les objets qu'ils imprimeront ; que les fermes d'imprimantes et les Fab Labs vont continuer de se développer et que ceci est en cohérence avec l'idée de production à proximité du client final ; que les Fab Labs, en accroissant les compétences et l'appétence des particuliers, conduiront à ce que les entreprises en bénéficieront si elles parviennent à faire en sorte que les compétences individuelles se fondent harmonieusement dans leur capital humain. ; et enfin que l'impression 3D sera le vecteur clef qui permettra de généraliser l'innovation-utilisateur, ce qui va renforcer le paradigme de l'innovation ouverte.

¹²⁶ Conférence sur l'impression 3D, Bpifrance, 7 octobre 2014.

► L'IMPRESSION 3D ET L'INTERNET

L'Internet va naturellement amplifier l'impact de l'impression 3D en donnant un grand nombre de références, d'idées et d'opportunités aux internautes. Ce phénomène n'est pas nouveau en tant que tel : il était ainsi coutumier il y a encore un demi-siècle de fabriquer ses vêtements sur la base de patrons figurant dans les journaux féminins ; ou de pouvoir élaborer des maquettes en lisant scrupuleusement les instructions disponibles sous format papier. L'Internet a d'ores et déjà transfiguré la pédagogie des objets et du bricolage. Mais il sera possible d'aller beaucoup plus loin en disposant des informations portant sur les matières et les imprimantes, ainsi bien sûr que des fichiers.

Ce qui vaut pour les clients-consommateurs vaut pour les clients professionnels qu'ils soient PME, ETI ou grandes entreprises, à des niveaux variables de complexité. Ce qui est essentiel ici en résumé est que l'impression 3D facilite l'accès aux consommateurs quel que soit le niveau où l'on se trouve dans la chaîne de valeur, et réciproquement l'accès à l'information sur le produit et ses composants pour le consommateur.

► QUEL RÔLE STRATÉGIQUE POUR LES PRODUCTEURS D'IMPRIMANTES ?

Qui détient les imprimantes, les brevets, les technologies ? Ce point est souvent abordé en France, car les entreprises d'impression 3D qui y ont vu le jour, ont été pour l'essentiel rachetées par les entreprises américaines. Ceci a-t-il une quelconque importance ? Faut-il l'empêcher et comment ? Trois points doivent être ici soulignés. Tout d'abord, au même titre que pour l'informatique, le *soft* est au moins aussi stratégique que le *hard*. La mécanique n'est pas vraiment un enjeu car elle n'est qu'un support de la technologie additive. Cependant, et cela relativise le premier aspect, une imprimante, au-delà d'un ordinateur, traite des poudres et matériaux, et au même titre que pour tout type de machine-outil c'est en travaillant sur et avec les imprimantes que l'on progresse en R&D et savoir-faire. En conséquence, les progrès techniques réalisés s'agissant des objets imprimés dépendent pour partie de la coopération entre celui qui imprime, celui qui produit l'imprimante, celui qui a conçu le produit et celui qui a conçu le matériau. Toute la question est donc de savoir si le producteur d'imprimantes privilégie ou non tel ou tel client, en fonction le cas échéant de sa nationalité, selon qu'elle est la même que celle où l'on produit l'imprimante, ou la même que celle du propriétaire du producteur de l'imprimante. On voit bien ici que l'enjeu n'est pas tant celui du colbertisme que la détermination précise des conditions de préférence relative accordées par le producteur d'imprimantes. Il est enfin une certitude : le fait que la détention des entreprises a un impact direct sur l'application des règles ITAR¹²⁷ et donc de la possibilité dont dispose les États-Unis de stopper tout commerce international pour tout objet incluant un composant concerné par cette législation.

Sur un autre plan, l'impression 3D peut également servir à produire les imprimantes elles-mêmes. Il est certain que des imprimantes complexes ne pourront être aisément reproduites mais il arrivera un temps où cela sera pour tout ou partie possible. On peut ainsi imaginer que des entreprises pourront en récupérant les données numériques constitutives des imprimantes, le cas échéant en les scannant, se mettre en situation de les copier par impression, sur un mode Tupolev actualisé, ce qui aura évidemment des conséquences sur les modèles économiques des technologies additives dans un contexte de concurrence mondiale aiguë.

► QUEL RÔLE STRATÉGIQUE POUR LES LOGISTIENS ?

Les chances des logisticiens d'être parties prenantes dans les chaînes de valeur des entreprises sont elles aussi susceptibles de diminuer alors que l'efficacité de ces chaînes dépendait jusqu'alors, en grande partie, de la fluidité et rapidité logistique. La logistique aval pourrait être déstabilisée avec l'évolution des expériences de magasinage, certains détaillants cessant d'exister tandis que d'autres deviendraient des « shop windows »¹²⁸.

¹²⁷ ITAR : voir à ce propos, l'étude du CGARM « Sécurité des approvisionnements » effectuée par Daniel Reydellet, Joël Rosenberg et Catherine Fargeon en 2013.

¹²⁸ J. Manners-Bell et Ken Lyon, *op. cit.*

Dès lors, un certain nombre de logisticiens réfléchissent, face à cet ensemble de risques, aux opportunités nouvelles que l'impression 3D peut générer¹²⁹. « Les transporteurs, les spécialistes du stockage et de la messagerie (...) seront les mieux placés pour proposer des services au plus près de leurs clients car ils disposent d'espace et d'infrastructures dans les nœuds de communication »¹³⁰.

► COMBINATOIRE

L'impression 3D se révèle être un facteur en soi ainsi qu'un catalyseur de changement de l'organisation de l'industrie, de la culture de l'industrie, de la représentation de l'industrie. Elle génère un mouvement qui déferle en affectant différemment les secteurs et les entreprises.

Elle marque la mort définitive du taylorisme et du fordisme et l'émergence de nouveaux métiers au sein des entreprises existantes ou par des initiatives entrepreneuriales, mais il importe de ne pas l'isoler des autres courants de transformation profonde dans l'industrie qui convergent avec elle, formant ainsi une lame de fond qui va bouleverser très profondément les équilibres économiques et donc financiers, en cohérence explicite avec l'intégration de l'écologisme dans les mentalités et le climat de créativité et d'entrepreneuriat jaillissant de la révolution numérique.

Il ne faut pas toutefois imaginer que la fabrication additive va inéluctablement balayer les technologies traditionnelles : nous allons assister à de nouvelles formes de combinaisons productives, liées à d'autres formes d'innovation technologique. On peut citer les progrès très rapides réalisés en robotique flexibles pour le placement des fibres, qui permettent une utilisation renforcée des matériaux composites, ou encore, bien sûr, la généralisation des capteurs au sein des usines et dans l'appareil de production en général qui donne réalité à l'industrie digitale.

D. EN RÉSUMÉ

L'impression 3D se révèle être un facteur en soi ainsi qu'un catalyseur de changement de l'organisation de l'industrie, de la culture de l'industrie, de la représentation de l'industrie. Elle génère un mouvement qui déferle en affectant différemment les secteurs et les entreprises. Il ne s'agit en aucun cas d'un phénomène de mode.

La méthode additive est entrée dans une phase de croissance exponentielle, L'impression 3D remet en question le design industriel des produits, leur design d'apparence ou d'usage, la longueur des séries, la "customisation" à outrance, la réparabilité par la plus grande disponibilité potentielle des pièces, voire la réparabilité par ajout de matière sur les parties usées, même en alliages de titane. Les fichiers des pièces seront bientôt disponibles au téléchargement comme aujourd'hui les modes d'emploi ou les "pilotes" (drivers) de nos appareils électroniques et nous pourrons les faire produire dans des fermes de production à proximité, voire à la Poste, une fois ces nouveaux usages répandus.

Elle permet : de réduire considérablement le coût de la complexité puisqu'un design 3D complexe peut être produit plus simplement ; de créer de très nombreux usages et produits nouveaux ; de réduire le poids ou le volume des pièces ; de supprimer une large partie de la logistique ; d'améliorer et de combiner des performances ; etc.

Elle va avoir un impact sur les business modèles des entreprises à la fois quant à la R&D, le marketing, la production (la longueur des séries peut être reconsidérée), la logistique et le stockage, et va revaloriser la réparabilité (jeter versus réparer) ou encore bouleverser la maintenance. Quand celle-ci fait partie du modèle économique, ce qui est particulièrement important dans les industries de transport ou d'énergie où souvent la marge est faite sur les pièces et l'entretien, les technologies nouvelles vont réinventer la notion même de maintenance et les rôles des acteurs qui s'en chargent.

¹²⁹ Voir aussi *Delivering Tomorrow - Logistics 2050. A Scenario Study*, Deutsche Bank DHL, 2012.

¹³⁰ M. Ferrey, S. Houette et M. Dougados, « L'impression 3D, merveille ou menace ? », *Supply Chain Magazine*, mai 2014.

Elle va créer des "disruptions" majeures tout au long de la chaîne de valeur, au point de mettre certaines industries en danger, donc leurs fournisseurs, leurs clients, leurs banquiers, leurs actionnaires. Les industries de la machine-outil, des scanners, des poudres et matériaux, des softwares depuis la conception jusqu'à la production, de la logistique, de la certification, etc. vont être affectées.

Elle est un facteur essentiel quoique loin d'être isolé du nouvel alignement des planètes auquel nous assistons, reflétant des modes de production, de consommation et d'échange drastiquement transformés.

III – INNOVATION, QUALITÉ ET GESTION DES RISQUES

A. EXPLOITER AU MAXIMUM L'ATOUT TECHNOLOGIQUE

1. Agir sur la chaîne de valeur de la R&D et les « briques technologiques »

Pour gagner des parts de marché par rapport à ses concurrents, il convient d'agir sur la chaîne de valeur constituée par la R&D (« briques technologiques »), tout en croisant les expertises.

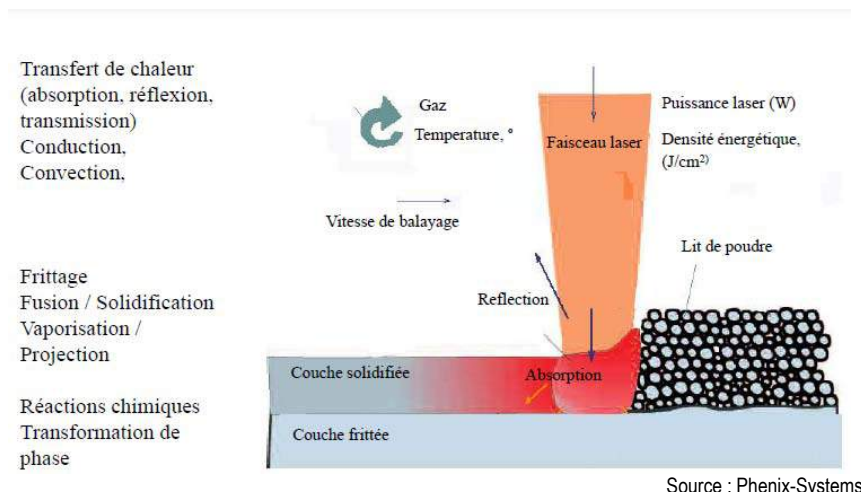
D'une part, il faut encourager les travaux scientifiques et le développement de toutes les briques qui peuvent concourir à la fabrication additive (les sciences physiques et les matériaux, la chaîne numérique, l'informatique, les modélisations, les simulations, et les mathématiques notamment ; cette courte liste n'étant nullement exhaustive).

D'autre part, l'intensification des travaux de R&D sur des « briques technologiques » permettra de consolider le savoir en fabrication additive, tout d'abord les sciences plus ou moins fondamentales : sciences des matériaux, sciences physique, physique de la matière, propriétés liées à des changements de phase, mathématiques, modélisation, calculs... Le croisement de ces savoirs conduit à la compréhension et à la maîtrise de la physique liée aux nouveaux modes de fabrications.

On peut par exemple citer les travaux d'amélioration sur les lasers qui ont progressé en une décennie de manière prodigieuse (pour les plus performants en laboratoire, certains peuvent atteindre 100 kW, ou des durées d'impulsion qui sont de l'ordre de la femtoseconde (10^{-15} seconde) et l'on vise déjà l'attoseconde (10^{-18} seconde)).

Dans le cas de la fabrication de pièces par processus de Frittage laser sur poudres métalliques, le faisceau laser provoque la fusion de la poudre qui se solidifie ensuite et se lie avec les couches sur lesquelles elle repose ; ces couches ont déjà été frittées, la poudre a été en fusion puis s'est solidifiée. La connaissance fine de ces phénomènes physiques – qui n'est ni un phénomène de forge, ni un phénomène de fonte - reste à découvrir. En conséquence, il n'existe pas aujourd'hui de modélisation réalisée et éprouvée, et on ne peut donc pas encore effectuer des simulations qui permettraient, à l'avance, par le calcul, de prévoir parfaitement les caractéristiques des pièces.

PHÉNOMÈNES THERMO-PHYSIQUES



La métallurgie des poudres a fait également d'énormes avancées et l'on sait aujourd'hui fabriquer des poudres avec des grains de l'ordre de 10 microns, même si les champs de recherche, reproductibilité, taille, aspect géométrique des grains sont à poursuivre.

À titre d'exemple, le développement de l'avion Rafale, qui vient de connaître plusieurs annonces de succès commerciaux, a été l'objet de nombreuses prouesses de développement technologique. L'une des plus critiques a certainement été la mise au point d'un matériau nouveau pour la réalisation du moteur de cet avion d'arme : le superalliage polycristallin N18 co-développé par Snecma / Onera / armines / Tecphy SA – 1^{er} alliage industriel

français issu de la métallurgie des poudres introduit pour les disques de turbine haute pression du moteur M88. Sans la mise au point de cet alliage, les performances ici requises n'auraient pu être assurées. Certainement, d'autres alliages performants devront être issus de travaux de R & D pour la fabrication additive.

Ce superalliage polycristallin N18 est également utilisé dans la nouvelle génération de moteur développé par Snecma pour l'aviation civile, et notamment pour le moteur Silvercrest destiné à l'aviation d'affaires.

Le potentiel et le défi technologique qui s'offrent avec les nouvelles capacités que vont apporter les imprimantes 3D, en particulier dans les matériaux métalliques doivent s'appuyer sur de vastes efforts de R&D car ces machines sont nouvelles et que l'on maîtrise ou connaît mal les métallurgies associées à ces nouveaux processus. Ce sont des machines de fabrications nouvelles, des processus nouveaux que l'on maîtrise ou connaît mal les métallurgies qui leur sont associés.

2. Tirer parti des avancées de la recherche européenne

Au-delà des efforts consentis au niveau national par chaque Etat membre de l'UE, des initiatives ont été développées, au niveau européen, dès 1984. Aujourd'hui, des outils existent donc dans ce domaine et il importe, non seulement d'en évaluer les effets, mais aussi de renforcer la dynamique collective qui s'est ainsi mise en place, car la mondialisation de la concurrence ne laisse pas d'autre choix.

► BILAN DES ACTIONS MENÉES DEPUIS LES ANNÉES 80

▪ RAPPEL HISTORIQUE

- ✓ La Commission européenne a commencé à financer des projets de recherche dans ce domaine dès le lancement du 1^{er} programme-cadre européen de recherche et développement (PCRD) (1984-1987). Le soutien à ce secteur s'est ensuite poursuivi avec les différents programmes-cadres de recherche ultérieurs (1988 jusqu'à 2013) (voir tableaux ci-après).
- ✓ Le nombre de projets liés à la fabrication additive dans les différents appels à propositions a été en croissance régulière depuis le 1^{er} PCRD, avec une augmentation importante au cours des dernières années du 7^e PCRD (2007-2013)¹³¹.

▪ FAITS ET CHIFFRES

Au cours du 7^e PCRD, la Commission européenne a financé plus de 60 projets relatifs à ces technologies, en apportant une contribution de l'UE d'un montant de plus de 160 M€ sur un budget total de 225 M€

¹³¹ Le 7^e programme-cadre de recherche et de développement technologique (7^e PCRD) était, à cette époque, le principal instrument de l'Union européenne en matière de financement de la recherche à l'échelon européen. Les priorités du 7^e PCRD se répartissaient dans plusieurs programmes spécifiques, notamment les programmes thématiques du volet « Coopération », dont la finalité consistait à promouvoir la collaboration entre industrie et universités afin d'atteindre un plus grand leadership dans les domaines clés de la technologie. **La recherche relative à l'impression 3 D s'intégrait dans le volet « Leadership industriel » et elle a été abordée en priorité dans des rubriques thématiques telles que les nanotechnologies/nanosciences ou les matériaux et nouvelles technologies de production.** Toutefois, la diversification des applications de ces technologies conduit à les voir figurer dans d'autres programmes thématiques (pour mémoire : santé; alimentation, biotechnologie; technologies de l'information et de la communication, énergie, environnement (changements climatiques inclus), transports (aéronautique comprise), sciences socioéconomiques et humaines, espace et sécurité. Dans la mesure où il s'agit d'applications dérivées de l'informatique, on les retrouve aussi dans le programme consacré à l'Internet du futur (voir exemples).

**VENTILATION DU NOMBRE DE PROJETS FINANCÉS PAR LES PCRD SUCCESSIFS
(1991-2013) DANS LE DOMAINE DE L'AM**

PROGRAMMES EUROPÉENS	NOMBRES DE PROJETS
3° Programme-Cadre (3° PCRD)	4
4° Programme-Cadre (4° PCRD)	8
5° Programme-Cadre (5° PCRD)	3
6° Programme-Cadre (6° PCRD)	12
7° Programme-Cadre - Volet « Idées » - Conseil européen de la recherche (CER)	3
7° Programme-Cadre (NMP) ¹³²	34
7° Programme-Cadre (TIC)	2
7° Programme-Cadre – Volet « Personnes »	8
7° Programme-Cadre - PME	5
7° Programme-Cadre - Transports	1
7° Programme-Cadre – Volet « Capacités » ¹³³	1
7° Programme-Cadre – Initiatives technologiques Conjointes	5
7° Programme-Cadre – Volet « Coopération » - Alimentation, agriculture, pêche & biotechnologies	1
7° Programme-Cadre – Programme « Science & Société »	1
TOTAL	88

Source : CE – DG R&I (Recherche & Innovation)

VENTILATION PAR SECTEUR (MÊMES DOMAINES, MÊME PÉRIODE)

MATÉRIAUX 29,6%	Métaux	11,30%
	Polymères	7%
	Biomatériaux	5,60%
	Céramiques	2,80%
	Autres matériaux	2,80%
TECHNOLOGIES 34,5%	Procédés	23,20%
	Informatique	10,60%
	Normalisation	0,70%
APPLICATIONS 35,9%	Procédés industriels	7,70%
	Santé	4,90%
	Bio-impression	4,90%
	Aéronautique/Aérospatial	3,50%
	Moules & outillage	3,50%
	Micro-impression 3D	2,80%
	Chaussure – Habillement	2,10%
	Biens de consommation	1,40%
	Electronique	1,40%
	Compétences & éducation	1,40%
	Micro-hydraulique	0,70%
	Design – Conception	0,70%
	Alimentation	0,70%

Source : CE – DG R&I (Recherche & Innovation)

¹³² Nanosciences, nanotechnologies, matériaux et nouvelles technologies de production.

¹³³ Actions horizontales et mesures de soutien à la coopération internationale.

► INSTRUMENTS ACTUELS - EXEMPLES

▪ CONTEXTE

- ✓ Dans le programme Horizon 2020 (2014-2020)¹³⁴, qui a succédé au 7° PCRD, l'AM est intégré au sein de la filière « Leadership industriel » et, plus particulièrement, du programme « Nanotechnologies, Advanced Materials, Advanced Manufacturing and Processing, and Biotechnology ».
- ✓ Ce dispositif est complété par les Partenariats Public Privé (PPP), qui offrent aussi des possibilités pour développer l'AM (voir infra).

► EXEMPLES DE RÉALISATIONS MENÉES À BIEN SOUS COUVERT DES PROGRAMMES DE LA COMMISSION EUROPÉENNE

▪ INTERNET DU FUTUR : LE PROJET FABULOUS

Mis en place dans le cadre du 7° PCRD, le partenariat public-privé « Internet du Futur »¹³⁵ (2011-2016) associe la CE à une série d'entreprises industrielles, qui en assurent la gestion. (Pour mémoire, l'investissement total prévu à ce titre atteint 500 M€, dont 300 M€ sont apportés par la Commission européenne.)

Cette initiative vise à :

- accroître l'efficacité des processus de gestion et le fonctionnement d'infrastructures dans des secteurs tels que l'énergie, les transports ou la santé ;
- tirer de ces réalisations des *business models* innovants permettant de renforcer la compétitivité de l'industrie européenne dans des domaines tels que les télécommunications, les logiciels, les équipements mobiles, les médias et les fournisseurs de contenus.

Le PPP (Partenariat Public Privé) « Internet du Futur » fonctionne en s'appuyant sur la plate-forme électronique FIWARE¹³⁶, qui comporte plusieurs volets, dont un catalogue d'outils, un Lab destiné aux expérimentations virtuelles et un programme de mise en place de 16 « accélérateurs », dont FABulous fait partie. Ce sous-programme, doté d'un budget de 80 M€ vise à créer des applications innovantes fonctionnant à partir des technologies disponibles via FIWARE.



Future Internet Business Acceleration / Programme
for 3D Printing Services in Europe
<http://fabulous-fi.eu/about-fabulous-project/>

- FABulous a été lancé en septembre 2014 et sera opérationnel jusqu'en août 2016.
- Ce programme vise à encourager le développement d'applications technologiques dérivées de l'AM, permettant de combler le fossé entre TIC, industries créatives et processus de fabrication industrielle.
- Doté d'un budget de 5,44 M€, il vise à soutenir environ 200 projets, qui seront sélectionnés via deux appels à candidatures (novembre 2014 et juin 2015).

¹³⁴ Reflétant les priorités de l'Europe, le budget d'Horizon 2020 a été notablement augmenté par rapport au budget du 7° PCRD, pour atteindre 80 MM€. Voir : <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>

¹³⁵ Voir : <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/future-internet-public-private-partnership>

¹³⁶ <http://www.fi-ware.org/>

■ HORIZON

Pour augmenter les ressources disponibles dans quelques secteurs jugés stratégiques en vue de soutenir la compétitivité de l'industrie européenne, la Commission européenne a mis en place, en décembre 2013, huit PPP¹³⁷, dont deux concernent davantage l'AM : Usines du Futur (FoF)¹³⁸ et SPIRE (Sustainable Process Industry).

Deux appels à projets récents ont été intégrés dans la priorité « Leadership industriel » :

"Usines du futur" – Fabrication de pièces sur mesure pour une production personnalisée – Budget : 143,17 M€ Appel clos le 04.02.2015 http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/2189-fof-10-2015.html	Fabrication additive pour des micro-unités de production Budget: 64,43 M€ Appel clos le 26.03.2015 http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/2532-nmp-07-2015.html
--	---

La recherche européenne permet ainsi de disposer de bilans de projets menés à bien, susceptibles de fournir des éclairages opérationnels aux industriels.

Deux exemples de ces réalisations figurent ci-après : la première fait référence aux aspects de normalisation (dont les effets induits peuvent être considérables) ; la seconde décrit un processus innovant de fabrication fondé sur l'utilisation de photopolymères.

Intitulé :

SASAM (Support Action for Standardisation in Additive Manufacturing)



Pilote: NEDERLANDSE ORGANISATIE
VOOR TOEGEPAST
NATUURWETENSCHAPPELIJK
ONDERZOEK – TNO (Mr. Frits Feenstra) -
Pays-Bas

Pour en savoir plus:

http://cordis.europa.eu/result/rcn/149448_en.html

http://cordis.europa.eu/programme/rcn/854_en.html

<http://www.sasam.eu/>

Argumentaire technique :

Le projet SASAM souhaite accompagner la croissance de la fabrication additive en coordonnant les activités de standardisation pour l'Europe.

Aujourd'hui, les produits de la fabrication additive possèdent un niveau adéquat pour une utilisation commerciale. L'absence d'existence d'une norme internationale ou européenne entrave l'implantation d'une industrie européenne dans le domaine de la fabrication additive.

Le développement de standards est une étape importante pour améliorer la situation actuelle et faire bénéficier de nombreux secteurs de l'industrie manufacturière des avantages apportés par cette nouvelle technologie.

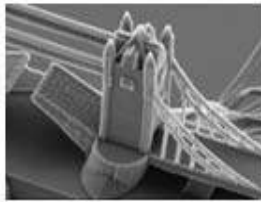
Selon les estimations fournies par Airbus Industries, un aéronafe entièrement réalisé en utilisant les technologies additives aurait, par rapport au même appareil fabriqué selon les méthodes traditionnelles un poids inférieur de 30% et permettrait des économies de l'ordre de 60% !

¹³⁷ Voir le CP : http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/horizon2020/document.cfm?doc_id=3966

¹³⁸ Pour l'actualisation, voir : <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/calls/h2020-fof-2015.html>

Intitulé :

Éphocam (Photopolymer based customized additive manufacturing technologies)



Pilote: TECHNISCHE
UNIVERSITÄT WIEN, Institute of
Materials Science and Technology
Pour en savoir plus:
[http://ec.europa.eu/programmes/
horizon2020/en/news/3d-printed-
key-factory-future](http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/3d-printed-key-factory-future)

Argumentaire technique :

Les procédés de fabrication additive basés sur la stéréolithographie permettent la création de formes 3D complexes avec une bonne qualité de surface et une grande précision. Ces propriétés sont seulement en quelques étapes de fabrication.

Les innovations récentes dans le domaine de sources lumineuses de haute performance, cad projecteurs lumineux digitaux et LASERS pulsés, ont provoqués la mise en place de standards élevés de production, économiquement robustes et adaptés à un usage industriel.

Avec les innovations récentes dans le domaine des résines thermodurcissables, les technologies de fabrication additive se sont étendues au-delà des applications de prototypage. Plusieurs pièces fabriquées par procédés additifs surpasseraient des biens fabriqués sur la base de technologies conventionnelles.

Le projet de photopolymères développés par la fabrication additive (PHOCAM) est destiné à deux technologies de stéréolithographie, « Digital Light Processing » (DLP) et « Two Photon Polymerisation » (2PP). Chacune de ces technologies surmonte deux obstacles majeurs inhérents à la fabrication additive : caractéristiques mécaniques insuffisantes et faible résolution.

B. L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA FABRICATION ADDITIVE

La rupture industrielle potentielle introduite par la fabrication additive doit être pensée dans un contexte de développement durable, et plus particulièrement environnemental.

Les atouts principaux de la fabrication additive s'avèrent être aussi des atouts environnementaux. Les impacts sont en effet de deux natures :

1. Réduction du gaspillage : une meilleure efficacité dans l'utilisation des matières premières

► LA FIN DES COPEAUX

En usinage classique, le principe est de partir d'un ébauché dans lequel on vient enlever de la matière pour dégager la pièce finale. La matière enlevée peut, lorsque les pièces ont des formes complexes, être extrêmement importante. Une patte de fixation, par exemple, constitue une excroissance de petite taille qui peut nécessiter l'enlèvement de beaucoup de matière.

La fabrication additive, par son principe-même, n'utilise que la matière nécessaire (aux opérations de finition près). Lorsque l'impression se fait dans un bac (e.g. lit de poudre), seule la matière imprimée est affectée par le process. Le reste est en grande partie réutilisable.

Accessoirement, on élimine aussi l'utilisation de produits additifs inhérents à l'usinage, tels que les huiles de coupe qui sont des produits potentiellement polluants et qui nécessitent une gestion rigoureuse des déchets.

► DES PIÈCES MIEUX CONÇUES

On a vu que la fabrication additive permettait de fabriquer des formes jusque-là inaccessibles par la fabrication classique. Or bien souvent, les pièces dont le rôle est structurel (résistance mécanique par exemple) sont conçues pour être fabricables par les procédés habituels. Elles sont de ce fait surdimensionnées. La fabrication additive permet de s'affranchir de cette contrainte et de concevoir des pièces dont la forme est optimisée mécaniquement. Pour la même fonction, on aura des pièces sensiblement plus légères, donc moins consommatrices de matière première.

► UN NOUVEL ESSOR DE LA RÉPARATION

Ces procédés ont d'ores et déjà démontré, en particulier dans l'aéronautique, leur capacité à réparer des pièces qui auparavant auraient dû être remplacées. Ce prolongement de la vie des produits est très positif du point de vue du développement durable.

2. *L'efficacité énergétique*

► RÉDUCTION DES IMPACTS DE LA LOGISTIQUE

La dématérialisation des objets sous forme de fichiers numériques et la simplicité relative des procédés additifs permet, on l'a vu, d'imprimer les objets au plus près de leur lieu d'utilisation.

Parallèlement, la possibilité de réaliser des séries courtes et le faible impact des économies d'échelle sur l'impression 3D ne nécessite pas de réaliser l'ensemble des pièces sur un process centralisé en un lieu unique. Une pièce, dont l'intérêt économique de la réaliser par fabrication additive aura été validé, ne coûte ainsi pas plus cher à fabriquer en plusieurs endroits ; encore une fois, au plus près du lieu de consommation finale.

L'impact sur le transport, et par conséquent sur les émissions de CO₂, paraît potentiellement majeur, même s'il est difficile aujourd'hui d'en estimer l'ampleur.

► LE BILAN ÉNERGÉTIQUE DES PROCESS DE FABRICATION ADDITIVE

Cette question nécessiterait une évaluation fine qui sort du cadre de ce rapport.

Toutefois, en première approximation, on peut noter que le procédé additif, basé sur un apport d'énergie très localisé (e.g. Laser) et maîtrisé, devrait avoir une bonne efficacité énergétique.

Par ailleurs, la réduction des déchets d'usinage (cf. supra) dont le recyclage est lui-même consommateur d'énergie, va aussi dans le sens d'un impact énergétique positif.

A l'inverse, la production de poudres peut faire appel à des process spécifiques eux-mêmes consommateurs d'énergie.

On voit que les procédés additifs devraient avoir un impact environnemental positif. On ne peut toutefois pas occulter les impacts négatifs dont certains ne manqueront probablement pas d'émerger avec le développement du domaine.

La question des matériaux pourrait en effet devenir centrale à cet égard. La fabrication additive permettra de mettre en œuvre des matériaux et des mélanges de matériaux qu'il n'est pas possible d'utiliser aujourd'hui. La réglementation existante permettra sans doute d'encadrer cette évolution, il est même probable qu'elle la ralentira.

On peut aussi envisager le développement conjoint avec d'autres secteurs émergents, telles que les nanotechnologies dont l'encadrement réglementaire est encore en devenir.

Enfin, le simple fait d'utiliser des poudres, qui par nature se dispersent facilement dans l'atmosphère, est un risque potentiel environnemental et sanitaire. Il conviendra donc de se préoccuper de la sécurité des consommateurs mais aussi des personnes travaillant sur ces process. Des substances non-nocives peuvent le devenir au cours de leur transformation ou de leur utilisation. L'inhalation de grains de quelques dizaines de microns peut être pathogène.

Nécessairement, les machines vont donc se perfectionner. Les manipulations des poudres, tant pour leur fabrication que pour leur utilisation, vont très certainement s'automatiser totalement et se faire en atmosphère confinée ou totalement nettoyée pour éviter tout contact avec les opérateurs et l'atmosphère extérieure.

De fait, pour toutes les raisons exposées ici, les procédés de fabrication additive sont potentiellement très adaptés à une production « propre » et plus favorable à l'environnement. Une communication autour de cet argument pourrait d'ailleurs s'avérer utile à sa promotion et à l'accélération de son développement.

C. LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE : POUR UNE PROTECTION DE L'INNOVATION

L'envolée récente du développement de l'impression 3D va de pair avec l'évolution généralisée de la société vers une économie du partage (le web 2.0) alliant *crowdfunding* et customisation des biens dans une société de l'ego. Les chapitres précédents ont montré l'intérêt de cette technologie tant en faveur de la ré-industrialisation que de l'emploi mais également au regard des performances techniques chaque jour ainsi dépassées pour l'ensemble de la société.

Au-delà des *success stories* et des valorisations de pépites, l'impression 3D évoque des enjeux industriels (coûts et performances), individuels (emploi et consommation) et environnementaux (relocalisation de proximité et moindre déchets industriels) et convoque tous les registres du droit de la propriété intellectuelle.

L'impression 3D favorisant l'innovation et la production par sa souplesse¹³⁹, ne peut, à ce titre, qu'être encouragée. Elle induit toutefois une augmentation du nombre des fabricants possibles à l'échelle mondiale et une évolution des comportements des acteurs, entreprises et particuliers, qui accroît les risques de contrefaçon de droits de propriété intellectuelle¹⁴⁰.

1. La place du brevet

► UN INDICATEUR D'INNOVATION QUI NE DOIT PAS CONSTITUER UN BUT QUANTITATIF EN SOI

De fabuleux chiffres de dépôts de brevets dans le domaine de l'impression 3D sont régulièrement mis en avant¹⁴¹. Cependant, dans le sillage de la lutte contre les *Patent Trolls* et fort d'un retournement historique sur le territoire américain du « tout brevet »¹⁴², une réaction émerge contre cette démarche de plus souvent dénoncée comme un frein au développement¹⁴³. Il n'en reste pas moins que les brevets sont une protection encore largement efficace dans le domaine B2B à l'international et qu'il est souhaitable que les acteurs français y soient plus présents.

¹³⁹ Diminution de la durée des tests grâce au prototypage rapide, réduction de la chaîne logistique.

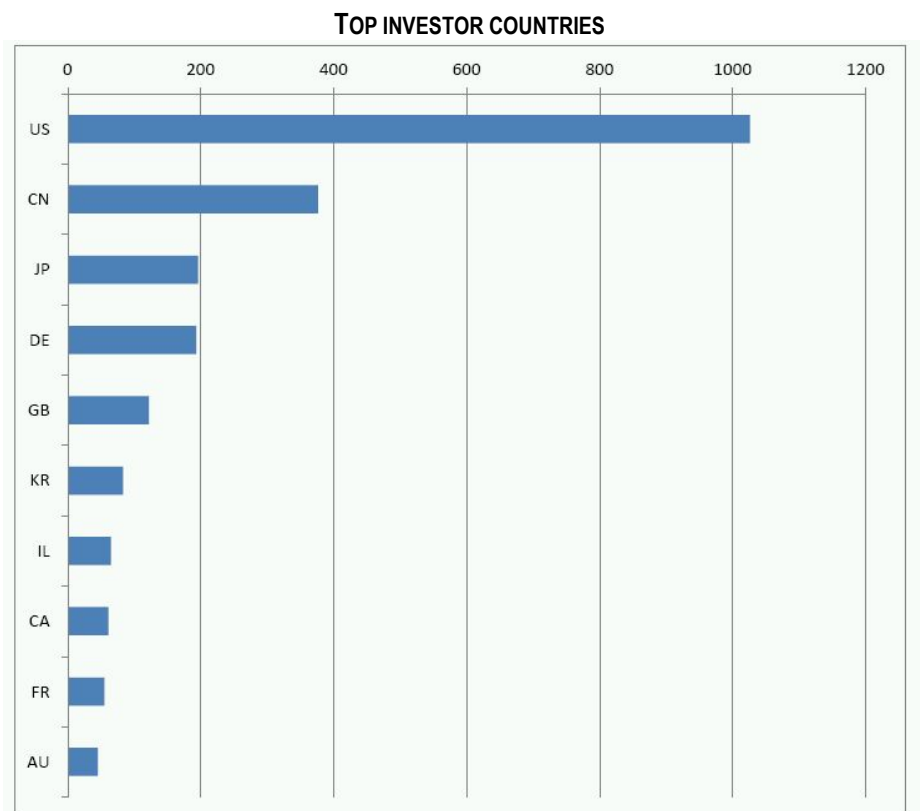
¹⁴⁰ On entend par droit de propriété intellectuelle, à la fois le droit de la propriété littéraire et artistiques (droit d'auteur et droits voisins) et le droit de la propriété industrielle (droit des brevets, droits des marques, droits des dessins et modèles, droit des typographies de produits semi-conducteurs, certificats d'obtention végétale...).

¹⁴¹ 4015 familles de brevets selon l'office britannique in UK IPO, 3D Printing, a patent review, novembre 2013 ; Cabinet Lavoix 2000 noms de déposants différents ces 5 dernières années, Paris, présentation, mars 2015.

¹⁴² Alice Corp VS CLS Bank US Supreme Court, 19 juin 2014, voir Software, the Supreme Court, and 3D Printing : Why you should care about Alice v. CLS Bank, Bryan J. Vogel, jan 25 2015, www.inside3dp.com/software-supreme-court-3d-printing-care-alice-v-cls-bank/

¹⁴³ L'*Electronic Frontier Foundation* (EFF) et la Cyberlaw Clinic au Centre Berkman de Harvard pour l'Internet et la Société travaillent ensemble pour utiliser la nouvelle procédure de preissuance (septembre 2011) afin de mettre à l'épreuve les dépôts de brevets qui menacent particulièrement les technologies d'impression 3D par le signalement auprès des examinateurs de brevets (dans les 6 mois qui suivent leur publication) d'antériorités de nature à empêcher leur délivrance. On notera que l'article 115 de la Convention sur le Brevet Européen (CBE) propose un dispositif similaire dans la procédure européenne près l'OEB.

► UNE PLACE DISCRÈTE DES DÉPÔTS D'ORIGINE FRANÇAISE



Source : UK IPO, novembre 2013

Dans ce rapport, la France est signalée comme comportant un nombre conséquent d'inventeurs mais présente une faible propension à déposer¹⁴⁴ au point de ne pas apparaître dans le *Top Ten* des offices de dépôts¹⁴⁵.

Des données non publiques montrent néanmoins que quelques grands acteurs nationaux s'impliquent désormais fortement dans ce champ. Il serait important que des ETI voire des PME ne négligent pas cette stratégie.

► UN CONSTAT, DEUX DIRECTIONS

De ce constat, deux directions s'imposent :

- favoriser le dépôt de brevets en insistant sur l'impérieuse nécessité d'étendre plus largement possible les dépôts pour imposer à l'étranger nos technologies sous forme de grappes de brevets (*Patent Clusters*) toujours plus consistantes qu'un titre isolé tant devant le juge de la contrefaçon que dans des phases de *licensing*.
- soutenir toutes les démarches collaboratives ou coopératives permettant de partager une cartographie plus nette du champ de mines composé de ces multiples brevets fréquemment signalés dans la presse spécialisée¹⁴⁶ et de capitaliser les antériorités connues à leur opposer en vue de leur innocuité (dans les phases de dépôts ou de contentieux en contrefaçon¹⁴⁷).

Si un Institut dédié à la fabrication additive était créé, il nous semble que ce serait l'entité appropriée pour assurer un rôle de centre d'information, pour ces actions stratégiques qui pourraient s'appuyer sur le Fond souverain de la propriété intellectuelle (FSPI) créé en décembre 2014 auprès de France Brevets dans cette optique.

¹⁴⁴ Voir figure 7, Relative Specialisation Index (RSI), p. 15.

¹⁴⁵ Voir figure 5 : Publication country distribution for the top countries, p. 13.

¹⁴⁶ Brevet Amazon Technologies US2015/0052024 publié le 19 février 2015 ou Boeing US2015/0064299 publié le 5 mars 2015.

¹⁴⁷ Pour le moment extrêmement rares concernant les brevets de ce domaine.

Cette démarche doit associer intimement le secteur de la Recherche qui est au plus près de l'innovation à valoriser et de la connaissance capitalisée. Une recommandation forte, à notre sens doit être réitérée vers les sociétés d'accompagnement de transferts de technologies (SATT) pour favoriser la fluidité en l'inscrivant dans la pérennité des entreprises créées pour traverser « la vallée de la mort »¹⁴⁸.

2. Le rôle de la marque

► LA FONCTION DE LA MARQUE

Les marques sont devenues omniprésentes dans notre vie¹⁴⁹. C'est oublier leur fonction première : identifier l'origine du produit ou du service par rapport à ses concurrents.

La possibilité de reproduire à l'identique un produit replace la marque au centre de cet écosystème. Elle sert autant le créateur pour lutter juridiquement contre l'usage illicite dans la vie des affaires¹⁵⁰ ; elle garantit aussi la qualité pour le consommateur. L'annexe 3 expose amplement le mécanisme des marques et les vertus associées. Leur dimension internationale doit être, là aussi, fortement recherchée.

► UNE OFFRE DE MODÈLES 3D D'ORIGINE

Cette offre pourrait être générée par les concepteurs fabricants à la façon des fabricants de matériels informatiques qui fournissent en ligne leurs *drivers* afin de ne pas favoriser la génération de fichiers alternatifs qui porteraient atteinte à leur renommée et à la qualité de leurs produits. Cette offre peut évidemment être payante, et préférentiellement associée à des services complémentaires qui la distinguera des initiatives alternatives : procédés préférentiels de réalisation, fourniture des consommables, authentification du fichier 3D, certification du produit, etc.

Autant ces principes sont complexes et relativement inutiles dans le cas de produits qui se consomment de façon digitale comme la musique, la vidéo ou les livres autant quand il s'agit de produits à l'état physique les enjeux de protection du consommateur sont mieux perçus. On le voit déjà avec les pièces détachées automobiles de contrefaçon par exemple.

► UNE GARANTIE POUR LE CONSOMMATEUR

Parce qu'il est ainsi potentiellement donné à quiconque de réaliser soi-même ses objets, produits ou pièces, de loisir ou fonctionnels, la notion de produit d'origine change de sens, mais pas d'utilité. Loin de chercher à empêcher la duplication comme l'annexe 3 en expose la possibilité¹⁵¹, il convient d'offrir au consommateur ou client la qualité essentielle attendue. Il s'agit soit de la tenue des performances du produit exempt de risque de dommage soit de la garantie la valeur authentique pour une œuvre.

¹⁴⁸ Définie comme : « La vallée de la mort est ce point de passage obligatoire que toute entreprise doit traverser après une première phase de financement (apports personnels, *love money*, aide à la création, *business angels* ou encore premier tour de table) et avant d'avoir accès aux fonds professionnels de capital-investissement ».

<http://carmincapital.com/traverser-la-vallee-de-la-mort-un-defi-pour-les-entrepreneurs/> ; Contre : <http://www.latribune.fr/entreprises-finance/banques-finance/20141012trib8f4e9d758/la-vallee-de-la-mort-ne-fait-plus-peur-aux-start-up.html>. Voir aussi, les 8 articles publiés sur ce thème et les FCPI par Joël Rosenberg dans le quotidien La Tribune entre 1997 et 2013.

¹⁴⁹ *No Logo*, Naomi Klein, Actes Sud, 2000.

¹⁵⁰ C'est-à-dire au regard de sa valeur économique.

¹⁵¹ Par des systèmes, au demeurant brevetés, d'autorisation embarquée dans certaines imprimantes, par des DRM (Digital Rights Management, c'est-à-dire gestion des droits numériques) dans les fichiers numériques, etc.

Cette révolution peut-elle toucher également la production de biens?

Oui. Avec les imprimantes 3D, il sera possible de produire chez soi, ou à l'échelle de petites communautés, des objets qu'il fallait autrefois acheter. Les grandes usines centralisées céderont la place à des unités de production locales. Les enfants fabriqueront leurs jouets dans leurs écoles ! Même chose pour l'énergie. Avec des immeubles équipés de panneaux solaires...

Jeremy Rifkin : « la troisième révolution industrielle a commencé », interview, Le Monde, 23 septembre 2014

La marque est ainsi un atout et un moyen de lutter contre le penchant individuel à la contrefaçon de loisir¹⁵², mais également endiguer le développement de filières illégales à grande échelle comme on en connaît dans le domaine pharmaceutique¹⁵³ avec d'innombrables victimes¹⁵⁴. Il s'agit de deux causes d'intérêt général majeures.



Except the outside aspect, the features of the plane do not correspond to the reality, which we do not know, but is directed for a practical and complete use according to our knowledge and possibilities that offers FS 2004 ©.

Dassault Aviation® is a registered trade mark, as same as the logo and the aircraft 's forms. A free license has been accorded to VPA team by Dassault Aviation® to use items mentioned above on their FS9 and FSX add-ons, and we thank them warmly.

« Après approbation par courrier du produit final qui sera délivré. Nous avons l'autorisation et uniquement dans le cadre de ses extensions de reproduire le RAFALE sur Flight Simulator (FS9-FSX) et pour le monde entier et d'en faire la publicité sur tous support. Nous avons l'autorisation de reproduire et d'utiliser les marques RAFALE, DASSAULT AVIATION et notamment le logo trèfle dans les pays où Dassault Aviation est titulaire de droits pour les 3 marques en question. »¹⁵⁵

3. La légitime protection des créateurs

► INNOVATION ET RÉPONSE AUX NOUVELLES CRAINTES DES CRÉATEURS

Pour défendre les intérêts des auteurs d'œuvres, victimes évidentes des possibilités de reproduction à l'identique ou d'adaptation, le réflexe est d'en appeler à une modification de la loi ce qu'envisage nécessairement l'annexe 3. Ainsi, le 1^{er} avril 2015, un amendement¹⁵⁶ en vue de mettre en place une rémunération pour copie privée a été présenté devant le Sénat¹⁵⁷.

¹⁵² C'est la question de l'exception pour copie privée développée en annexe 3.

¹⁵³ « Offensive d'Interpol contre les pharmacies illégales », Le Monde, 23 mai 2014, dont les méfaits ont été encore récemment dénoncés « M-Pedigree, un rempart à la consommation de faux médicaments » Le Monde, 2 avril 2015.

¹⁵⁴ « M-Pedigree, un rempart à la consommation de faux médicaments » Le Monde, 2 avril 2015.

¹⁵⁵ Au sortir d'une négociation ardue : <http://www.opex360.com/2012/01/30/rafale-simulateur-de-vol-et-propriete-intellectuelle/>.

¹⁵⁶ http://www.senat.fr/amendements/2014-2015/371/Amdt_257.html.

¹⁵⁷ Cette préconisation figurait déjà dans L'impression 3D, Impacts économiques et enjeux juridiques, Fatima GHILASSENE, Les Dossiers de la Direction des Etudes de l'INPI, Dossier n° 2014 - 04 - Septembre 2014.

S'il est aisé de déterminer l'assiette de la taxe parafiscale (les machines, les consommables, les Fab Labs, etc...), plus approximative sera la détermination juste du périmètre de ces bénéficiaires à rémunérer. Jusqu'à quelle valeur ou degré de mérite conviendra-t-il de placer le curseur ? Doit-on aller jusqu'au fabricant de la poignée du réfrigérateur non éligible à la protection par les droits d'auteur ? Faut-il organiser une procédure de déclaration¹⁵⁸, voire une cession du droit au profit de la société de perception et de répartition des droits à collecter ? Comment traiter les « œuvres orphelines » ou celles retombées dans le domaine public au terme de leur protection ? Mais surtout, comment uniformiser cette approche au-delà des frontières afin d'éviter toute stratégies de contournement ?

A signaler, la réplique du Copyfraud.

Un mouvement lancé par Jason Mazzone, Professeur à Brooklyn Law School¹⁵⁹, contre l'abus de copyright entendu comme l'appropriation abusive par revendication de droits de propriété intellectuelle sur ce qui est dans le domaine public ou la revendication de droits sur des créations non éligibles au regard des critères légaux.

► UNE INNOVATION QUE LE DROIT DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE SAIT APPRÉHENDER

Qu'on ambitionne de repousser les limites de la liberté d'agir ou au contraire qu'on cherche à protéger l'investissement réalisé, le droit de la propriété intellectuelle tel qu'en vigueur offre moyens, fondements et procédures amplement développés en annexe 3. Est-ce à dire que cette révolution n'en est pas une pour le droit ?

Nous pensons qu'elle en révèle plus le délicat équilibre confié à la loi puis au juge : organiser et protéger les intérêts individuels en conflit dans un environnement international.

Le contrôle des flux transfrontaliers dans la société de communication a montré ses limites avec le Peer to Peer puis le streaming : la dernière étape en France étant l'annonce le 23 mars 2015 par la ministre de la Culture d'un nouveau plan d'actions visant « l'assèchement des ressources financières des sites illicites (...) et la responsabilisation des plateformes numériques » par le biais d'une charte de bonne conduite des annonceurs¹⁶⁰. La *soft law* est pourtant très certainement un mode de régulation qui devra être envisagé dans ce nouvel espace de l'impression 3D¹⁶¹ : elle suppose et ne peut s'imposer que dans un environnement pacifié axé sur la culture du respect mutuel des intérêts de chacun.

Plus ambitieux en revanche sera le lent processus d'universalisation¹⁶² des critères de protection des créations.

Malgré une succession de directives européennes, l'harmonisation sur ce territoire n'est pas encore acquise quant aux modes de protection du savoir faire¹⁶³¹⁶⁴ ou du degré d'originalité nécessaire pour reconnaître une œuvre protégée¹⁶⁵ comme le souligne le rapport (annexe 3). Pareil constat pourrait être affirmé s'agissant de l'édition logicielle, entre retournement quant à leur brevetabilité aux Etats-Unis et des décisions de la CJUE depuis 2010 fortement en faveur de l'interopérabilité.

¹⁵⁸ Voir la solution brevetée et autres DRM signalés note 151.

¹⁵⁹ Copyfraud, Mazzone, Jason (2006), *New York University Law Review* 81 (3): 1026.

¹⁶⁰ D'une manière générale, ce plan d'action se décline autour de trois axes : - le recours aux procédures de référé pour suivre dans le temps l'efficacité des mesures de blocage notamment - la mobilisation du gouvernement dans la lutte contre les circuits financiers clandestins - une réflexion sur la responsabilité de certaines plateformes pour aboutir à des procédures plus simples et plus efficaces de signalement, de retrait et de suivi des contenus illicites.

¹⁶¹ Non caractère non culturellement dédié à la différence de l'industrie cinématographique.

¹⁶² Avec Hegel, « au sens où la loi est la même pour tous ».

¹⁶³ La proposition de Directive du Parlement Européen et du Conseil sur la protection des savoir-faire et des informations commerciales non divulgués (secrets d'affaires) contre l'obtention, l'utilisation et la divulgation illicites du 28 novembre 2013 n'est toujours pas adoptée à ce jour.

¹⁶⁴ Appelé à protéger la composition des poudres, pâtes et les *process* en général ; en interrelation avec la normalisation des formats d'échange, la certification.

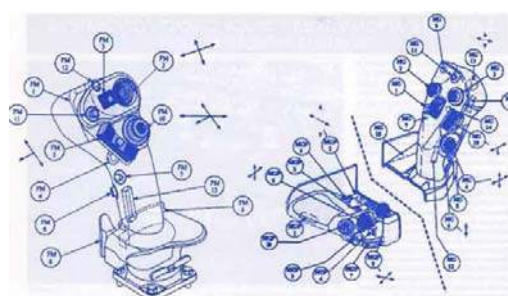
¹⁶⁵ Le Royaume-Uni se singularise par exemple par son approche exigeante du critère de l'originalité.

Globalement les débats sur la protection de la propriété intellectuelle des objets fabriqués en impression 3D pourrait rejoindre assez vite les autres débats liés à la numérisation des contenus, qu'il s'agisse de la musique, de la vidéo, des livres et photos, etc. La question du lien entre digitalisation d'un « objet », sa diffusion possible à l'identique (ou ce qui semble l'être) et la protection des droits est l'un des grands débats du 21st siècle. Il n'est pas que juridique mais un cadre juridique adapté et pertinent s'avère de plus en plus essentiel. La principale différence entre les cas précédents et l'imprimante 3D est que celle-ci va concerner beaucoup plus profondément le monde industriel et le monde B2B et non seulement le monde B2C.

L'EXEMPLE DU « PILOTE RAFALE » SUR SIMULATEUR DE VOL, LASSÉ DE SES COMMANDES DE VOL GÉNÉRIQUES



...pourra-t-il licitement s'équiper d'une réplique fidèle dotée des 37 boutons du manche manette que l'impression 3D peut lui permettre désormais de réaliser lui-même ?



D. LA SÉCURITÉ INDUSTRIELLE ET INFORMATIQUE : UN ENJEU POUR CONSERVER DE LA VALEUR

L'entreprise industrielle du XXI^{ème} siècle sera totalement numérique, et maîtrisera tous les canaux possibles a déclaré au printemps 2015 le président de Michelin. Il faisait allusion à tous les leviers qui permettent, en flux tendu, de connaître les besoins et les retours de satisfactions des clients, de leurs attentes, de mieux les informer en personnalisant chacun de ses besoins, et pour l'entreprise, de la piloter, de prévoir les productions en fonction des stocks disponibles, de programmer les réassorts.

Au niveau des ateliers comme des bureaux d'études, il y a bien longtemps que les objets industriels ne sont plus décrits que par des fichiers numériques. Ce qui change fondamentalement avec l'avènement de cette ultime étape dans le développement de la machine-outil qu'est l'imprimante 3D, c'est que dès que l'on a les fichiers décrivant la pièce et son mode de fabrication, on peut la fabriquer – à condition d'avoir la machine de fabrication additive et la poudre correspondante.

La contrepartie de cette fluidité « numérique », c'est un risque accru de se faire déposséder de sa propriété industrielle – puisqu'il ne sera même plus nécessaire de mettre au point la chaîne d'outillage dédiée pour copier un objet, une machine de fabrication additive – outil générique en quelque sorte fera l'affaire. Cela reste théorique, car il s'agit de fabrication et un savoir-faire industriel est nécessaire, surtout sur des pièces exigeantes sur le plan technologique nécessitant des savoir-faire en matière de traitement.

Or, les possibilités de captation de ces données informatiques sont multiples et les fragilités existent à toutes les étapes de la chaîne numérique : à la conception, sur les écrans de visualisation, au sein des réseaux dans lesquels s'échangent les informations et les fichiers de l'entreprise, dans les espaces de stockage (en particulier dans le cloud). L'objet en lui-même, ou sa visualisation sur un écran, permettent à partir de simples photographies de reconstituer un modèle en 3D.

Par ailleurs, il existe déjà des scanners extrêmement sophistiqués qui peuvent totalement et très finement reconstituer les fichiers géométriques des pièces, et des radiographies permettent ou permettront de reproduire les parties cachées.

Cela aura deux conséquences en matière de sécurité :

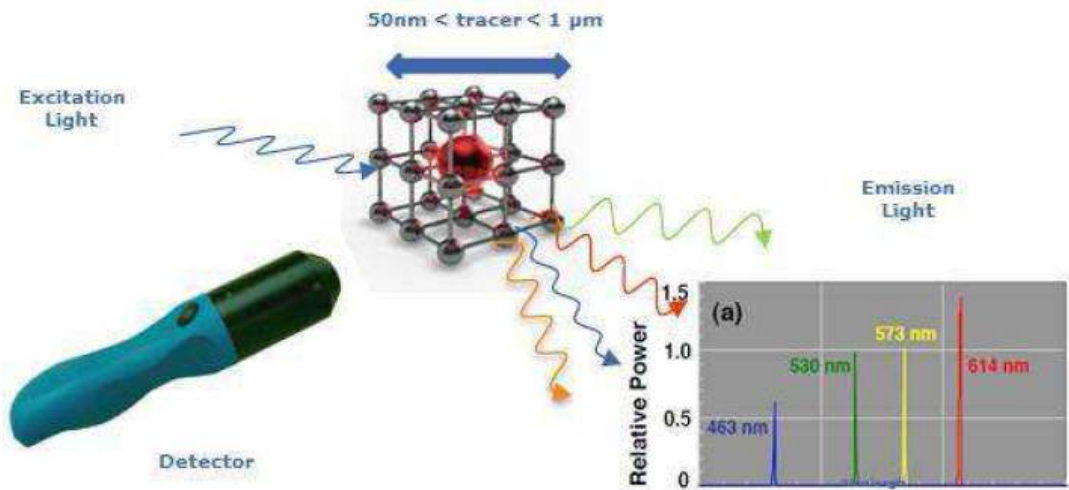
- 1) Au niveau de la protection des objets originaux et des droits de propriétés encadrant ou interdisant la reproduction : il deviendra de plus en plus simple de reproduire des pièces ayant l'apparence, l'aspect, la forme géométrique de pièces protégées par des droits de propriété.
- 2) Les pièces protégées répondent le plus souvent à des normes et des cahiers des charges satisfaisant à des besoins clients, notamment pour la sécurité (au sens très large, sur les matériaux employés, sur la protection des utilisateurs ou des systèmes dans lesquels ces pièces s'intègrent, etc.).

On peut donc prévoir trois conséquences :

- Le renforcement des mesures de protection au sein des entreprises sur la circulation et le stockage des données numériques sensibles sur les savoir-faire ;
- Le développement de systèmes de marquage – non falsifiables - des fichiers numériques sensibles permettant d'identifier si ceux-ci ont été dérobés (de nombreuses solutions ont été développées, il peut y avoir aussi des identificateurs d'intrusion – on cite par exemple des systèmes de cryptologie quantique) ;
- Enfin, le développement de systèmes de marquage physique, afin de pouvoir assurer qu'une pièce a bien été produite sous la responsabilité d'un industriel qui garantit ainsi à la fois son origine et sa certification par rapport à un cahier des charges (la contrefaçon de pièces, même reproduisant à l'identique leurs aspects géométriques sans maîtriser l'ensemble des procédés de fabrication peut avoir des conséquences dramatiques pour l'utilisateur final (exemples de pièces détachées pour l'automobile ou l'aéronautique)). De nombreuses techniques de marquage physique, indétectables ou non, existent, citons par exemple la solution d'authentification par nano traceurs optiques du CEA qui sont utilisables sur de nombreux matériaux tels que les plastiques, métaux, verre, céramiques, bois, tissus...

Principe :

Particules de très petites tailles (nm - μm) obtenues grâce aux nanotechnologies, capables d'émettre des codes optiques lorsqu'elles sont excitées par la longueur d'onde spécifique d'un détecteur portable ou statique



Code optique : 0.5-1-1-1.5

IV – RELEVER LE DÉFI DE L'ADAPTATION DES COMPÉTENCES

A. COMPÉTENCES-CLÉS ET RE-ENGINEERING DE LA CHAÎNE DE VALEUR

1. Nouveaux enjeux

Les compétences nécessaires à la mise en œuvre de l'impression 3D ne peuvent être dissociées de l'ensemble des compétences inhérentes à l'« usine connectée ». Elles gravitent autour de l'axe de la numérisation, comme les compétences liées la robotique et celles qui sont liées à la *supply chain*. Elles sont par ailleurs de natures diverses, formant deux triangles qui s'emboîtent. Progresser dans ce domaine suppose en effet de disposer de compétences en matière de recherche-développement notamment dans tout ce qui a trait à la mécanique ainsi qu'à la physique et à la chimie des matériaux, auxquelles doivent être associées des compétences de savoir-faire permettant des expérimentations et essais et erreurs reposant sur l'expérience et l'habileté des ingénieurs et des techniciens ; auxquelles il faut adjoindre des compétences en matière de design. La propension à l'innovation étant d'autant plus grande que la collaboration avec les fournisseurs et avec les clients est grande, on voit bien l'importance que revêt le dialogue avec les producteurs d'imprimantes et avec les producteurs de poudres, s'agissant de l'amont. L'appellation générique design réunit elle-même un triangle de compétences, puisqu'elle désigne d'une part le design créatif permettant d'imaginer de nouvelles formes et de nouveaux objets, le design industriel grâce auquel de nouveaux usages se dessinent mais aussi des schémas innovants et tangibles de réalisation, le design de process permettant de concevoir de nouveaux schémas d'organisation et de gestion de l'information.

La logique de création liée à la 3D n'est pas sans rappeler celle qui prévaut dans le domaine de l'architecture où les architectes et les ingénieurs développent sans arrêt en commun de nouvelles manières de construire au fur et à mesure que de nouvelles technologies et de nouveaux matériaux apparaissent.

Dans la réorganisation de la chaîne de valeur de l'industrie, ceux qui auront le pouvoir sont ceux qui disposeront des moyens financiers les plus conséquents et/ou des compétences les plus pointues, ainsi bien sûr que d'un schéma managérial approprié. Les compétences étant elles-mêmes fragmentées, des pôles de pouvoir peuvent se constituer autour d'entreprises bien armées dans des domaines déterminants, qu'il s'agisse de la numérisation et de l'organisation de l'entreprise (l'intérêt que porte SAP à 3D Systems est ici révélateur) ; de l'industrie mécanique (l'industrie allemande de la machine-outil ayant un avantage comparatif), etc. Il est par ailleurs logique que des groupes tels que GE ou Google, qui sont très riches et ont des compétences très diversifiées, soient très intéressés par les perspectives de l'impression 3D.

Enfin, le rapport de force entre le designer et l'industriel est également amené à bouger. Dans le modèle traditionnel, le designer dépend de l'industriel pour l'édition des objets qu'il conçoit. Dans le nouveau système, le designer peut les réaliser lui-même ou en tout cas se placer en situation de donneur d'ordre. Ainsi, le designer peut devenir s'il le souhaite un industriel *new look*. Les seules limites qu'il rencontrera sont un besoin de financement qui outrepassse ses capacités, ainsi qu'un déficit de compétences managériales si son entreprise, souvent une TPE, passe au stade de la grosse PME voire de l'ETI. En tout état de cause, la position du designer sera renforcée sur l'échiquier de la chaîne de valeur industrielle et de nouvelles formes de coopération avec les grands groupes et les entreprises industrielles en général vont voir le jour. Le designer sera d'autant plus à l'aise que la culture industrielle va changer de nature. L'on passe, en effet, d'une économie intensive « en travail et en coût » à une économie intensive « en créativité et en ingéniosité »¹⁶⁶. Le vocabulaire est ici loin d'être neutre : l'idée même de *fermes d'imprimantes* et non plus d'usines reflète une nouvelle manière de voir les choses et de les organiser.

¹⁶⁶ « Printing Spurs a Manufacturing Revolution? », *New York Times*, 3 sept. 2010.

2. La dialectique du consommateur/acteur

Nous faisons bien connaissance avec une nouvelle dialectique du consommateur dans le sens où, d'un côté, celui-ci est davantage maître de ses réalisations avec l'impression 3D mais où, d'autre part, « l'accès à la mer » est un objectif encore plus stratégique pour les entreprises.

Les compétences qui doivent être détenues par le consommateur sont les mêmes que celles des entreprises, mais de manière plus segmentée et avec une moindre sophistication. Un consommateur/acteur n'est pas tenu de connaître toutes les formes d'impression 3D et les objets qu'il réalisera se limiteront à quelques catégories de produit ou d'équipement. Il y aura bien des *geeks* du 3D, mais on est en droit de penser qu'ils en deviendront souvent des entrepreneurs, ils auront en tout cas le potentiel de compétences requises. Mais la moyenne générale des personnes de cette « famille » se situera autour d'un noyau de compétences standard de savoir-faire et numériques, utiles en particulier pour l'autoréparation.

Parallèlement, la 3D représente une opportunité évidente pour les entreprises de distribution ou pour les entreprises industrielles en quête d'un accès à la mer, transformant ainsi le *do it yourself* en vecteur stratégique. Ceci vaut en particulier pour l'électroménager et le bricolage domestique mais pourra s'appliquer à bien d'autres secteurs. On peut imaginer en particulier que des fermes seront mises à la disposition des clients, ce qui ajoutera une dose de marketing expérientiel au modèle économique.

Il est également fort plausible qu'un écart subsiste entre les compétences des consommateurs-acteurs et celles des entreprises, si bien que cela génère le besoin de nouvelles formes d'intermédiation (court-circuitant elles-mêmes des formes traditionnelles d'intermédiation) comme cela s'est produit tant de fois depuis l'arrivée de l'Internet.

Que va-t-il se passer lorsque le niveau de compétences requis en matériaux, savoir-faire, numérique, etc., dépassera celui qui se trouve à la portée de la plupart des consommateurs ? Ou pour les consommateurs qui n'ont aucune envie ou n'auront pas le temps de se commuer en « superbricoleurs » créatifs ? Une intermédiation sera irrémédiablement nécessaire comblant un écart limité ou conséquent selon les catégories de population. Elle pourra être réalisée par les groupes industriels ou de distribution ou par des *pure players* qui pourront ensuite prendre de l'envergure, car bénéficiant de « l'accès privilégié à la mer ». On peut imaginer aussi une intense activité sur le net de forums et sites pédagogiques plus ou moins commerciaux.

B. DES COMPÉTENCES À L'EMPLOI

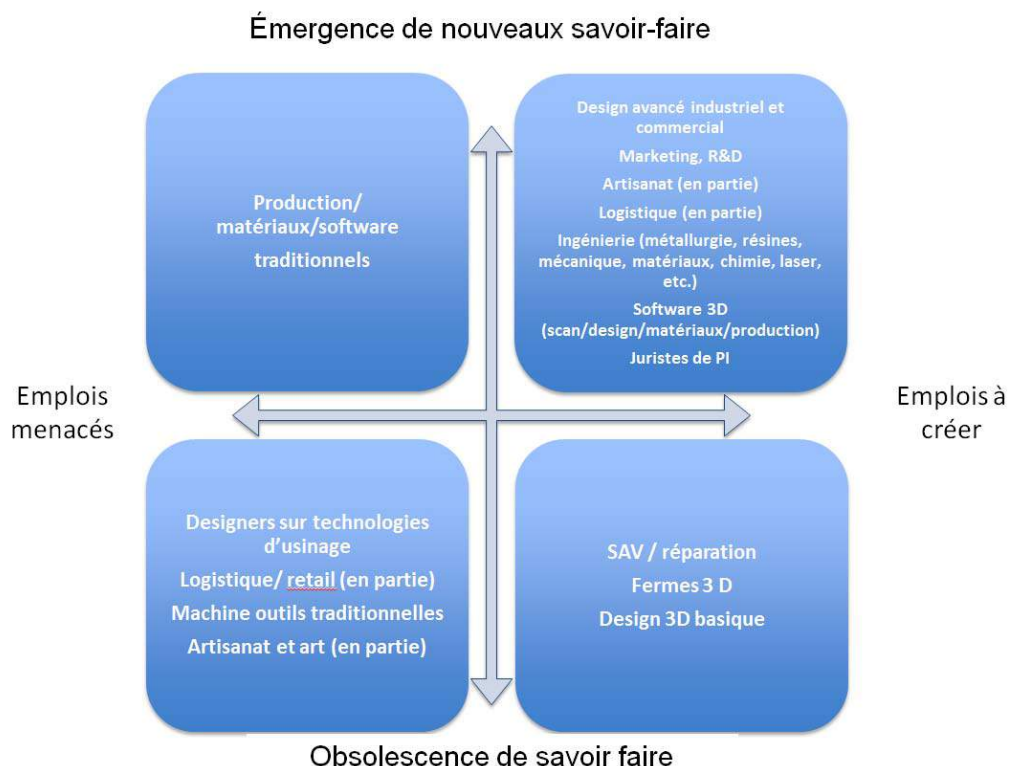
1. L'écosystème des compétences

Tous les rapports sur l'impact de l'imprimante 3D disent la même chose : elle est une forme de révolution et elle n'est pas limitée au secteur manufacturier. Elle risque de toucher profondément la nature de l'emploi et l'ensemble des champs de compétences. C'est tout l'écosystème autour des biens matériels qui est bouleversé. Il en résulte que l'impression 3D va avoir un impact sur les compétences et l'emploi dans chaque industrie, depuis l'apprentissage des savoir-faire de base jusqu'aux savoir-faire de design, de marketing, de production, de logistique, etc. Elle va profondément affecter des pans entiers de compétences ainsi que les interdépendances entre ces compétences. Ainsi le concepteur de logiciels, de design en 3D va-t-il devoir intégrer les nouvelles résistances des matériaux, en fonction des nouveaux matériaux, des nouvelles et diverses techniques de production, des exigences de la production et des consommateurs. De même l'expert en marketing va-t-il devoir intégrer les nouvelles techniques de crowdsourcing des designs, les nouveaux modes de distribution, les nouvelles longueurs des séries, les nouveaux enjeux de la réparabilité et de la propriété intellectuelle et industrielle. Tous, et bien d'autres, vont devoir revoir les modalités du développement des savoir-faire, de la sécurité, etc. comme le résume trop rapidement le schéma suivant.



2. Emploi et savoir-faire

Comme toutes les grandes disruptions de notre époque, à l'instar de l'automatisation, de la robotique, du Big data, des objets connectés, des smart grids ou encore des smartphones, les savoir-faire vont être impactés selon deux axes. Le schéma ci-dessous les résume rapidement.



Le premier impact est celui de la quantité de travail. On insiste souvent, et la presse ou les auteurs un peu cassandre en particulier, sur la réduction des emplois que provoquent les nouvelles technologies. Le thème des emplois menacés est plus médiatique et plus facile à documenter, mais il est probable que l'impression 3D, comme de nombreuses industries nouvelles, crée en réalité aussi de nombreux emplois.

Le second, plus important, est que la répartition des savoir-faire va être profondément changée. Des savoir-faire vont devenir obsolètes, d'autres vont devenir essentiels. Prenons l'analogie du chauffeur de taxi qui n'a plus besoin de connaître les rues pour exercer, grâce à son GPS, et dont la connaissance des rues devient de fait obsolète : il a besoin de réinventer des savoir-faire d'amabilité et d'accompagnement des clients.

La production en impression 3D va avoir des impacts similaires, mais à bien plus grande échelle. Elle va rendre obsolètes les compétences de nombreux métiers et exiger pour d'autres une forte montée vers de nouvelles compétences. L'opérateur d'une machine outil n'a rien à voir avec l'opérateur d'une imprimante 3D mais rien ne prouve qu'il ne puisse le devenir. Le designer d'objets prévus en grande série va devoir revoir la conception même des produits pour des séries plus courtes, plus adaptés à des segments très différenciés de consommateurs, etc.

Comment s'y préparer ?

L'arrivée de cette révolution technologique nécessite de nombreuses adaptations, au cœur de la plupart des rapports actuellement présentés que ce soit aux gouvernements ou aux entreprises, et qui vont de la révision des contenus pédagogiques – dans tout le système éducatif, y compris et surtout dans la formation permanente –, de la collaboration transversale entre technologies, à la révision des business modèles et à des plans divers de dynamisation de filières industrielles.

Pour les entreprises, la priorité est de comprendre sur quels éléments de l'écosystème cet ensemble de technologies va jouer, comment il va jouer, quels bouleversements économiques il va apporter, quels nouveaux talents il faut attirer dès maintenant, comment il faut modifier la structure actuelle de talents et comment on peut la préparer, quelle valeur réelle il va permettre d'apporter aux clients, qu'est-ce qu'il va exiger de nouveau de la part des fournisseurs, etc. En bref, comment revoir la composition de la force de travail, les nouvelles taxonomies de savoir-faire, les nouvelles mobilités impliquées, les nouvelles formes d'organisation du travail, etc. C'est au fond tout le management de l'entreprise qui va devoir s'adapter.

C'est une vraie question de stratégie, demandant une implication de tous les membres des comités de direction. Celle-ci commence par la compréhension de la taille des enjeux et une analyse prospective en profondeur et en détails de leurs impacts sur toutes les dimensions de l'entreprise. Elle s'inscrit dans l'ensemble des modifications du management des entreprises liées à la révolution digitale mais descend plus profondément encore dans les rouages de la production en contribuant à sa digitalisation.

PARTIE 4

IMPACTS SECTORIELS : DU CONSTAT À L'ANTICIPATION

L'aéronautique et l'espace sont des secteurs qui utilisent tous les matériaux et toutes les technologies : les technologies de fabrication additive (FA) peuvent présenter une réelle opportunité pour ce secteur puisque les besoins sont en général pour des petites ou de moyennes séries, avec des pièces très différentes, et des matériels qui sont exploités très longtemps : la supply-chain de pièces détachées sur des matériels dont la fabrication a été arrêtée depuis longtemps (parfois il y a 20 ou 30 ans) est probablement un des axes de développement de la FA. La réalisation de pièces multifonctionnelles à très haute valeur ajoutée un autre.

Ce secteur qui nécessite beaucoup d'investissement est également l'objet de mutations rapides. Le spatial américain qui était moribond depuis une décennie voit ses modèles changer, avec l'apparition de jeunes sociétés bousculant le domaine des lanceurs spatiaux (Space X) ou voulant lancer des constellations de milliers de satellites pour couvrir les besoins exponentiels de couverture mondiale d'internet et des réseaux : il est trop tôt pour mesurer si les modèles économiques de ces sociétés sont viables, mais il est certain que ces sociétés doivent bénéficier à la fois de transfert de savoir-faire de la part de la Nasa et de l'utilisation de la fabrication additive pour la mise au point de prototypes, ce qui réduit considérablement les temps nécessaires au développement de projets.

Témoignage de Christian Désagulier, Airbus Espace :

« L'ALM (Additive Layer Manufacturing) appelé dans le grand public "Impression 3D" (3D printing), est une famille de procédés de fabrication mécanique fondée sur des méthodes additives. A base de matériaux métalliques ou plastiques, ces procédés se présentent sous forme de poudre ou de fil fondus, soudés, couche à couche, suivant la trajectoire CAO (Conception Assistée par Ordinateur) au moyen chauffant d'un faisceau laser ou d'électrons, d'un arc électrique ou d'une résistance électrique dans le cas du thermoplastique.

Ils sont complémentaires des procédés conventionnels dits soustractifs, où il s'agit, à partir d'un bloc de métal (d'une ébauche) d'éliminer la matière excédentaire à l'aide d'un ou d'une succession d'outils de coupe pilotés suivant la trajectoire issue d'un programme de commande numérique transcrit à partir de la CAO de la pièce.

La quantité de matériaux mis en œuvre est ainsi limitée au volume de la pièce fonctionnelle, notamment dans le cas de pièces complexes et très ouvragées où l'usinage classique demande un retrait de matière à partir d'un bloc qui peut aller jusqu'à plus de 90% sur les pièces mécaniques d'équipement de Satellite. Et conséquences de cela : plus la pièce aura été optimisée en masse lors de sa conception, moindre sera la quantité de matériau mis en œuvre et donc plus rapide sera sa fabrication permettant d'atteindre cet optimum économique qui permet dès à présent de réduire les coûts de fabrication d'un facteur 2 à 10.

La quantité d'énergie mise en œuvre étant à proportion de la quantité de matière nécessaire à la fabrication de la pièce, le bilan énergétique global est par conséquent inférieur à celui des procédés d'usinage classique à partir d'un bloc de métal, production par atomisation de la quantité de poudre nécessaire et suffisante pour incluse, sans copeaux ni huiles de coupe qui ajoute un surcoût énergétique et de recyclage.

A cet égard, les procédés ALM sont identifiés par l'ESA (European Space Agency) au titre de l'initiative Clean Space en tant que Green Technologies capables de réduire l'impact environnemental de l'industrie spatiale.

Du fait de l'aptitude à maîtriser la trajectoire de la source de chaleur suivant un fichier directement issu d'une CAO, les degrés de liberté de réalisation et donc de conception ALM sont augmentés par rapport aux capacités de mouvements d'outils de coupe, de sorte que la forme de la pièce peut être optimisée (1) techniquement en direction d'un allègement, la masse étant l'ennemie dans le secteur spatial, et (2) économiquement, l'objet de la recherche optimum de l'industriel, l'allègement technico-économique et écologique sera obtenu par optimisation topologique suivant les principes d'un bio-mimétisme bien compris.

Avec la mise à disposition sur le marché de machines de fabrication additive fiables, l'atelier de fabrication peut se doter de nouveaux moyens de production qui ne remplaceront pas totalement les centres d'usinage à Commande Numérique (CN), des retouches de finition aux interfaces étant toujours nécessaires.

Il n'a pas échappé à l'industrie spatiale que ces moyens de production améliorés où la conception a la part du lion, lui étaient dédiés : pièces uniques ou petites séries dont les allègements additionnés des pièces structurales sont autant d'augmentation de la masse de charge utile et donc de performance de ses Satellites de Télécommunication ou d'Observation spatiale, outre les gains de coûts de réalisation ».

Témoignage de Didier Kayat, directeur général délégué de Daher :

« Daher s'intéresse tout particulièrement à la fabrication additive dans les trois champs de son activité liés à l'aéronautique: constructeur d'avions, aérostructures et systèmes, logistique et services. Les enjeux identifiés vont en effet y devenir très importants s'agissant notamment de la supply chain en général ainsi que de l'évolution du besoin en fonds de roulement. Plus globalement, Daher est d'autant plus sensible aux évolutions induites par la fabrication additive que la convergence entre industrie et services est inhérente à son identité stratégique. Tout en développant activement sa propre expertise et ses propres expérimentations en lab, Daher a dans ce contexte privilégié la voie partenariale, au travers de coopérations avec l'IRT Jules Verne et le pôle de compétitivité EMC2, ainsi que de divers travaux au sein du GIFAS. Au-delà de la réalisation de pièces, Daher a engagé une réflexion approfondie sur la chaîne de valeur et les modèles économiques, notamment sur les aspects logistiques en amont (où localiser au mieux la production d'un certain nombre de pièces, etc.?), cette problématique se retrouvant symétriquement en aval sur des aspects de maintenance et de services ».

A. LA QUESTION DES MATÉRIAUX

1. Matériaux thermoplastiques

Beaucoup de matériaux thermoplastiques sont utilisés dans les actions de prototypage, ou encore pour de nombreux éléments avec des contraintes mécaniques limitées.

Pour les pièces qui sont en utilisation réelle, le cahier des charges notamment anti-incendie restreint les matériaux thermoplastiques éligibles. Mais de nombreuses pièces en matériaux plastiques ignifugés sont aujourd'hui validées pour voler dans différents avions commerciaux et militaires.

Témoignage de Christian Désagulier, Airbus Espace :

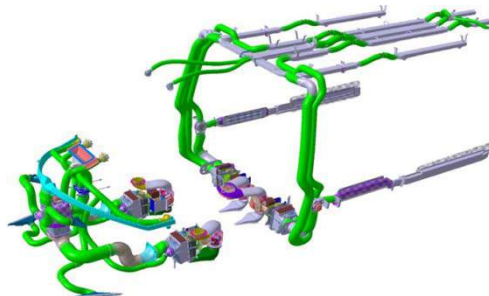
« S'il est assez facile techniquement de faire fondre du PLA (poly-lactique-acide), de l'ABS, voire du Polycarbonate, ce que propose la majorité des imprimantes 3D, il l'est beaucoup moins pour ce qui concerne le Nylon et encore moins pour les fils de thermoplastique haute-température de PEEK et de PEI ULTEM, ces deux derniers étant ceux compatibles d'utilisation spatiale.

A ce jour, seule la société Stratasys propose des machines pour le PEEK et de l'ULTEM, c'est ce qui explique les coûts de leurs cartouches (600 €/kg à quoi il faut ajouter les coûts de mise en œuvre). Par comparaison, le coût de de l'aluminium 2024 est de 8€/kg.

Un constructeur coréen proposerait une imprimante 3D capable d'imprimer de l'ULTEM à partir de bobines (et non de cartouches type Stratasys), ce qui devrait diviser par 10 le coût de l'ULTEM et permettre d'envisager sérieusement son utilisation (à titre de comparaison : cartouche ABS Stratasys 300 €/kg, prix au kg en bobine 30 €/kg).

Il y a donc une niche pour ce type de machine à destination de l'industrie aéronautique et spatiale ».

Exemple d'application : circuit de refroidissement d'air d'un aéronef chez Airbus



Source : Airbus

En gris, les pièces pouvant potentiellement être réalisées en fabrication additive : en fonction de l'analyse économique, quelques pièces seront fabriquées en AM.

Historiquement, dans l'aéronautique, les éléments de ventilation ou de circuit d'air sont ceux qui ont été fabriqués en premier... Airbus (plusieurs aéronefs), Dassault Aviation (ses Falcon), Boeing (le 787) par exemple.

Acteur majeur et mondial des produits chimiques de spécialité, Arkema est présent dans le domaine de la Fabrication Additive depuis plus de dix ans à travers l'approvisionnement de poudres polyamide, de résines photo polymérisables et de matériaux polymères de très haute performance.

Témoignage d'Ilias Iliopoulos, Arkema, direction de la recherche et du développement :

« Ces dernières années, des innovations en terme de R&D ont permis de commercialiser trois nouvelles poudres de polyamide spécialement conçues pour la technologie Laser Sintering (LS : frittage laser ou powder bed fusion). Une poudre de polyamide 12, permet d'obtenir une qualité de surface des pièces frittées inégalée, tout en permettant une recyclabilité élevée de la poudre non frittée. Deux autres poudres, Rilsan®, apportent les propriétés du polyamide 11 : flexibilité et résistance au choc. Les poudres fines sont fabriquées à partir de l'huile de ricin, ce qui en fait des polymères 100% d'origine renouvelable. La coloration en masse de l'une d'elles permet d'obtenir une couleur noire intense directement en sortie de machine. Enfin, depuis 2014, la deuxième est utilisable dans le domaine du médical grâce à son homologation USP Class VI. Toujours attentif et réactif aux besoins des acteurs du marché, Arkema conduit actuellement plusieurs projets R&D afin de commercialiser de nouvelles poudres LS, par exemple des poudres ignifugées très demandées par le secteur aéronautique.

Dans le domaine de matériaux de très hautes performances Arkema propose sa gamme Kepstan® un PolyEtherKetone (PEKK) dont la température d'usage peut aller jusqu'à 250-260°C et sa structure chimique lui confère une excellente résistance au feu et aux agents chimiques. Un avantage majeur du PEKK par rapport aux autres produits de la famille des PolyArylEtherKetones est sa polyvalence de mise en œuvre, et la possibilité de contrôler finement sa cristallisation. Le PEKK est utilisable dans des procédés par voie fondue très variés, à partir de granulés naturels, de granulés chargés ou de poudres. En particulier les poudres PEKK peuvent être utilisées dans les procédés de frittage laser pour la conception ou la fabrication de pièces dans les secteurs de haute technologie : aéronautique, prospection et exploitation pétrolière, équipements et machines industrielles. Arkema développe actuellement de poudres PEKK pour le frittage laser.

Par ailleurs Arkema, via sa filiale Sartomer, est l'un des principaux producteurs au monde de résines acryliques pour la photo-polymérisation (UV curing) et propose de nouvelles solutions sans solvant adaptées aux technologies de la fabrication additive (stéréolithographie, jet de matière, etc.). Ces matériaux permettent une grande liberté de design et une excellente qualité de finition.

Grâce à une R&D très innovante, une présence aux salons dédiés à la Fabrication Additive et une participation active aux travaux de normalisation, Arkema se place très clairement comme un acteur majeur de ce marché en plein essor. »

2. Matériaux métalliques

Plusieurs technologies dédiées à la fabrication additive de pièces métalliques sont disponibles. Les produits d'apport utilisés sont généralement de la poudre, parfois du fil. La source de chaleur utilisée pour fondre le produit d'apport est dans la grande majorité des cas un laser ou un faisceau d'électrons. Parmi toutes ces technologies, le procédé SLM (Selective Layer Melting – laser/lit de poudre) est le plus prisé car malgré sa faible productivité, il permet aisément de réaliser des pièces extrêmement complexes, y compris des structures dites « lattice », avec des fonctionnalités telles que des canaux de refroidissement et un bon état de surface proche de celui des pièces de fonderie. Du fait de la complexité des pièces ainsi obtenues, les moyens conventionnels de CND (Contrôle Non-Destructif) sont peu adaptés à la détection de défauts tels que des porosités ou des fissures. La tomographie à rayons X devient dans ce cas un outil très intéressant voire indispensable.

Témoignage de Fabrice Scandella, département Matériaux/Procédés, Institut¹⁶⁷ de Soudure :

Au sujet des technologies de fabrication additive pour pièces métalliques :

« La fabrication additive devient un moyen incontournable en prototypage et en fabrication dès lors que la complexité d'une pièce rend sa réalisation difficile et coûteuse avec des moyens traditionnels de fabrication. Elle est sur le point de devenir un moyen de production majeur dans le secteur aéronautique, notamment chez les motoristes. Pour autant, il serait déraisonnable de penser qu'elle va supplanter les autres moyens de production telles que l'usinage, la fonderie ou encore la forge ou le mécano-soudage.

L'usinage demeure indispensable même pour les pièces obtenues par fabrication additive, dont les surfaces fonctionnelles doivent impérativement être usinées, notamment si elles sont en contact avec d'autres pièces. Par ailleurs, contrairement à la fonderie, la métallurgie en fabrication additive est celle du soudage : les alliages non soudables ne peuvent être mis en œuvre en fabrication additive. De même, les pièces ou structures volumineuses ne seront pas obtenues par fabrication additive. Au-delà du simple problème de capacité de machine, le temps et le coût de fabrication deviennent déraisonnables. La fabrication additive métallique devrait donc plutôt être vue comme un moyen complémentaire et moderne de fabrication permettant de réaliser des économies substantielles de matière première.

Parmi les grands verrous à lever en fabrication additive métallique, on peut notamment citer le développement d'outils informatiques de simulation des déformations des pièces, l'amélioration de l'état de surface des pièces et de la productivité des procédés.

Outre les technologies dédiées à la fabrication additive, des procédés de soudage ou de rechargement ont été détournés de leurs domaines d'applications usuels pour réaliser des pièces métalliques en "fabrication directe"».

Analyse des technologies de fabrication additive arc-fil pour pièces métalliques :

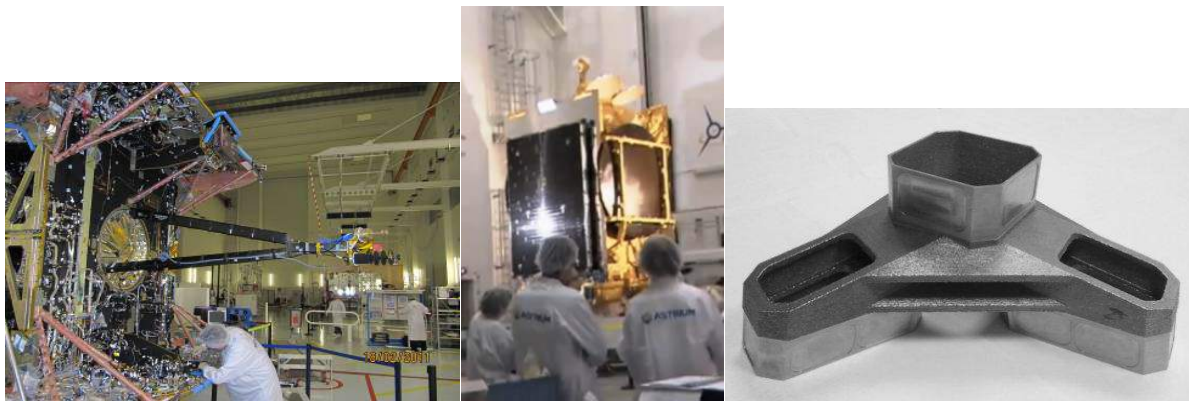
« Des procédés de soudage à l'arc, essentiellement TIG (Tungsten Inert Gas) et MIG-MAG (Metal Inert Gas – Metal Active Gas), peuvent être mis en œuvre pour réaliser des pièces métalliques par fabrication additive. De manière générale, le critère principal à prendre en compte est l'apport de chaleur du procédé : s'il est excessif, la pièce s'échauffera progressivement en cours de fabrication, ce qui peut conduire à des effondrements de bain.

Les procédés arc-fil présentent un certain nombre d'avantages en comparaison avec les technologies dédiées à la fabrication additive. Les produits d'apport utilisés étant des fils de soudage ou de rechargement, l'offre est extrêmement large, avec notamment des produits déjà qualifiés pour le soudage dans les grands secteurs industriels. Par ailleurs, les contraintes liées à la mise en œuvre de poudres métalliques (aspects HSE, recyclage de particules non fusionnées, nettoyage de la machine) ne se posent pas. De ce fait, il est beaucoup plus simple de réaliser des pièces constituées de différents matériaux métalliques pour optimiser leurs performances, sous réserve de la compatibilité métallurgique des produits d'apport. Les équipements sont ceux utilisés en soudage ou en rechargement (avec un robot ou une machine à commande numérique), auxquels il convient d'associer une interface logicielle permettant de programmer de façon automatique les trajectoires de déplacement et de dépôt de matière. Du fait des vitesses et des taux de dépôt atteignables, la productivité des procédés arc-fil est largement supérieure à celle des technologies dédiées à la fabrication additive de pièces.

Les procédés arc-fil ne peuvent cependant se substituer aux procédés dédiés à la fabrication additive utilisant de la poudre : les épaisseurs de paroi des pièces sont bien plus importantes et les tolérances dimensionnelles moins bonnes. De même, la fonctionnalisation des pièces est limitée. Les procédés arc-fil sont par conséquent plutôt destinés à réaliser des pièces de « grandes » dimensions et de morphologie relativement simple, en substitution à l'usinage dans la masse. »

Les laboratoires des industriels du Secteur Spatial étaient sur le pont depuis près de 10 ans et voici que le niveau de maturité technologique permet leur introduction applicative. Dans le domaine des technologies de fabrication additive, Airbus Defence and Space peut se prévaloir d'être parmi les premiers sinon le premier fabricant de Satellites à avoir mis en orbite géostationnaire une pièce de fixation en alliage de Titane – avec des sollicitations mécaniques - sur le satellite de télécommunication ATLANTIC BIRD 7 en 2011.

¹⁶⁷ L'Institut de Soudure est reconnu par les autorités publiques comme un centre technique industriel du soudage, des assemblages et des contrôles associés.



Pièce d'interface support d'équipement satellite en Ti conçue et réalisée par AIRBUS Defense and Space pour le satellite ATLANTIC BIRD 7 mis en orbite en octobre 2011.

Le Lanceur ARIANE 6 bénéficiera bientôt de ces optimisations de conception et le futur lanceur verra leur introduction systématisée autant que possible à tous les étages. Lors d'un séminaire de lancement en février 2015 réunissant les équipes Airbus et Safran dédiées au nouveau projet Ariane 6 (dont le premier tir est prévu pour 2020), le Chief Technology Officer du projet Hervé Gilbert a positionné ces nouveaux procédés comme des points-clé pour adresser les défis techniques du nouveau lanceur : « La bonne question est peut-être moins de savoir ce que nous ferons en fabrication additive que de décider de ce qui ne sera pas fait en fabrication additive sur Ariane 6 ».

Un programme comme Ariane 6 qui est conçu pour utiliser une dizaine de lanceurs par an n'est pas figé, des évolutions modulaires peuvent avoir lieu au cours de la vie du programme, et certaines pièces peuvent évoluer dans leur conception et leur fabrication si cela est techniquement ou économiquement intéressant. La fabrication additive peut être utilisée dans la phase de prototypage, et éventuellement en phase de production dans une phase d'évolution du programme.

Plusieurs groupes industriels Safran, Airbus, Dassault Aviation ont testé et utilisé ces procédés depuis plus d'une décennie à des fins de prototypage, ou de test avec essais en vol. Plusieurs choses sont importantes : « Le procédé, le contrôle pendant le procédé de fabrication, le refroidissement et les traitements (notamment thermiques) post-production sont essentiels pour assurer la qualité nécessaire de la pièce ainsi produite : état de surface, relaxation des contraintes, traitement de détentionnement¹⁶⁸, tribofinitions¹⁶⁹, etc. Toutes les étapes du procédé doivent assurer élasticité, résistance, conformité aux lois de flexion, aux déformations spécifiées suivant les efforts que peut subir la pièce dans son utilisation... ».

Le champ des développements possibles devient exponentiel et les nouvelles machines qui arrivent ou vont arriver sur le marché - des constructeurs allemands (comme EOS, Concept Laser, Realizer, SLM Solutions), anglais (Renishaw), suédois (Arcam) ou français (BeAM, Phenix, filiale aujourd'hui de 3D Systems, ou Fives/Michelin, voir l'annexe 11), cette liste n'étant pas exhaustive - sont autant d'opportunités de rechercher des optimisations techniques et de coûts. Tous les programmes vont être progressivement concernés.

¹⁶⁸ Traitement thermique destiné à diminuer les tensions internes sans modifier sensiblement la structure (température inférieure ou égale aux températures de revenu). Source : http://www.thyssenfrance.com/glossaire_FR.asp?key=S&glossary_id=79

¹⁶⁹ Le polissage mécano-chimique ou **tribofinition** ou encore **trovalisation** est un procédé qui consiste à ébavurer et polir la surface de pièces métalliques ou autres. Source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Tribofinition>

Témoignage de SAFRAN : Jean-Paul Louis, Directeur Industriel groupe

« L'expérience du groupe en fabrication additive remonte à plus de dix ans. Ce qui est important, c'est de maîtriser l'ensemble des éléments qui permettent la fabrication des pièces avec une optimisation et une assurance-qualité sans faille. Une multitude de facteurs rentrent en compte, mais parmi les plus importants, on peut citer le matériau et la qualité de la poudre qui est utilisée et qui peut être déterminée par l'industriel, et même brevetée. C'est le cas par exemple pour l'alliage monocristallin AM1 utilisé pour des pièces en fonderie classique et couvert par un brevet SAFRAN. Par des échanges avec des chercheurs universitaires, nous avons pu identifier que certaines impuretés dans un superalliage (de type Hastelloy) permettaient d'obtenir des qualités de réalisation de pièces par l'additive manufacturing qui n'étaient pas obtenues autrement. D'autres facteurs peuvent rentrer en ligne de compte pendant le process, le balayage du ou des faisceaux – ce qui peut influencer sur le refroidissement, la tâche et l'énergie du laser, et bien entendu les post-traitements. Il s'agit donc de véritables barrières à l'entrée.

Ces nouvelles technologies sont disruptives, et complémentaires de nos modes de production :

- En 1^{er} lieu la rapidité : il faut moins d'une semaine pour réaliser une pièce finie à partir d'un fichier 3D, ce qui, dans le cas de pièce type fonderie, réduit les cycles de développement d'au moins 8 semaines.
- Le procédé a une très grande souplesse, permettant de passer d'une fabrication de pièce à une autre par simple changement de programme, ce qui est appréciable en fabrication à faible cadence (rechanges, début de série,...) et pour des productions à l'unité de pièces d'essais.
- Les caractéristiques mécaniques obtenues pour de l'INCO 718 sont supérieures à celles des pièces de fonderie ce qui permet des applications série de pièces actuellement taillées masse ou corroyées.
- D'autre part, l'additivité du procédé permet d'intégrer directement sur la pièce, des fonctions qui étaient auparavant ajoutées par assemblage ou brasage. Par exemple : un tube capteur pression, un injecteur... ».

DISTRIBUTEUR DE TURBINE AVEC INSTRUMENTATION INTÉGRÉE



Source : Safran

« Revenons sur la conception des pièces. On va pouvoir les concevoir autrement, avoir beaucoup plus de liberté géométrique, élaborer des maillages qui suivront le champ de contraintes, ou déposer de la matière en continu s'il faut respecter par exemple une étanchéité, ou encore des renforcements là et seulement là où les calculs d'effort sur la structure – en fonction des matériaux qui en additive manufacturing sont anisotropes – l'exigent.

La moindre erreur dans le pilotage et la conduite du process peut engendrer des malformations, des fissures, et seule la complète maîtrise des paramètres-clé permet la réalisation de pièces avec une assurance-qualité qui égale déjà les procédés plus classiques de forge.

Il peut y avoir des problèmes d'anisotropie : Dans le sens le moins favorable, on aura des caractéristiques inférieures en termes de performances requises par rapport aux autres axes, mais ces performances peuvent rester acceptables.

Les calculs sur les efforts doivent permettre de ne déposer de la matière que là où elle est nécessaire fonctionnellement, en limitant le plus possible ce dépôt de matière avec un double objectif :

- le gain de poids, donc de consommation de carburant ;
- l'économie d'une matière qui est extrêmement coûteuse (en mode de fabrication classique peut engendrer 95% de déchets par rapport à la matière utilisée au départ). »

Safran a réalisé en technologie lit de poudre métallique dans le passé plus d'un millier de pièces de moteur (surtout en rechange, plutôt pour des pièces peu couramment produites – donc à faible taux de remplacement - de vieux moteurs.

Safran vient d'annoncer chez Turbomeca la production de pièces de série pour ses prochains moteurs, suivant une annonce faite quelques mois plus tôt par General Electric sur le moteur Leap : il y a plus d'un an, Safran avait également communiqué, en janvier 2014, sur la réalisation en fabrication additive des secteurs du premier étage du redresseur de son nouveau moteur Silvercrest destiné à l'aviation d'affaire, Safran espère produire entre 1500 et 2000 de ces pièces chaque année. Chez les deux motoristes, ce sont donc plusieurs milliers d'exemplaires de pièces de série de moteur neuf qui seront ainsi fabriquées par an chaque année par ces technologies de fabrication additive.

La fabrication additive permet également de simplifier le processus de fabrication. Un injecteur de carburant classique est constitué d'une douzaine de pièces différentes. Celui du moteur Arrano est constitué d'une seule pièce et se distingue par des fonctions de refroidissement et d'injection avancées, avec des performances fonctionnelles qui ne pouvaient être atteintes que si cette pièce était réalisée en fabrication additive (autrement dit, une production par toute autre technique - réaliser les éléments constitutifs, les assembler et/ou les souder ensemble - aurait dégradé les performances du moteur). L'injecteur de l'Arrano est réalisé par couches successives, ayant chacune une épaisseur comprises entre 20 et 100 micromètres.



Source : Safran - http://www.safran-group.com/fr/media/20150109_turbomeca-introduit-la-fabrication-additive-dans-la-fabrication-de-ses-moteurs

Témoignage de Jacques Brochet, Safran, Responsable fabrication additive Groupe

Les pièces de Turboméca fabriquées en FA sont des pièces qui ne seraient pas fabricables autrement que par ces procédés. Assemblage de plusieurs pièces en fabrication classique, les soudures qui seraient réalisées ne permettent pas d'atteindre les performances requises pour le fonctionnement des moteurs.

La fabrication additive introduit un tout nouveau mode de conception : il faut s'affranchir du papier, concevoir directement et uniquement avec des outils numériques en 3 dimensions, c'est une révolution dans la façon de travailler. Cela introduit une nouvelle façon de concevoir, totalement orientée dans le sens de la fabrication. Les dessins en deux dimensions ont disparu.

Nous venons d'ouvrir un centre dédié à « l'additive manufacturing » qui est fait pour accélérer le développement de ces technologies dans le groupe Safran.

De son côté, la société américaine General Electric (GE) a annoncé en novembre 2014 qu'elle investira 32 M\$ dans une unité toute nouvelle de fabrication additive en Pennsylvanie. GE compte y fabriquer en série des injecteurs pour le futur moteur Leap de CFM International, une joint venture à 50/50 avec Safran. Chaque moteur Leap compte 20 injecteurs, chacun de ses injecteurs étant réalisé d'une seule pièce alors qu'ils étaient dans la génération précédente constitués d'un assemblage complexe de près de 20 composants distincts, dorénavant réunis en un seul et même bloc plus léger. Le procédé a également permis l'intégration d'un circuit de refroidissement interne réduisant le phénomène de pyrolyse du carburant, qui dégrade les performances des injecteurs avec le temps. GE estime que d'ici à 2020, il aura déjà produit plus de 100 000 pièces de moteurs d'avions en fabrication additive pour le Leap et le GE9X (le moteur du futur 777X).



Source : CFM International

Pour Dan Heintzelman, Vice Chairman de GE, « cet assemblage en une seule pièce assurera au moteur une plus grande durabilité, contribuera à alléger le poids et à optimiser la consommation de fuel ».

Au niveau des avions civils, constatons que le groupe Airbus s'est doté¹⁷⁰ de 3 responsables « fabrication additive » à Hambourg, Bristol et Toulouse. Cependant, les machines de production en FA sont situées (à fin 2014) en Allemagne et au Royaume-Uni, et les activités recherche sont surtout concentrées à Bristol – semble-t-il parce que les investissements dans ces machines ont pu faire l'objet d'aides publiques - même si les unités qui les opèrent travaillent avec EADS IW (Innovation Works) basé à Paris et en Allemagne. Cette situation, si elle devait perdurer dans un groupe aussi important qu'Airbus group (ex EADS) est clairement dommageable à la capacité d'innovation nationale en matière aéronautique, spatiale, et de défense, ainsi qu'à tout le réseau de sous-traitants (ce réseau est très international, mais les PME françaises sont pour des raisons de proximité plus en relation avec les donneurs d'ordre du groupe situés en France qu'en Allemagne ou en Royaume-Uni).

**Témoignage de Peter Sanders,
Responsable des techniques de fabrication additive (FA), chez Airbus
Hambourg au Salon Euromold de Francfort en novembre 2014**

« Chez Airbus, plusieurs centaines de pièces ont été fabriquées en FA dans le groupe. Parmi elles, des supports métalliques pour câbles électriques volent déjà sur l'avion MSN 002, le deuxième prototype de l'A350-900 ».

« Nous sommes parvenus à des pièces ayant des propriétés mécaniques équivalentes à celles des pièces forgées et usinées, et qui peuvent soutenir une masse de 27 tonnes », précise l'ingénieur allemand. Plus tard, ce sera l'A350-1000 qui sera doté de charnières de porte ainsi fabriquées. Des pièces installées sur les avions d'essai et qui devraient également prendre place sur les avions de série.

« L'impression 3D a un énorme potentiel pour les pièces dont la fabrication par usinage produit habituellement beaucoup de copeaux¹⁷¹. Cela permet également d'envisager des pièces d'une géométrie bien plus complexe, qui sont plus inspirées du monde du vivant », poursuit Peter Sanders en illustrant son propos par des photos de maillages naturels d'ailes de libellules ou de végétaux aquatiques, par exemple.

Pour l'heure, le constructeur dispose de machines dans son usine de Hambourg. Maîtrisant ce procédé de fabrication avec l'acier et le titane (type Ti 6-4), le constructeur estime que d'ici à 2016 il pourra fabriquer des pièces en aluminium avec l'impression 3D. « Grâce à la fusion laser, on peut envisager des réductions de masse de 25 à 55% selon le type de pièces », précise-t-il.

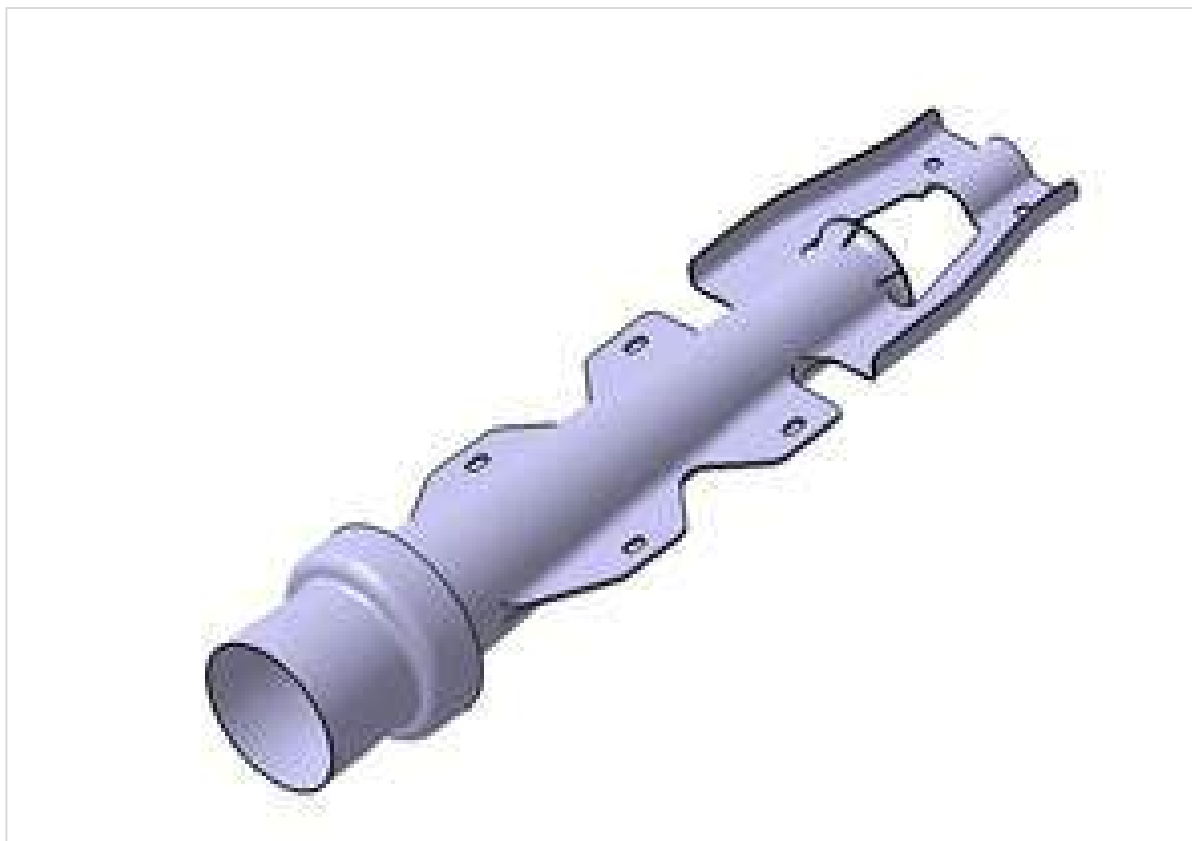
Airbus, mais aussi Eurocopter utilisent déjà des pièces imprimées en 3D, qu'elles soient en polymère ou en métal.

A titre d'exemple, voici un injecteur d'air demandé par le bureau d'étude d'Airbus Hélicopters. Cette pièce a été réalisée en aluminium AS7G06, dans une machine XLine de Polyshape. Cette pièce « imprimée » d'un seul tenant permet la suppression d'une dizaine de soudures, de formages de tôle ou de percements, chacun de ces usinages pouvant évidemment entraîner des fragilités dans la pièce ainsi réalisée.

¹⁷⁰ Cette organisation était celle de fin 2014 et a pu évoluer depuis.

¹⁷¹ Cette constatation a été un des points soulignés lors de la visite du site industriel de MBDA à Bourges, où certaines pièces peuvent aller jusqu'à 90% de mise en copeaux de bloc de titane dont elles sont issues : le gain matière est donc considérable, il doit être mis en regard avec le coût des poudres (très onéreux jusqu'à présent) et des machines de production additive dont le prix, en référence à d'autres types de machines-outils, reste très élevé.

MODÈLE CAO D'UN INJECTEUR D'AIR FABRIQUÉ PAR FABRICATION ADDITIVE



Source : Airbus Helicopters

Bien d'autres industriels ont commencé à comparer pour certaines de leurs pièces les gains possibles par la fabrication additive. Ils ont investi dans une petite équipe dédiée et ont réalisé des prototypes sur des pièces bien identifiées par leur complexité ou le gain en matière que pourrait représenter la fabrication en FA. On peut citer par exemple Zodiac Aerospace ou MBDA.

Hormis Safran qui a intégré des machines de fabrication additive depuis près de dix ans et qui en détient aujourd'hui plus d'une dizaine, et plus récemment Airbus, la majorité des industriels de ce secteur ont pour le moment préféré sous-traiter chez des sociétés dédiées la fabrication de leurs pièces, ou acheter du temps-machine en commun (au CETIM, par exemple).

Protocast, petite société de la périphérie de Novara, a été récemment acquise par la société aéronautique Avio. A l'origine, Protocast était une entreprise d'équipements biomédicaux. Du dentier aux petites prothèses, la société a commencé à réaliser ses produits avec un système similaire à l'impression 3D. Sur un lit de poudre de métal, un faisceau d'électrons dessine la forme de la pièce à réaliser en fondant uniquement la zone définie par ordinateur. Ensuite, la machine recouvre le lit avec une nouvelle couche de poudre et le processus recommence. Chaque couche a une épaisseur de 40 microns : des milliers de passages sont nécessaires jusqu'à l'obtention de la pièce complète. Le processus prend moins de deux jours.

Même les temps de production sont réduits de façon spectaculaire: le produit fini s'obtiendra non plus en quelques mois, mais en quelques semaines. Avio utilise dans ses établissements de Cameri, province de Novara, deux systèmes de production additive. Le DMLS (direct metal laser sintering) est très répandu et utilise comme outil un faisceau laser. La véritable innovation réside dans le second système, l'EBM (Electron beam melting) qui utilise comme outil un faisceau d'électrons pour fondre les poudres métalliques d'aluminure de titane (TiAl). La production se fait dans des machines produites par une société suédoise, Arcam. L'aluminure de titane a la particularité de réduire de 50% le poids du produit fini par rapport au système traditionnel de cuisson. C'est une caractéristique essentielle. Dans l'aviation, il existe un protocole similaire à celui de l'Europe qui exige la réduction des émissions de CO₂ pour les voitures. Le Flight Pact a imposé aux fabricants d'avions une réduction de 75% des émissions de dioxyde de carbone d'ici 2050. Une réduction considérable que l'industrie aéronautique

s'efforce d'atteindre aussi bien par l'utilisation de combustibles innovants, que par la réduction du poids des avions. C'est pour cette raison que réduire de moitié le poids d'une aube de turbine est une étape très importante.

Les aubes produites à Cameri équiperont les moteurs de General Electric montés sur la nouvelle génération de Boeing Dreamliner qui sera produite d'ici cinq ans.

D'autres procédés de fabrication additive en matériaux métalliques

Il existe bien d'autres procédés de fabrication additive en matériaux métalliques. L'un des autres procédés qui paraît très intéressant pour des applications très innovantes dans le domaine médical, mais également spatial est le procédé WAAM – dépôt de fil – notamment développé par l'université de Cranfield au Royaume-Uni. Il est donc particulièrement recommandé de favoriser des travaux académiques sur le sol français par un centre de recherche (public, universitaire ?) en relation étroite avec les industries concernées dans ce domaine.

Les poudres métalliques

Les poudres métalliques ne peuvent être produites qu'à partir d'une tour d'atomisation. La plupart des fabricants de machines de fabrication additive en matériaux métalliques essaient également de fournir, voire d'imposer leur poudre. Ainsi, le suédois Arcam - le seul fabricant de machines au monde à maîtriser la technologie lit de poudre à faisceau d'électrons (sous vide) - a racheté le canadien AP&C pour 35 millions de dollars canadien, début 2014, afin de proposer leurs poudres en même temps que leurs machines. Cependant, la majorité des grands industriels préfèrent avoir le choix de leur filière d'approvisionnement et ne pas se faire imposer les poudres par les fabricants de machines, en prenant (ou en maîtrisant) ainsi le risque d'adaptation des poudres. La qualité des poudres est un paramètre important, leur aspect sphérique, leur pureté, leur densité, le fait que lors de la fusion les grains de poudres puissent ou non piéger des molécules de gaz, etc.

Quelques ordres de grandeur de la taille des grains de poudre :

- Pour la technologie lit de poudre à faisceau d'électrons, Arcam spécifie des grains de 45 à 50 microns.
- Pour la technologie lit de poudre à faisceau laser, il est courant d'avoir des grains de 30 à 45 microns, mais on peut aussi pour des applications spécifiques descendre à des diamètres en deçà de 30 microns.

La France dispose de plusieurs centres de recherche ou de production avec des tours d'atomisation. Citons, sans prétendre à l'exhaustivité du recensement des moyens, le laboratoire d'études et de recherche sur les matériaux à Montbéliard, l'ONERA en région parisienne. Au niveau industriel, le groupe Eramet, avec sa Branche Alliages, est un acteur déjà très présent dans les activités de production de poudre métallique. D'autres moyens de production sont en projet ou en développement par exemple dans l'est de la France ou dans la région de Bordeaux.

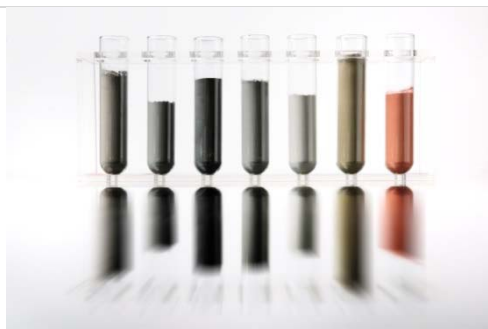
Témoignage d'Adeline Riou, Responsable Vente de poudres, Erasteel

« La Branche Alliages du Groupe Eramet, constituée par les deux sociétés Aubert&Duval et Erasteel dispose de la plus grande capacité mondiale de poudres atomisées au gaz, pour les technologies CIC ou HIP (Compaction Isostatique à chaud) mais également pour les différentes technologies de fabrication additive, par laser (LBM), faisceau d'électron (EBM) ou par projection de poudres (LMD). Elle dispose de trois sites de production de poudres métalliques, localisés en France, en Espagne et en Suède et de six unités de production de poudres. Les poudres d'aciers sont élaborées en Suède, les poudres de superalliages Ni ou Co le sont en France et en Espagne et les poudres d'alliages de Ti le sont en France. Les poudres fines d'alliages de Ti pour la fabrication additive sont en cours de développement en France.

En Espagne, pour la fabrication additive, les poudres sont élaborées sous vide puis atomisées à l'argon. Dans ce procédé (voir schéma), le jet de métal en fusion est atomisé en fines gouttelettes de métal à l'aide de jets de gaz haute pression. Lors de leur chute dans la tour d'atomisation, les gouttelettes de métal en fusion se sphéroïdisent et se solidifient en refroidissant. Puis, elles sont collectées au pied de la tour, avant d'être tamisées.

Notre procédé de fabrication est particulièrement adapté aux poudres de superalliages base nickel de grande pureté. Nous travaillons à l'optimisation des poudres pour les secteurs variés : aéronautique, spatial, turbines à gaz et compétition automobile notamment. En effet, la qualité des poudres métalliques est un point-clé pour la performance des pièces produites par fabrication additive. Nos clients industrialisent la technologie pour la production de pièces en série. Nous suivons donc de près la croissance du marché en travaillant en relation étroite avec nos clients pour répondre aux nouvelles exigences amenées par ces technologies nouvelles.

Les technologies de fabrication additive évoluant de manière très rapide, il est important de continuer à développer des poudres optimisées pour ces applications, à travers des travaux de recherche qui permettront de répondre aux besoins des utilisateurs dans différentes industries : aéronautique, énergie, automobile etc. »



Poudres métalliques Pearl® Micro d'Erasteel



Le procédé d'atomisation sous vide d'Erasteel

3. Les autres types de matériaux

L'industrie aéronautique défense espace utilise beaucoup d'autres matériaux et des applications de fabrication additive.

Citons les céramiques qui peuvent être utiles pour les parties chaudes des moteurs par exemple.

Autre exemple, les matériaux hyperfréquences : la recherche dans de nouvelles structures d'antennes (les formes permises par la fabrication additive permettent pour un pouvoir rayonnant équivalent de réduire l'encombrement). On peut ainsi chercher de nouvelles performances, par exemple, les antennes de transmissions sur un avion de ligne occupent une place significative et ces technologies devraient permettre de mieux répartir ces antennes et ainsi de libérer de la place pour des charges utiles : cela peut représenter un gain de plusieurs sièges sur un avion et un allègement significatif. Ces applications font donc également l'objet de beaucoup d'intérêt dans le domaine spatial.

B. LA CHAÎNE NUMÉRIQUE

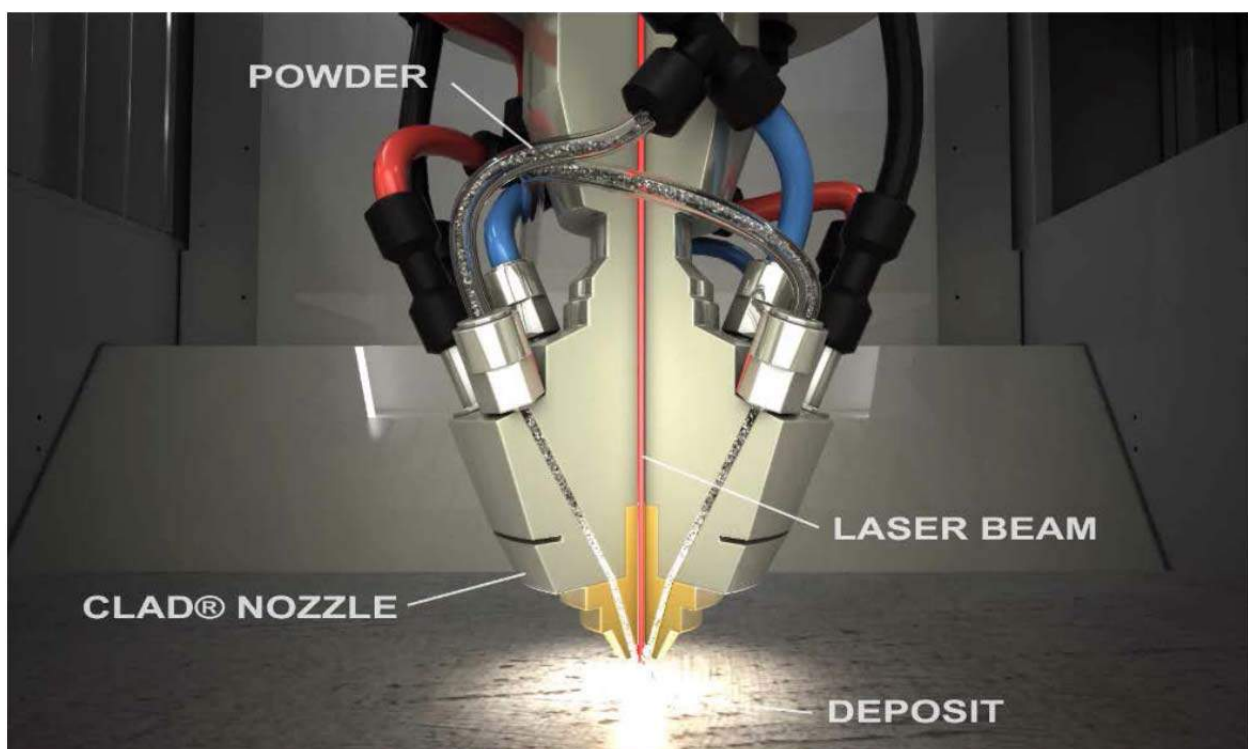
C'est un élément essentiel de la fabrication additive puisque l'on passe d'un code numérique à l'impression directe de l'objet dont l'ensemble des caractéristiques est documenté dans des fichiers numériques. Il est nécessaire de développer tous les outils de calculs et de simulation pour prévoir les caractéristiques et les objets produits ; cela dépend de chaque machine et chaque procédé utilisés dont il faudrait très finement comprendre la physique et la modéliser. Nous n'en sommes qu'au commencement de ces étapes de modélisation et nous renvoyons le lecteur aux points 2. c) et 5) des conclusions de la partie aéronautique. Signalons que les groupes Safran et Dassault Systems ont annoncé un partenariat stratégique sur la fabrication additive (juin 2015). C'est un premier pas pour débiter ces travaux titanesques de modélisation, bien d'autres accords industriels devraient suivre dans les prochains mois et seule la mise en commun des savoirs permettra à l'industrie française de figurer en bonne place dans la compétition mondiale qui s'ouvre sur la fabrication additive.

C. FOCUS SUR LA RÉPARATION

BeAM® est un constructeur français de machines de fabrication additive / 3D printing basées sur le procédé CLAD® : Construction Laser Additive Directe, marque déposée par BeAM, alors que la dénomination normalisée ISO/ASTM est DED (Directed Energy Deposition), l'une des 7 familles de FA.

BeAM est un des deux seuls fabricants de machines d'impression 3D français et un des deux seuls acteurs au monde maîtrisant ce procédé.

REPRÉSENTATION SCHEMATIQUE DU PROCÉDÉ CLAD



Source : IREPA LASER/ BeAM

Ce procédé permet de fabriquer et de reconstruire des pièces métalliques directement à partir d'un fichier CAO. Des poudres métalliques sont fondues par laser et déposées par couches successives avec une parfaite maîtrise des dimensions et de la qualité matière. Ce procédé permet aussi l'ajout de fonction. Il paraît particulièrement adapté aux marchés de la réparation de pièces mécaniques de haute valeur. (Rappelons que le marché de la maintenance aéronautique pèse 100 milliards d'euros, et que d'autres marchés sont probablement adressables comme la maintenance de navires, etc).

Pour la maintenance de moteur d'avions, BeAM® a mis au point la 1ère application mondiale qualifiée de fabrication additive au niveau de la turbine (haute criticité), ce qui est le premier procédé de fabrication additive à avoir été qualifié pour la réparation au niveau de moteur d'avion. BeAM revendique aujourd'hui :

- D'être toujours le seul au niveau mondial à ce niveau de criticité,
- 6 types de pièces réparées et qualifiées au catalogue de Pratt & Whitney,
- De nouvelles pièces en cours de qualification avec plusieurs acteurs de dimension mondiale,
- Plus de 700 pièces de turbines réparées et retournées en vol,
- 4 ventes machines en cours de finalisation (en mai 2015).

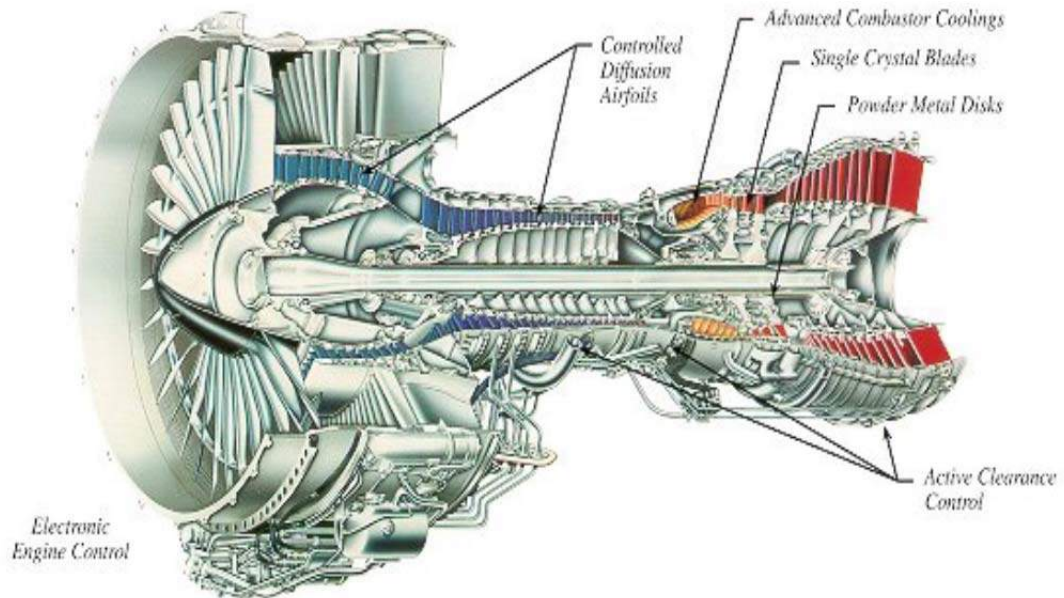
C'est la filiale française de l'industriel Chromalloy qui a qualifié auprès de Pratt & Whitney ces procédés de réparations potentiellement disruptifs pour le secteur (voir témoignage de M. Lionel Potron).

Témoignage d'Emmanuel Laubriat, Président Directeur Général de BeAM

« Alors que beaucoup d'industriels protègent leurs innovations, la société BeAM propose un modèle plus original. Développant un procédé « CLAD » qui n'est maîtrisé, au dire de l'un de ses premiers clients, Chromalloy, que par IREPA Laser / BeAM, propose un modèle original basé sur de « l'open innovation » permettant de faire passer à ses clients des savoir-faire particulièrement complexes concernant le paramétrage du travail d'un matériau. Ces savoir-faire concerneront la machine BeAM de façon à démontrer ses possibilités, la société propose de réaliser des pièces de démonstration à l'intérieur de ses locaux industriels. Les résultats qui concernent la machine acquis au cours de ces développements restent chez BeAM et nourrissent sa base de données qui permet d'accélérer la mise en œuvre de sa machine auprès d'autres clients, ce qui concerne les process, les outillages des pièces fabriquées demeurent un secret industriel qui n'appartient qu'à celui qui les a commandées. Ainsi, la réalisation des premières pièces – cela peut demander 6 à 18 mois – est accélérée et BeAM conserve son savoir-faire propre sur les matériaux et sa machine.

Par exemple, pour l'IN 713 (Inconel, un matériau très dur, impossible à souder), BeAM pourra aider ses futurs clients à travailler de nouvelles pièces ou des ajouts de fonction en leur apportant des explications contextuelles, en diffusant un certain nombre de savoir-faire sur l'utilisation de ce matériau. Les adaptations machine rendant possible le travail de nouveaux matériaux restent la propriété de BeAM, les savoir-faire process sont partagés (paramètre matériaux), la mise au point d'une pièce restant exclusivement la propriété du client ».

VUE D'ENSEMBLE DU TURBOPROPULSEUR P&W SUPPORT DE LA RÉPARATION DÉVELOPPÉE PAR CHROMALLOY



Source Chromalloy

JOINT AIR/HUILE P&W RÉPARÉ PAR PROCÉDÉ CLAD (DED)



Source : Chromalloy

Ci-après le témoignage de deux acteurs industriels de la réparation : Chromalloy est une société américaine qui fournit des pièces dans l'aéronautique et entretient des moteurs d'avion dans différentes parties du monde. L'AIA de Bordeaux est une entité industrielle du ministère de la Défense chargée de la maintenance d'une partie des moteurs des avions de la Défense.

Témoignage de Lionel Potron, Chromalloy France

« Chromalloy France a développé depuis une dizaine d'années des solutions de réparation utilisant la réparation additive par Cladding. Des pièces volent depuis 2009 sur des moteurs P&WC et plus de 700 pièces ont été réparées à ce jour. Nous avons commencé les développements sur la réparation de joints d'étanchéité en titane et en aciers à base nickel et cobalt. Depuis 2014, Chromalloy est certifiée sur des redresseurs de flux de turbine en Inconel 713, matériau réputé non soudable et de ce fait très difficilement réparable. Nous pouvons désormais reconstruire entièrement une partie de pièce endommagée et la remplacer à l'identique du neuf.

Cependant, l'ajout de matière ne fait pas tout dans la réparation additive. Il faut également un savoir-faire dans les étapes de la gamme de réparation en amont et en aval de cette opération. Les traitements thermiques et usinages nécessaires à reconstruire la pièce sont nettement plus sensibles que lors de l'usinage d'une pièce neuve du fait des contraintes (même limitées) induites lors de l'opération de rechargement. Cet ultime développement représente une avancée technologique considérable puisque grâce à notre partenaire BeAM / IREPA, nous avons réussi à reproduire des caractéristiques métallurgiques meilleures que celles des pièces d'origine. Les pièces que nous voyons lors d'une seconde visite en atelier ont un taux de réparabilité supérieure à celui des pièces originales ».

Le rajout de matière dans de telles conditions de qualité est un avantage compétitif permettant de diminuer considérablement le remplacement de pièces lors des entretiens, ce qui de ce fait intéresse les clients (clients finaux, loueurs, gouvernements...) payant pour ces remplacements à ce jour. Ceci impacte le business model de certains OEM qui perdent leurs sources de revenus basées uniquement sur la vente de pièces de rechange. Certains OEM faisant des marges considérables sur certains de leurs produits, cette nouvelle technologie permet de redistribuer une partie de la valeur au client final qui en a souvent besoin dans le domaine aéronautique.

L'impact sur les business de ces technologies de fabrication et de réparation additives va être double. Pour ce qui est de la fabrication, les OEM vont pouvoir travailler des pièces beaucoup plus complexes et plus légères que celles que nous produisons aujourd'hui à l'aide d'une simple machine et d'un fichier 3D. Cela devrait permettre aux usineurs de pouvoir s'équiper et multiplier facilement les sites de fabrication pour limiter les stocks de produits et les distances de transport des produits. Pour ce qui est de la réparation, cela est très impactant dans le domaine du fait des politiques de vente de pièces de rechange. Si les OEM n'arrivent pas à capturer de valeur dans ce nouveau marché de réparation, cela pourrait être dramatique pour leurs résultats. Leur business model doit évoluer très rapidement pour assimiler ce risque et dépendre d'une autre source de revenu. Certains OEM ont commencé à diversifier leurs sources de revenus en louant leurs prestations à l'heure de vol, mais cela tient la route uniquement si ces mêmes OEM ont verrouillé cette source de réparation par une intégration verticale de l'activité ou un partenariat.

Chromalloy investit massivement dans ces technologies que ce soit en fabrication comme en réparation additive car les capacités de ces nouvelles technologies se situent bien au-delà de ce que nous pouvons faire aujourd'hui. En fabrication, nous fabriquons des pièces plus complexes tout en gagnant 50% de masse. En réparation, nous faisons économiser la moitié des coûts de maintenance à nos clients sur les pièces que nous traitons. Cette technologie d'avenir très nettement avantageuse possède cependant des limitations à ce jour. Il va falloir développer la supply chain et les méthodes d'approvisionnement de nos clients. Notre supply chain est nettement impactée par le fait que la précocité de cette technologie lui donne une rareté qui rend difficile l'approvisionnement des poudres ou des pièces de rechanges des équipements. La qualité requise par l'aéronautique ferme des opportunités avec certains acteurs de la sous-traitance. Cette partie devrait néanmoins se développer avec la démocratisation en cours.

Si j'avais à faire des recommandations aux pouvoirs publics :

- Sur le court terme, il est impératif de lancer des développements et de verrouiller la propriété intellectuelle dans le secteur aéronautique et spatial. Il faut investir dans les deux technologies de fabrication et de réparation additive :

La fabrication additive permettra de gagner beaucoup d'argent en développement sur les nouveaux programmes financés (développement Ariane 6, nouvel avion de combat, drones...). De par notre expérience, cela pourrait représenter 50% de gains financiers sur certaines pièces. La réparation additive permettra de gagner sur les coûts de MRO, mais aussi permettra la réutilisation de matériel à usage unique à ce jour. De par notre expérience, cela peut représenter jusqu'à 80% de gains financiers sur certaines pièces.

- Sur le moyen terme, il faut étudier la possibilité de rapprochement entre ces unités de réparation ou de fabrication additive des besoins en opérations. La portabilité du futur matériel permettra une flexibilité de la chaîne d'approvisionnement qui permettra une augmentation de la disponibilité opérationnelle des matériels. Pourquoi ne pas imaginer ce genre d'équipement avec des ingénieurs sur un porte avion pour reconstruire ou réparer les pièces nécessaires aux opérations.
- Sur le long terme, il faut étudier la possibilité (en intégrant des technologies électroniques) d'élaborer des modèles de calculs qui modifieront le profil de pièces en fonction des usages nécessaires au maintien de conditions opérationnelles optimales. Ainsi, l'impression 3D pourra modifier certains paramètres mobiles de la pièce d'après les caractéristiques requises à un instant T ».

Rechargement d'une virole par procédé CLAD



Source : Chromalloy

Témoignage Karim El Aloua, SIAé/ Aia de Bordeaux, Ministère de la Défense

« Le SIAé/AIA de Bordeaux lance actuellement une évaluation la technologie DMD mise en œuvre par BeAM, dans le cadre d'une étude de faisabilité de réparation. Cette étude concerne la réparation d'une usure sur CARTER Compresseur HP du M88-2. Elle a été lancée en anticipation d'évolution de ce défaut actuellement acceptable mais qui ne le sera plus à moyenne échéance. Aujourd'hui, aucun procédé classique de réparation ne permet de régénérer la géométrie initiale de la pièce et cette technologie pourrait être une solution.

Le rechargement n'est qu'une étape de la réparation additive. Elle s'insère dans un processus de réparation, intégrant une multitude de techniques à développer ou adapter à cette nouvelle technologie : traitement thermique, maîtrise des déformations, CND, usinage à adapter à une pièce ayant fonctionné. Financée par la DGA au titre d'un programme d'étude amont, cette faisabilité évalue la totalité du processus.

Le SIAé a identifié le potentiel de cette technologie pour la réparation des pièces à l'avenir. Elle doit murir et être intégrée dans les techniques courantes « constructeur ». Elle est complémentaire des technologies existantes et ouvre un champ important de possibilités ».

Notons que d'autres études sur les performances de pièces réalisées en fabrication additive métallique sont en cours au ministère de la défense (sous la responsabilité de la DGA), et les premiers résultats sont intéressants.

CONCLUSION POUR LA RÉPARATION :

Sur le marché de la maintenance aéronautique évalué à 100 Mdeuros, les possibilités offertes par ces technologies semblent prometteuses. Elles ne sont cependant accessibles qu'à des spécialistes, et demandent une courbe d'apprentissage qui, pour les premières pièces de valeur, compte en un certain nombre d'années.

CONCLUSION POUR LA FABRICATION ADDITIVE ET L'ÉRONAUTIQUE, ET PLUS LARGEMENT LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES QUI TOUCHENT L'ENSEMBLE DES SECTEURS DE L'INDUSTRIE MÉCANIQUE :

Les gains à attendre :

Nous sommes bien à l'aube d'une nouvelle ère, un peu semblable à la révolution amenée par les matériaux composites. Les réalisations déjà effectuées par les quelques acteurs qui ont commencé il y a une décennie à travailler avec l'AM obtiennent déjà des performances remarquables sur certaines pièces. Quelques-unes ayant des obligations de résistances structurelles sont opérationnelles et utilisées sur un porteur.

On peut prévoir le rapide développement de ces procédés :

- Pour la fabrication de pièces qui ne sont plus facilement disponibles, de même sur des théâtres d'opérations complexes où il sera peut-être plus simple dans certains cas d'envoyer un fichier électronique et d'imprimer la pièce à remplacer ;
- Pour la réparation de pièce de valeur ;
- Pour les nouveaux programmes : pour la rapidité du prototypage, la modularité et l'adaptation à des montées en cadence, ou pour fabriquer des pièces multifonctionnelles, qui rassembleront en une seule des dizaines de pièces qu'il fallait usiner, percer, souder, assembler, etc., pour des performances globales meilleures. En cela la fabrication additive, combinée à toutes les techniques de fabrication existantes va se révéler un véritable « game changer » sur les coûts, les performances, les délais, la capacité d'innover à la prochaine fabrication, les optimisations de tous les paramètres (y compris ceux de la matière utilisée, des économies d'énergie...);

- Pour les matériaux métalliques, la compétition avec les centres spécialisés en forge va faire progresser les innovations et diminuer les coûts.

Les aspects environnementaux (moins consommation d'énergie et de matériaux –ces nouveaux procédés suppriment ainsi la production de beaucoup de déchets industriels) sont des aspects très importants.

Les défis restant à relever :

Ils sont tous liés à des sujets techniques, sachant que le coût global et la fiabilité resteront des éléments déterminants pour l'intégration de ces nouvelles technologies.

1) Un Institut fédérateur

Pour l'aéronautique et le spatial, il s'agit de fédérer, organiser toutes les compétences utiles, qu'elles soient dans des laboratoires publics ou dans des entreprises privées. C'est par la constitution d'équipes transversales et pluridisciplinaires que l'on pourra accomplir des sauts technologiques : la constitution d'un Institut, organe fédérateur léger semblable à l'institut de la soudure, serait utile. Il permettrait d'orienter, de conseiller, et éventuellement tenter d'éviter des redondances inutiles financées par des fonds publics alors que ceux-ci sont sous très forte contrainte.

2) Des axes technologiques

- a) **Il convient de travailler sur des matériaux qui apporteront de nouvelles performances**, tant dans le domaine des thermoplastiques que des matériaux métalliques (cela est aussi vrai pour les résines photo polymérisables, etc., dans d'autres domaines d'application) ;

Des filières de recherche associant les industriels spécialisés (dont Arkema pour les thermoplastiques, et le groupe Eramet pour les matériaux métalliques) sont à mettre en place.

Ceux-ci jouent un rôle central et apparaissent comme un facteur clef de progrès, en mesure d'offrir à la recherche et à l'industrie françaises un temps d'avance. Mais une démarche volontariste est pour cela indispensable.

Les compétences en matériaux et spécialement en métallurgie que l'on compte dans notre pays peuvent lui permettre de développer un avantage comparatif dans l'impression, spécialement métal, sur la scène internationale¹⁷². Cela fait l'objet d'une recommandation de l'Académie des Technologies.

- b) **Il convient aussi de travailler sur les briques technologiques** (physique de la matière, physico-chimie, changement de phase, notamment la solidification, à des vitesses considérables (environ 10⁶°C/s), recyclage des poudres et leur contamination éventuelle, dispersion des propriétés mécaniques et état de surface, les questions de porosité, de fatigue, d'érosion, de corrosion suivant la nature des matériaux, etc.) qui peuvent permettre la compréhension des phénomènes physiques se produisant lorsqu'un matériau est opéré par ce type de procédé de FA.

- c) **Il convient enfin de travailler sur l'établissement d'outils numériques adaptés à la fabrication additive et permettant les simulations fonctionnelles.**

Il est essentiel d'assurer le développement d'une chaîne numérique couvrant toute la chaîne de valeur, dédiées à la fabrication additive. Les applications logicielles doivent tenir compte des caractères spécifiques des matériaux pour assurer des fonctions ou un ensemble de fonctions (i.e. la pièce) à réaliser. Ces développements dépendent des procédés, c'est-à-dire de la machine. Cela permettra de couvrir la chaîne de la conception à la fabrication de l'objet et de pouvoir par la simulation et le calcul prédire l'ensemble de ses caractéristiques fonctionnelles et permettre l'optimisation combinée de l'ensemble matériau/produit/procédé. Cela doit s'adapter par procédé/machine et par matériau. Ces outils sont essentiels pour progresser dans la fabrication d'objets dont on maîtrisera finement à la fois la modélisation des caractéristiques géométriques et physiques, et des performances fonctionnelles. Cela n'existe pas aujourd'hui pour la fabrication additive.

¹⁷² *A contrario* l'Allemagne, par exemple, joue aujourd'hui un rôle clé dans les imprimantes (i.e. machines de fabrication additive).

d) Il convient enfin d'appuyer le développement de machines de fabrication additive, notamment pour matériaux métalliques conçus et fabriqués en France.

3) Compétences et formations

Il faut développer les formations et les compétences qui permettront de travailler en amont sur la recherche, et chez nos industriels et sociétés de services pour les applications : nous aurons besoin de métallurgistes, de physiciens, de programmeurs, d'ingénieurs de type bureaux d'études sur des applications numériques comme d'ingénieurs en fabrication, etc. Ce n'est pas un hasard si General Electric a acquis Morris Technologies et Avio, rachetant un outil industriel spécialisé dans l'AM et s'assurant d'une main-d'œuvre rare et très qualifiée.

4) Aspects de certification : fiabilité et sécurité des pièces produites

De nombreux outils restent à développer pour faciliter une industrialisation des vérifications. Il faudra avoir des procédures robustes et des centres de vérification qui permettront de valider que les spécifications sont bien tenues, et qui travailleront en amont à des processus de normalisation.

5) Saisir les opportunités de projets fédérateurs

Quelques programmes technologiques ont déjà été lancés, d'autres sont sur le point de l'être. Au global, cela manque de cohésion, et les imprimantes aujourd'hui utilisées ne donnent pas encore la fiabilité qui serait nécessaire à des mises en production de nombreuses pièces. L'industrie aéronautique française pourrait se doter d'un avantage compétitif important en réorientant ses projets de R&D autour de nouvelles machines d'impression 3D en métal issue de coopération de grands noms industriels de la mécanique. Les éléments de simulation numérique pourraient être également développés à cette occasion : il s'agit d'une chance unique pour l'industrie aéronautique française – et plus largement pour l'industrie française – d'acquérir les outils pour faire la course de la compétition mondiale parmi ceux qui seront en tête du peloton. Les pouvoirs publics doivent appuyer cette initiative, les industriels de l'aéronautique, de la défense, et de l'espace avec leur filière de sous-traitance en être les utilisateurs.

6) Il convient de partager des données sur les matériaux et les propriétés mécaniques dans le MMLPDS¹⁷³.

Il est important de mettre en commun des spécifications matériaux et process qui seront d'une part cohérentes avec les données du MMLPDS et reconnus par la communauté des donneurs d'ordre et des certificateurs (comme cela a été le cas pour des procédés classiques). Mutualiser rapidement ces données évitera de multiplier les mêmes études dans de nombreux laboratoires publics ou industriels.

7) Les parachèvements et post-traitements sont des champs de travaux de R&D très importants pour assurer les performances et qualités des pièces produites : ces travaux doivent être encouragés et des données communes de R&D devraient être constituées.

¹⁷³ Metalliques materials properties development and standardization : Recueil de données, de design et de dimensionnement reconnu internationalement sur les matériaux et les alliages de l'aéronautique.

A. INTRODUCTION

L'impression 3D connaît un véritable essor dans le champ de la santé. Cette technologie semble prometteuse, tant pour le patient que pour le professionnel de santé. La plupart des acteurs pharmaceutiques et hospitaliers ont compris l'importance de leur positionnement sur ce marché stratégique : la production de prothèses et d'implants sur mesure, en se basant sur des données sources issues de scanner et d'IRM, la production de membres robotisés. Mais ce sont les applications aux matériaux vivants, ou bio-impression, qui paraissent potentiellement les plus spectaculaires puisqu'elles permettent de générer des tissus vivants et sans doute à terme des organes.

Les techniques d'impression elles-mêmes sont relativement simples et assez similaires à celles de l'impression 3D classique. L'essentiel des enjeux se situe dans l'ingénierie tissulaire : biomatériaux (encres), matériaux support, ingénierie cellulaire, etc.

La fabrication additive apporte un certain nombre d'avantages par rapport à des méthodes plus classiques de fabrication :

- La réalisation d'implants sur mesure permet d'envisager des interventions jusque-là très complexes ou d'en raccourcir d'autres en simplifiant l'adaptation ;
- De nouveaux matériaux peuvent être envisagés, mieux assimilables par l'organisme ;
- Une fois le process maîtrisé, l'impression 3D peut être une mise en œuvre relativement simple. Il est ainsi possible d'envisager que certains implants ou prothèses soient réalisés sur le site même de l'opération.
- La bio-impression permet d'envisager des progrès essentiels en matière de greffes, notamment en apportant une solution aux problèmes de rejet.

Si les applications relatives aux implants sont d'ores et déjà une réalité, il existe encore, pour la bio-impression, de nombreuses limites technologiques.

La France est relativement peu impliquée dans le domaine de la bio-impression. À ce jour l'essentiel des développements dans ce domaine est fait aux États-Unis. Le programme AFIRM¹⁷⁴ (Armed Forces Tissue Injury Regenerative Medicine) a, en particulier, permis de créer un véritable élan national, générant un réseau cohérent d'universités, centres de recherche, entreprises, hôpitaux, etc. grâce à un financement public d'environ 300 M€ depuis 2008 (une deuxième phase de 75M€ doit démarrer en 2015). La Chine paraît aussi très active dans ce domaine.

D'une façon générale, il est clair que ce secteur est prometteur. L'industrie médicale française qui a souvent été en pointe par le passé, a perdu du terrain au cours des 20 dernières années (hors industrie pharmaceutique). Il y a là une opportunité de lui donner une nouvelle impulsion. Les dépenses de santé ayant vocation à augmenter, autant qu'elles soient aussi une source de revenu économique pour le pays. Il s'agirait donc à proprement parler d'un investissement.

L'exemple des États-Unis montre à quel point le secteur militaire est légitime pour porter ce type d'investissement, et sa capacité à organiser le secteur au plan national. Il pourrait être judicieux de s'en inspirer.

Mais au-delà de simples considérations économiques, la bio-impression est porteuse d'enjeux éthiques fondamentaux. Il est certain que si les États ne portent pas les financements nécessaires leur permettant d'exercer une certaine régulation, le secteur trouvera de toute façon son financement auprès d'entreprises privées dont certaines ont des moyens colossaux. L'exemple de Google, dont la philosophie des fondateurs est ouvertement transhumaniste, est de ce point de vue à méditer.

¹⁷⁴ <http://www.afirm.mil/index.cfm?pageid=home>

B. DES APPLICATIONS MULTIPLES POUR LA SANTÉ

1. Les prothèses, orthèses et implants

La réalisation de prothèses sur mesure, sur la base de l'image d'un scanner ou d'une IRM est l'une des applications cliniques de l'impression 3D les plus répandues aujourd'hui. Dès 2011, une prothèse en titane de mâchoire a été implantée sur un patient. Depuis, plusieurs autres prothèses ont été implantées sur des patients, comme une trachée sur un nouveau-né, ou la majeure partie d'un crâne d'un patient américain¹⁷⁵. Récemment, aux Pays-Bas, une patiente souffrant d'une maladie conduisant à l'épaississement de ses os a reçu un nouveau crâne en plexiglas, le plus grand implant imprimé jamais posé.

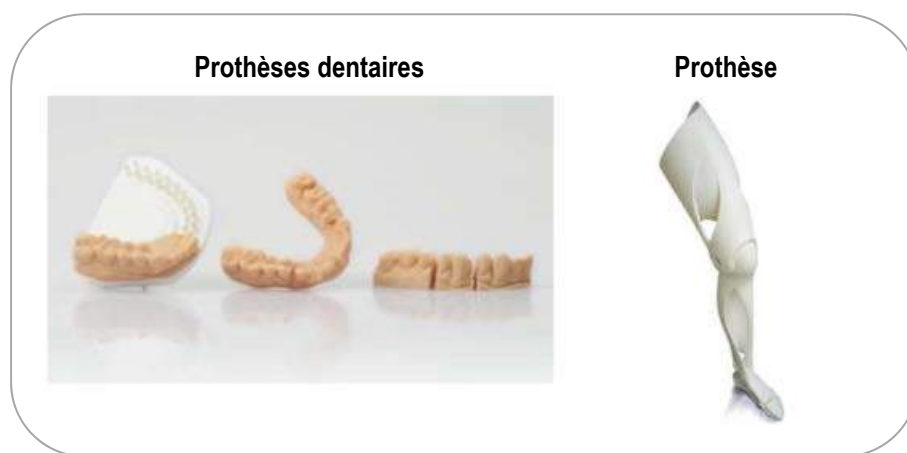
La possibilité de réaliser des objets sur mesure semble a priori un avantage important dans un domaine où la diversité est évidente, tous les individus étant différents.

De même, la capacité de passer rapidement d'une modélisation numérique à l'objet trouve un débouché évident dans le domaine de la santé. En effet, les techniques d'imagerie modernes, telles que Scanner ou IRM, ne sont rien d'autre que des scanners numériques générant une image numérique du corps dont on fait l'exploration. Les tissus étant différenciés, il est tout à fait possible d'en isoler une partie et d'utiliser le fichier obtenu pour en générer une « copie » dans la matière souhaitée.

Dès lors, l'implant réalisé étant en tout point conforme à la partie à remplacer, sa mise en place est beaucoup plus simple et élimine une grande partie du « façonnage » in situ réalisé par le chirurgien.

Le procédé d'impression 3D est d'ores et déjà très largement utilisé dans la fabrication des implants dentaires, où beaucoup de prothésistes sont équipés de machines leur permettant de réaliser des couronnes et des implants plus rapidement. Outre le fait que plusieurs étapes sont raccourcies, la possibilité d'imprimer en même temps plusieurs implants différents constitue un gain supplémentaire.

Concernant la modélisation, le développement des scanners spécialisés permettent de prendre en quelque sorte une « photo en 3D » de la bouche du patient. Cette image est directement exploitable par les prothésistes, éliminant ainsi la fastidieuse étape de la prise d'empreinte.



Les implants osseux constituent aussi une cible pour l'impression 3D. En effet, il est aujourd'hui possible de réaliser des implants dans des matériaux céramiques très proches de l'os (Hydroxyapatite ou Phosphate tricalcique). Ces matériaux minéraux ont l'avantage d'être reconnu comme de l'os par l'organisme, et surtout présentent des caractéristiques mécaniques proches de celle de l'os, ce qui limite les gradients et contraintes aux interfaces des implants.

L'utilisation de l'impression 3D, outre la possibilité de réaliser des formes complexes et sur mesure, permet de réaliser des implants poreux (canaux de 300 à 800 microns). Cette porosité permet à la matière vivante de l'organisme de coloniser l'implant. On peut aussi envisager, dans une phase ultérieure, que les implants soient

¹⁷⁵ <http://www.futura-sciences.com/magazines/sante/infos/actu/d/medecine-imprime-3d-implant-remplace-75-crane-americain-45142/>

déjà « ensemencés » de matériel biologique (cellules souches par exemple) avant l'intervention. S'agissant de produits médicaux combinés, le temps de mise sur le marché de tels objets sera néanmoins très long, contrairement à l'implant nu, qui est considéré comme « medical device ».

La contrainte principale de l'impression 3D pour des implants céramiques réside dans la nécessité de passer l'objet imprimé au four. Cette opération de frittage conduit à un rétreint d'environ 20-25% particulièrement difficile à maîtriser, ce qui nécessite plusieurs essais avant d'aboutir à l'implant définitif. Cela rend l'opération longue et coûteuse pour un implant unique. La société française Osséomatrix a cependant réussi à contourner cette difficulté en développant un procédé d'impression directe avec laser permettant d'aboutir à une pièce finie. Dès lors la fabrication d'implants de cette nature sur mesure pourrait être rentable. Osséomatrix envisage la commercialisation de ses produits à une échéance de 2 ans.

Le marché mondial des implants sur mesure est estimé à 700 m\$, à l'intérieur d'un marché d'implants orthopédiques estimé à 30 milliards de dollars. Ce dernier ne semble pas dans l'immédiat une cible pour les implants céramiques. En effet, les implants standards en titane permettent de traiter tous les cas avec un nombre restreint de modèles.

En revanche, la mise en œuvre de matériaux nouveaux par fabrication additive pourrait permettre des avancées notables dans le domaine des prothèses métalliques. Notamment la possibilité de panacher plusieurs matériaux pourrait à terme résoudre certains problèmes. La résistance nécessaire à la prothèse elle-même peut par exemple s'opposer à la souplesse souhaitable de son interface avec le squelette du patient. L'utilisation de matériaux aux caractéristiques différentes, par une transition progressive ou autre, permettrait un bon compromis.

Pour ce qui est des orthèses, on notera que les aides auditives sont dès à présent très largement réalisées par fabrication additive.

D'une façon générale, tous les types de prothèses pourraient bénéficier, par une fabrication additive, d'une meilleure adaptation morphologique, et, lorsque celles-ci sont amenées à être renouvelées, d'une reproductibilité simplifiée. Les « procédés additifs » permettent le sur-mesure à des prix très concurrentiels, la fabrication étant automatisée.

2. La bio-impression

Au-delà du domaine des implants « sur-mesure » qui ont déjà fait l'objet d'interventions cliniques (crâne, mâchoire, vertèbre), les progrès prévisibles au cours de la décennie à venir permettent d'envisager la fabrication de tissus complexes vivants tels que des organes ou des parties d'organes, ce qui constituerait une révolution pour toutes les affections nécessitant une greffe. Cette nouvelle technologie pourrait répondre à de très importants besoins médicaux et sociétaux en permettant de fabriquer à la demande des tissus humains. La bio-impression constitue un espoir pour la médecine régénérative, mais aussi pour le test de médicaments.

La bio-impression consiste à utiliser des procédés numériques de même nature que la fabrication additive, non plus en empilant des matériaux inertes, mais en utilisant des constituants de tissus biologiques, en particulier des cellules pour produire des éléments « vivants » pouvant être utilisés comme greffons, ou modèles physiologiques dans le domaine de la recherche ou de l'industrie.

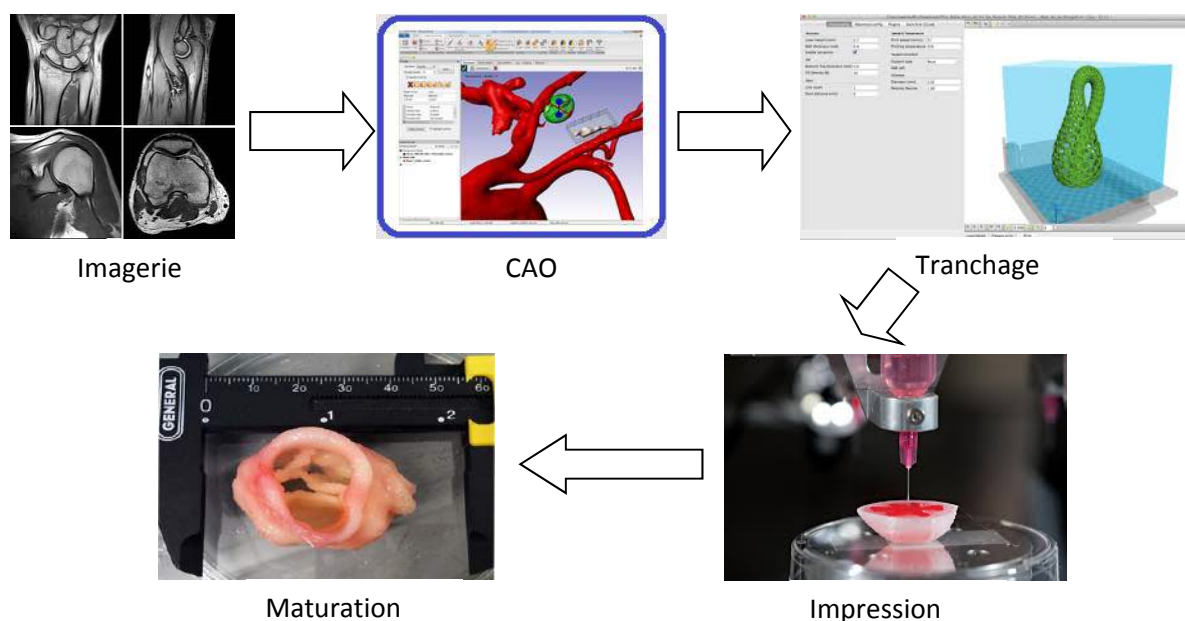
La discipline est encore dans une phase très amont, relevant essentiellement du domaine de la recherche. La réalisation de tissus complexes, voire d'organes, n'est pas envisageable à brève échéance, en dépit de quelques présentations médiatisées exagérées et trompeuses. Néanmoins, la capacité de produire des tissus composites en petite quantité trouve d'ores et déjà des applications comme support de tests pour l'industrie pharmaceutique ou l'industrie cosmétique. Il s'agit par exemple d'échantillons de peau.

Ces applications offrent donc dès aujourd'hui des débouchés commerciaux potentiels pour les start-up du secteur. À l'horizon d'une quinzaine d'années, certaines projections estiment le marché de la bio-impression à environ 3 milliards de dollars¹⁷⁶.

► DESCRIPTION TECHNIQUE DE LA BIO-IMPRESSIION

Le processus est globalement comparable à l'impression 3D classique ; il comporte néanmoins quelques spécificités :

- La phase de scannage, qui utilise les outils d'imagerie médicale classique, n'a pour objet que de déterminer la forme de l'organe. Elle ne permet pas de modéliser l'objet à réaliser ;
- La phase de CAO permet de concevoir l'objet à imprimer, consistant à un arrangement particulier de cellules et produits associés. On voit qu'il s'agit d'une préfiguration de ce qui pourra devenir un tissu biologique, mais qui à ce stade n'est qu'un amas de cellules ;
- Les phases de tranchage et d'impression sont comparables à l'impression 3D ;
- Durant la phase de maturation à l'exception de la phase de maturation, les cellules se lient entre elles et s'organisent. En matière de bio-impression, le temps entre en ligne de compte, ce qui permet en réalité de parler d'impression 4D.



► LES TECHNIQUES DE BIO-IMPRESSIION

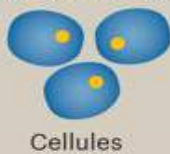
À l'instar de l'impression 3D classique, la bio-impression consiste à accumuler des couches de matières successives, à l'aide d'une tête d'impression qui vient déposer les constituants biologique sur l'objet. Les constituants se présentent sous forme liquide ou pâteuse et sont appelés « encres », par analogie avec l'impression 2D.

¹⁷⁶ Rapport IDTechEx : "Applications of 3D Printing 2014-2024: Forecasts, Markets, Players", juin 2014.

Imprimer des biotissus en 3D : comment ça marche?

Contrairement à l'impression de prothèses (fragments osseux), l'impression de biotissus en est encore au stade expérimental.

1 Composants principaux



Cellules



Hydrogel



Imprimante de biotissus

2 Création de l'encre biologique

Les cellules

Elles sont prélevées chez les patients (cellules souches ou biopsies) et élevées jusqu'à maturation selon les méthodes standards.



Culture de cellules

Les cellules sont multipliées dans des cultures de cellules.

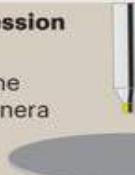


Encre biologique

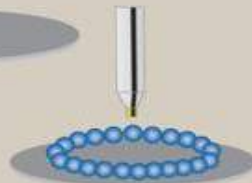
Quand il y a assez de cellules, elles sont rassemblées pour créer l'encre. Elles sont regroupées en sphères et enfermées dans des cartouches.

3 Processus d'impression

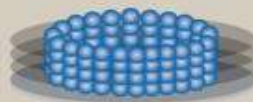
Impression d'une couche d'hydrogel qui fonctionnera comme support de l'encre biologique.



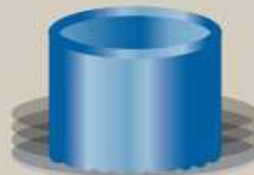
Dépôt de l'encre biologique sur la couche d'hydrogel.



Répétition du processus complet pour former différentes couches de tissus.

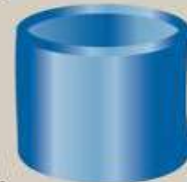


Superposées, les différentes couches fusionnent naturellement.



4 Maturation

Les tissus imprimés sont laissés plusieurs semaines dans un milieu approprié pour grandir et arriver à maturation. Pendant ce temps, l'hydrogel est retiré.



5 Utilisation

- Tester de nouveaux médicaments
- Remplacer des tissus endommagés
- Faire de la recherche sur des maladies dont les processus d'évolution sont mal connus.



SOURCE LMD

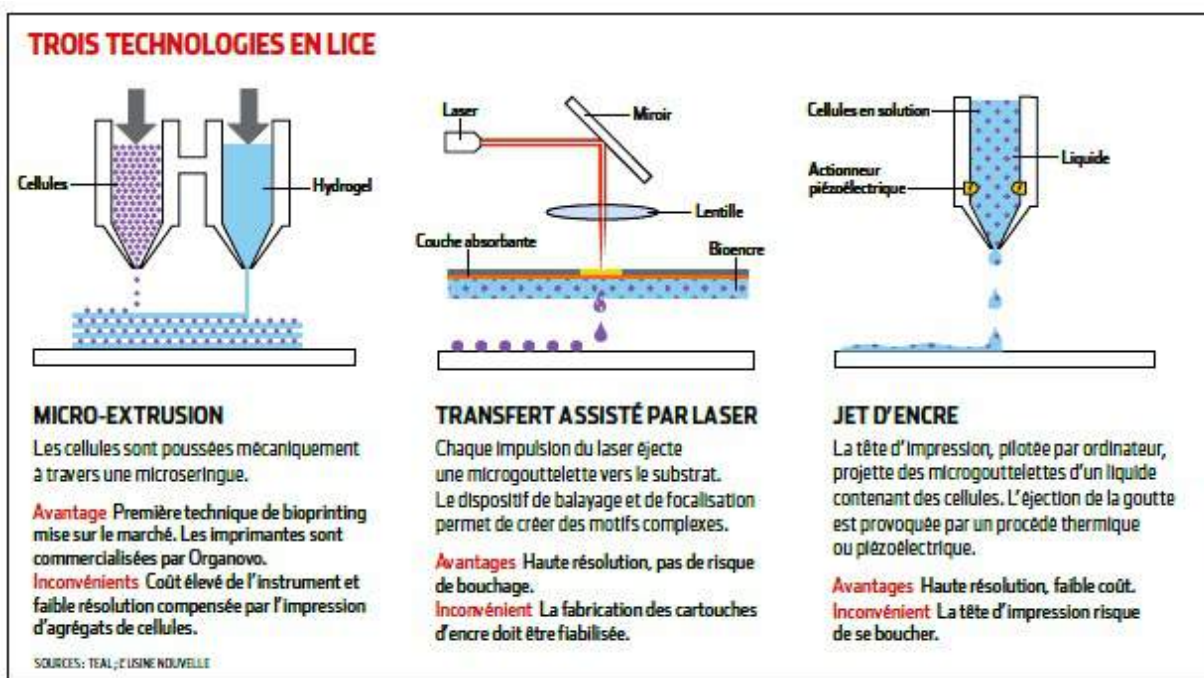
Contrairement à l'impression de matériaux solides où la machine doit faire fondre la matière pour la « souder » à la couche précédente, la bio-impression nécessite un bon maintien en position d'une couche, ou tout au moins un certain degré de solidification, avant de pouvoir déposer la suivante. Quant à la « soudure », pour poursuivre la comparaison, elle est de nature biologique. Les cellules la réalisent d'elles-mêmes durant la phase de maturation.

Il existe à ce jour trois techniques distinctes de bio-impression :

- Le **jet d'encre** est un procédé directement dérivé des imprimantes 2D de bureau, qui ont été dans un premier temps modifiées pour réaliser cette technique. Le principe consiste à projeter des microgouttelettes d'encre générées par un procédé thermique ou piézo-électrique. L'encre est ici remplacée par une solution contenant les éléments biologiques à imprimer. Basées sur un principe

largement éprouvé et diffusé, le faible coût de ces machines est leur principal avantage. Leur inconvénient principal est l'obligation d'utiliser des encres très fluides et donc peu concentrées en matière organique, pour ne pas obstruer les têtes d'impression. Le passage de l'encre dans la tête d'impression, de très faible taille, est aussi une source de « traumatisme » pour les cellules (cisaillement), ce qui constitue un autre inconvénient.

- La **micro-extrusion** est un procédé qui peut être comparé au procédé FDM (fil fondu) et fonctionne comme une seringue. L'encre est poussée mécaniquement au travers d'une buse. De même que le FDM est la technique la plus simple de fabrication additive, la bio-extrusion est la technique la plus simple et la plus ancienne dans le domaine biologique. Elle a aussi l'avantage de pouvoir utiliser des encres plus concentrées que le jet d'encre. Son principal inconvénient, cependant, est sa faible résolution qui ne permet pas d'obtenir des niveaux d'organisation des composants aussi précis.
- Le **transfert assisté par laser** ou « **Laser Assisted Bioprinting** ». Dans ce procédé, une impulsion laser vient frapper le composant et génère une microgouttelette qui est projetée sur l'objet imprimé. Les encres, dans ce cas, ne sont pas dans un réservoir, mais déposées en couche sur une plaque en verre transparente au Laser. Cette technique, en combinant la haute résolution du Laser et des dispositifs de balayage optique, permet d'obtenir une excellente résolution (5 à 10 cellules par goutte) et des motifs d'impression complexes. Par ailleurs, l'absence de passage au travers d'un orifice assure un bien meilleure viabilité aux cellules (97% après 6 heures). Il s'agit cependant d'une technique pour l'instant peu répandue bien qu'elle ait l'avantage de combiner à la fois haute résolution et haut débit de fabrication. Elle a été développée depuis 2005 dans un laboratoire de l'INSERM à Bordeaux, à partir duquel s'est créée récemment la start-up française Poietis.



L'impression **in vivo**, bien que n'étant pas à proprement parler un procédé spécifique de dépôt, mérite d'être mentionnée car le support est totalement différent. En l'occurrence, l'impression **in vivo** consiste à déposer les encres biologiques directement sur l'organisme vivant. Des expériences ont déjà été conduites sur des animaux (institut Wake Forest aux USA ; société Poietis en France).

► LES COMPOSANTS (ENCRES)

Le composant de base de la bio-impression est la cellule. Il est facile d'obtenir des cellules par prélèvement et de les multiplier par culture.

L'utilisation de cellules souches (non différenciées) ouvre clairement beaucoup plus de possibilités. Elles sont cependant plus compliquées à obtenir. Les cellules souches embryonnaires posent un problème éthique et leur utilisation est réglementée par la loi. Le corps adulte en contient (cellules souches mésenchymateuses par exemple), mais elles sont en petite quantité.

La découverte récente des cellules IPS (Induced Pluripotent Cells) constitue de ce point de vue une avancée majeure. Cette découverte, récompensée par un prix Nobel en 2012, a mis en évidence un procédé permettant de déprogrammer des cellules différenciées pour les transformer en cellules souches, ce qui était considéré comme inenvisageable auparavant. Cela permet potentiellement de générer des cellules souches en grand nombre. On en conçoit l'intérêt en particulier dans les applications de greffes : le greffon sera fabriqué à partir de cellules souches issues de cellules différenciées prélevées simplement sur le patient à traiter. Cela réduira considérablement les problèmes de rejet.

Cette découverte étant récente, les cellules IPS font l'objet de nombreuses études, notamment pour vérifier leur innocuité et l'absence de d'évolutions pathogènes (mutations cancéreuses, etc.). Leur utilisation clinique n'est donc pas envisageable avant plusieurs années.

D'autre part, les encres ne se présentent pas sous la forme d'un produit purement constitué de cellules. Celles-ci sont incluses dans un substrat plus ou moins liquide dont les constituants peuvent avoir plusieurs fonctions. Les cellules doivent en effet être combinées avec des éléments qui vont constituer le support « solide » du tissu imprimé. Ces produits (scaffolds = échafaudages) constituent une matrice à l'intérieur duquel les cellules seront incluses.

Enfin, un certain nombre de constituants (protéines) sont nécessaires à la maturation du tissu imprimé, tels que les facteurs de croissance ou de différenciation cellulaire. Les encres sont donc une combinaison de cellules, de matrice et de protéines. Les combinaisons sont multiples et constituent un très large champ de recherche pour les années à venir.

► LES APPORTS DE LA BIO-IMPRESSION

La culture cellulaire existe depuis de très nombreuses années. Des cellules, placées dans un environnement adéquat se reproduisent et génèrent ainsi un tissu biologique. Mais il s'agit, en général de cellules de même type. Il n'était pas possible jusqu'alors de reproduire des tissus complexes.

L'utilisation de cellules souches pour générer des tissus spécialisés ne reproduit pas non plus nécessairement le processus embryonnaire. On peut prendre, à titre d'exemple le cas des mélanocytes de la peau. Ces cellules, qui donnent à la peau sa coloration sont naturellement réparties régulièrement dans le tissu. Or spontanément, en culture, ces cellules auront tendance à se développer au même endroit (comme un grain de beauté).

Le processus de différenciation cellulaire et de croissance d'un tissu, laissé à lui-même peut évoluer de différentes manières. Il doit être « guidé ». La bio-impression est un moyen de descendre à un niveau précis de l'architecture des tissus et donc de guider le développement dans le sens souhaité. Ce sont ces processus qui font aujourd'hui l'objet de recherche fondamentale, qui permettra d'établir jusqu'à quel degré de détail il est nécessaire d'aller avant de laisser la nature « prendre le relais ».

La bio-impression ouvre donc les opportunités suivantes :

- ORGANISATION SPATIALE
L'organisation spatiale des constituants étant réalisée au niveau cellulaire, il est possible d'envisager la fabrication de tissus complexes.
- REPRODUCTIBILITÉ
La fabrication étant pilotée par des automates pilotés eux-mêmes par des fichiers numériques, chaque impression reproduira la même architecture cellulaire.

- PERSONNALISATION

Les tissus peuvent être conçus « sur-mesure » en fonction de leur utilisation, notamment en termes de forme et de composition. En thérapeutique, le tissu sera adapté à la personne à qui il est destiné. En recherche les échantillons pourront être optimisés pour l'objet des expériences, etc.

► UN SCÉNARIO PROSPECTIF DE DISRUPTION DE LA SANTÉ

Le défi de la bio-impression est de produire des tissus fonctionnels :

- APPLICATIONS ACTUELLES

Il est d'ores et déjà possible de générer par bio-impression des tissus viables. En 2014 la société Organovo a par exemple produit un tissu hépatique. La société Poïetis a quant à elle produit des tissus de cornée. À ce jour, on peut considérer qu'un très grand nombre de tissus humains font l'objet d'études. Ces tissus peuvent être utilisés comme modèles physiologiques dans les domaines pharmaceutique ou cosmétique en vue de tester les formules mises au point. On notera à cet égard que la bio-impression permet de générer une très grande variété de « composition » des tissus testés, en premier lieu des tissus sains aussi bien que des tissus pathologiques.

- APPLICATIONS À COURT TERME (3 À 5 ANS)

L'étape suivante consistera à personnaliser les échantillons de tissu. On pourra alors tester et développer in vitro des traitements adaptés au patient lui-même. Il est en effet acquis que la personnalisation des traitements est, dans le cas du cancer, une source importante d'amélioration de l'efficacité des traitements.

- APPLICATIONS FUTURES (5 À 10 ANS)

L'objectif principal de la bio-impression est d'arriver à générer des tissus utilisables en médecine régénérative. La possibilité de générer des organes ou des parties d'organes à partir des cellules d'un patient est un enjeu médical, social et économique d'envergure.

Malgré les présentations ambitieuses, voire prématurées, des réalisations actuelles, il n'est pas possible aujourd'hui de réaliser des organes fonctionnels. Il suffit de réaliser qu'un organe doit être vascularisé pour être viable, et d'imaginer la complexité d'un réseau de vascularisation, pour comprendre la difficulté de cet objectif.

Les progrès n'en demeurent pas moins tangibles et la progression se fait de manière incrémentale. Chaque progrès réalisé fait apparaître un nouveau verrou scientifique. À l'enthousiasme généré par certains essais prometteurs succède en général une désillusion modérant les attentes (certains organes ont par exemple pu être produits avec succès sur de petits animaux, mais l'application du procédé à des animaux de grande taille n'a pas fonctionné, sans que l'on sache pourquoi) ; jusqu'à ce que la nouvelle difficulté soit elle-même surmontée. La rapidité des développements sera donc bien évidemment proportionnelle au nombre de laboratoires, privés et publics, travaillant sur le sujet.

- LE CAS DU DOMAINE MILITAIRE

De longue date le secteur militaire a été une source de progrès dans le domaine médical, notamment dans les domaines des interventions d'urgence et de la chirurgie réparatrice.

Il apparaît clairement que la bio-impression est susceptible d'induire une véritable révolution dans la médecine de guerre. Elle devrait offrir la possibilité de fabriquer rapidement, au plus près du terrain d'opérations, des solutions de « réparation » sur mesure, adaptées au traumatisme subi par le blessé. Les réparations osseuses pourront être envisagées à une échéance assez courte.

Mais à terme, on peut envisager la fabrication de tissus vivants pour soigner les traumatismes, y compris par dépôt direct sur le blessé. On a vu en effet que des expériences de bio-impression in vivo ont d'ores et déjà été conduites sur des animaux avec de la peau.

En 2008, le département de la défense US a lancé le programme TIRM PMO (Tissue Regenerative Medicine Projet Management Office) au sein de l'organisme AFIRM (Armed Forces Institute for Regenerative Medicine).

De 2008 à 2014, ce sont environ \$300M qui ont été financés dans ce domaine. Ce financement sans précédent a permis de créer un consortium national d'universités, de centres de recherche, d'hôpitaux civils et militaires et de plus de 40 sociétés spécialisées. A titre d'exemple, l'université Wake Forest a reçu de l'ordre de \$22M pour conduire ses projets.

Le programme entre dans sa deuxième phase (AFIRM-II) avec un financement prévu à hauteur de \$75M.

3. Le marché de la bio-impression

Les estimations du marché de l'impression 3D en général sont fluctuantes. Il en va de même pour la bio-impression. L'incertitude est ici probablement encore plus importante, s'agissant d'applications totalement nouvelles relevant toujours largement du domaine de la recherche.

Il faut probablement plus le considérer comme un « sous-marché » de l'ingénierie tissulaire, estimée en 2014 à 15 Md\$ (MedMarket Diligence). Selon certaines estimations, il représenterait aujourd'hui quelques pour-cent du marché global de l'impression 3D, et on peut estimer qu'il s'agit pour l'instant essentiellement de la vente de machines servant à conduire les activités de recherche.

Si l'on considère que le marché global de la 3D était en 2014 d'environ 1,5 Md\$, le marché de la bio-impression est estimé à environ 3 M\$. Certaines projections le placent à un ordre de grandeur de 5,5Md\$ en 2018 (Canalys), d'autres plus conservatrices à 7Md\$ en 2025.

De fait, beaucoup de facteurs, difficiles à prévoir à ce jour, peuvent fortement influencer le développement de ce marché, notamment les questions d'éthique qui pourraient y mettre un frein. Toutefois, il est clair que si les avancées en matière de médecine régénérative sont au rendez-vous, il y aura forcément un intérêt économique et donc un marché pour ces applications. Sur les seules pathologies rénales, un nombre très limité de patients peuvent subir une greffe de rein. Le plus grand nombre est astreint à des dialyses régulières dont on estime le coût à 25 000 € par an et par patient. Compte tenu du nombre très élevé de patients souffrant de ces pathologies, le coût mondial est considérable. On conçoit que la bio-impression pourra trouver assez facilement son marché sur cette application.

► LES ENTREPRISES

Il faut distinguer les compagnies proposant des machines de celles actives dans l'ingénierie tissulaire. Certaines, ayant développé des imprimantes dans le cadre de leur recherche, proposent leur machine à la vente et sont donc sur les deux marchés.

Le leader actuel est la société Organovo (USA). Fondée en 2007, elle jouit d'une antériorité et d'une notoriété importante. C'est une société cotée. Son chiffre d'affaires était néanmoins très inférieur à 1M\$ en 2012. Elle est active dans la recherche tissulaire (mise au point de tissus hépatique viable en 2014).

PARMI LES AUTRES SOCIÉTÉS ÉMERGENTES DANS CE DOMAINE :

Amériques :

- TeVido Biodevices (USA) : fondée en 2011. Active sur les tissus mammaires.
- Aspect Biosystem (Canada) : fondée en 2013. Production de tissus à la demande pour la R&D pharmaceutique.
- Tissue Regeneration Systems (USA) : fondée en 2008. Spécialisée dans la fabrication d'implants de reconstruction osseuse. En 2013, la FDA a approuvé le premier implant osseux bio-imprimé réalisé par cette compagnie.
- Rainbow Biosciences (USA) : société cotée. A développé un système d'impression par lévitation magnétique. Propose des tissus pour l'industrie pharmaceutique.
- nScript Inc (USA) : fondée en 2002. Commercialise des produits pour l'ingénierie tissulaire et en particulier la bio-impression (équipements informatisés et biomatériaux).
- Digilab Inc(USA) : Société commercialisant des produits biologiques en général. A mis au point une bio-imprimante à jet d'encre qu'elle commercialise.
- MicorFab Technologies Inc (USA) : Commercialise la plateforme d'impression JetLab.
- 3D Systems (USA) : société leader dans l'impression 3D en général. Propose des machines spécifiques pour la bio-impression.

Europe :

- RegenHU (Suisse) : fondée en 2007. Commercialise la bio-imprimante BiFactory et les produits de matrice BioInk.
- Gesim (Allemagne) : Spécialisée dans les machines automatiques délivrant des microquantités de fluides. A développé la plateforme BioScaffolder 2.1 permettant l'impression de matrices de support pour l'ingénierie tissulaire (matrices colonnisées).
- Poïetis (France) : crée fin 2014. Spin-off de l'INSERM de Bordeaux. A développé la technique d'impression par laser. Propose des tissus pour les industries pharmaceutique et cosmétique. Conduit des recherches dans la génération de tissus de différentes natures (cornée et peau notamment).
- OxSyBio (UK) : crée en 2014. Spin-off de l'université d'Oxford.
- Osséomatrix (France) : A développé un procédé d'impression directe de matériaux céramiques permettant la production rapide d'implants osseux. Etudie l'impact de la structure de l'implant (porosité, canaux,etc.) sur la colonisation par les cellules vivantes.

Asie :

- Cyfuse (Japon) : fondée en 2010. Produit l'imprimante Regenova. Travaille sur différents tissus à destination de l'industrie pharmaceutique et la médecine régénérative.
- Regenovo biotechnology (Chine) : fondée en 2013. Commercialise l'imprimante Regenovo.
- Osteopore International (Singapour) : Propose des matrices pour la régénération osseuse (produits : Osteoplug et Osteomesh).
- Bio 3D (Singapour) : fondée en 2013. Fabrique l'imprimante Life-Printer X.
- Next 21 (Japon) : Impression d'implants osseux.

4. Les points clés de la bio-impression

► LES BRIQUES SCIENTIFIQUES À DÉVELOPPER

▪ L'INGÉNIERIE TISSULAIRE

La bio-impression est, nous l'avons vu, dans une phase de recherche. Elle est incluse dans l'ingénierie tissulaire au sens large. Elle bénéficie donc potentiellement de toutes les avancées de la recherche dans cette discipline, qu'il s'agisse de cellules, cellules souches, ou des composants permettant de favoriser le développement ou la différenciation cellulaire.

On ne peut, pour l'instant pas considérer qu'il y ait en la matière une spécificité de nature à justifier des développements particuliers, en dehors de ceux réalisés par les organismes spécialisés dans ce domaine.

▪ LES COMPOSANTS DE SUPPORT (SCAFFOLD)

Là encore, il semble exister un certain nombre de composés organiques susceptibles de jouer ce rôle. Diverses solutions et configurations sont testées par les organismes spécialisés en bio-impression. Le développement de produits ad hoc ne paraît pas être, à ce jour, un point bloquant.

▪ LA MODÉLISATION

Il s'agit là d'un domaine spécifique à la bio-impression. Comme nous l'avons vu, le tissu obtenu lors de la phase de maturation peut, par exemple, dépendre de la façon dont les éléments constitutifs sont répartis lors de l'impression. La détermination de ces comportements et de la sensibilité à différents facteurs peut permettre de mettre au point des modèles prédictifs utilisables dans des outils de conception assistée par ordinateur (CAO).

Ceci est sans doute un domaine primordial pour une utilisation productive de la bio-impression, notamment en simplifiant la mise au point de tissus correspondant à une demande spécifique des donneurs d'ordre (industrie pharmaceutique ou cosmétique par exemple).

► LES ENJEUX ÉTHIQUES

Comme toute discipline touchant au vivant, la bio-impression se heurtera très certainement à des questions d'éthique. Certains prédisent même qu'elles pourraient engendrer des limitations suffisamment importantes entravant ainsi le développement de la discipline, en particulier pour ses applications cliniques.

L'éventualité, à terme, d'une fabrication d'organes pose nécessairement la question du commerce du corps humain. Les greffes sont aujourd'hui réalisées à partir d'organes prélevés sur des donneurs (souvent décédés), et ne font pas l'objet de transactions commerciales (tout au moins légalement dans la majeure partie des pays). Les greffons ne sont pas considérés comme une marchandise.

Des greffons pouvant être fabriqués par des sociétés spécialisées qui devront être rémunérées pour cette prestation deviendront de facto des marchandises. Cela contreviendra potentiellement à l'interdiction du commerce d'organes. On notera néanmoins que l'interdiction du commerce d'organes était intimement liée à des notions de respect de la personne humaine (sous ses différentes formes telles que l'indisponibilité ou la non-patrimonialité du corps humain par exemple), puisque par nature un organe était forcément issu du corps d'une personne.

On pourra s'interroger sur la nature d'organes fabriqués in-vitro et donc qui ne seraient pas extraits du corps d'une personne, mais qui pourtant seraient issus de cellules d'un individu contiendraient son patrimoine génétique.

Dans la mesure où cette question serait contournée, d'autres difficultés pourraient se poser, telles que la qualité des organes fabriqués. Ceux-ci étant fabriqués à partir de matériel vivant, ayant sa propre spécificité et son propre patrimoine génétique et sa propre « histoire », il semble extrêmement difficile pour l'entreprise fabricante,

d'en garantir intégralement la qualité, la performance et la fiabilité dans le temps. Dès lors quels pourraient être les critères de qualité imputables à l'entreprise productrice, et lesquels resteraient imputables « à la nature » (dont le moins que l'on puisse dire est que l'on s'en éloigne) ?

Plus généralement, la possibilité de réparation du corps humain à partir de « composants neufs » réalisés in-vitro à partir de ses propres cellules introduit potentiellement une évolution radicale sur la notion de durée de vie. La notion même de mortalité pourrait être remise en question. De nombreux articles ont récemment été publiés émettant l'hypothèse que, compte tenu de progrès potentiels, « l'homme de 400 ans » est sans doute déjà né. Le mouvement international du « Transhumanisme » quitte ainsi le domaine de l'utopie.

À l'instar des questions de propriétés liées à l'impression 3D en général, la dématérialisation numérique pose aussi des questions d'ordre éthique. À partir du moment où un organe a été scanné, puis qu'à partir d'outils de CAO, un fichier a été généré pour reproduire par bio-impression cet organe, on réalise qu'il se crée une dualité flagrante entre l'objet et le fichier numérique à partir duquel on peut le reproduire à l'envi. Dès lors se poseront de nombreuses questions. S'agit-il d'une dématérialisation du corps humain, et donc faudra-t-il le considérer comme une forme nouvelle du corps humain ?

De même, pourraient se poser des questions de propriété pour ces fichiers. Pour les objets, il existe des droits de propriété artistique ou industrielle opposables. Elles ne sont pas du tout transposables dans le cas présent. En effet, la loi est fondée (presque universellement) sur la non patrimonialité du corps humain¹⁷⁷, qui fait qu'un individu n'est pas propriétaire de son propre corps, et ne peut d'ailleurs pas en disposer à sa guise. Paradoxalement, alors qu'il peut revendiquer la propriété de sa propre image (au travers de son droit à l'image), un individu ne peut pas revendiquer la propriété des avatars numériques de son propre corps. La question est aussi de savoir si d'autres le peuvent, notamment ceux qui ont créé le fichier.

Enfin, au-delà des applications thérapeutiques, on peut tout à fait concevoir que la bio-impression puisse trouver des applications en matière esthétique. On peut en effet envisager d'imprimer, avec ses propres cellules, la « forme » d'une autre personne contenue dans un fichier numérique. On voit là que tout un commerce peut voir le jour autour de ces possibilités.

PRINCIPALES RÉFÉRENCES :

- 1 - Impression 3D Laser du vivant : quelles avancées pour demain ? (INSERM)
- 2 - 3D bioprinting of human transplant organs – a patent landscape (Coller IP : M.Alvi ; M.Duckett ; R.Gleave)
- 3 - Wake Forest Institute advancing bioprinter tech for wound care (MissouriCures: B.Tansey)
- 4 - L'impression tridimensionnelle et le corps humain (F.Defferrard, Directeur de l'Institut d'études judiciaires)
- 5 - Rapport IDTechEx : "Applications of 3D Printing 2014-2024: Forecasts, Markets, Players", juin 2014

L'impression 3D semble en voie de s'imposer comme pilier de la médecine de demain. Cette industrialisation entraînera une réduction des coûts avant de s'ouvrir, dans un avenir proche, vers un tout nouveau marché.

¹⁷⁷ L'impression tridimensionnelle et le corps humain (F.Defferrard, Directeur de l'Institut d'études judiciaires).

A. ARCHITECTURE, CONSTRUCTION, DESIGN

L'impression 3D est entrée dans les mœurs de l'architecture et de la construction à une vitesse croissante. Ce phénomène rencontre quelques réticences car il bouleverse profondément des habitudes séculaires. De plus en plus d'architectes s'y intéressent à l'échelle du monde, en l'associant parfois à d'autres champs comme on l'a vu pour Zaha Hadid. L'ensemble du secteur du BTP est également très concerné.

1. Architecture et construction

► MAQUETTAGE

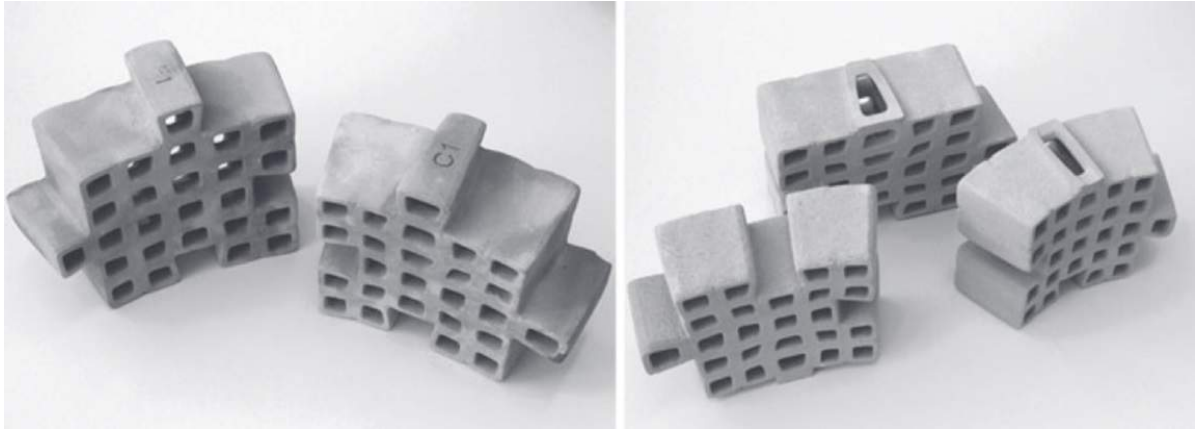
La première des conséquences de l'impression 3D en architecture est la réalisation beaucoup plus facile des maquettes, à l'instar de ce qui se passe dans d'autres secteurs en termes de prototypage, sauf que la maquette joue de surcroît le rôle d'outil de communication vis-à-vis des clients, des prescripteurs, des investisseurs, des parties prenantes en général. Les courbes, formes et perspectives sont dégagées beaucoup plus aisément, le dialogue est rendu plus fructueux.

Ceci a des conséquences qu'on peut considérer comme radicales, dont témoignent les architectes les plus avancés dans ce domaine. Ainsi, la durée de réalisation des maquettes est très réduite. Là où il fallait un à deux mois pour réaliser une maquette à la main, il est d'ores et déjà possible de réaliser et présenter en une à deux semaines tout un éventail de maquettes. Par ailleurs, la créativité est rendue plus facile, tant celle de l'architecte que celle du client, toutes les simulations sont effectuées en un délai très court. Enfin, le lien entre le projet et son environnement physique est naturellement plus aisé à saisir que dans le cadre d'une visualisation numérique y compris en 3D.

On constate que les choses vont très vite : les cabinets s'équipent en imprimantes avec des courbes d'apprentissage rapides, car il n'est pas nécessaire de traiter des matériaux très complexes pour ce type de maquette. Des sociétés de service se sont positionnées sur ce créneau, ainsi que des fabricants d'imprimantes tels que Stratasys.

► CONSTRUCTION

Il faut tout d'abord rappeler que le secteur du bâtiment est coutumier de la fabrication additive ! Ajouter des pierres ou des briques relève bien de ce procédé. Il ne reste plus qu'à les imprimer pour parvenir à une forme de fabrication additive intégrée. Nous en sommes ici au stade de la recherche appliquée mais d'ores et déjà d'importants résultats ont été obtenus. Des chercheurs de l'université Cornell ont ainsi récemment mis au point un système, PolyBricks, basé sur des composants en céramique et qui évite l'usage d'un mortier. Ils utilisent pour ce faire une imprimante à jet d'encre et une poudre qu'ils ont élaborée puis des procédés de cuisson pour les pièces sorties de l'imprimante. Les logiciels qu'ils ont développés et qui sont en accès libre peuvent s'appliquer à des murs ou des voûtes.



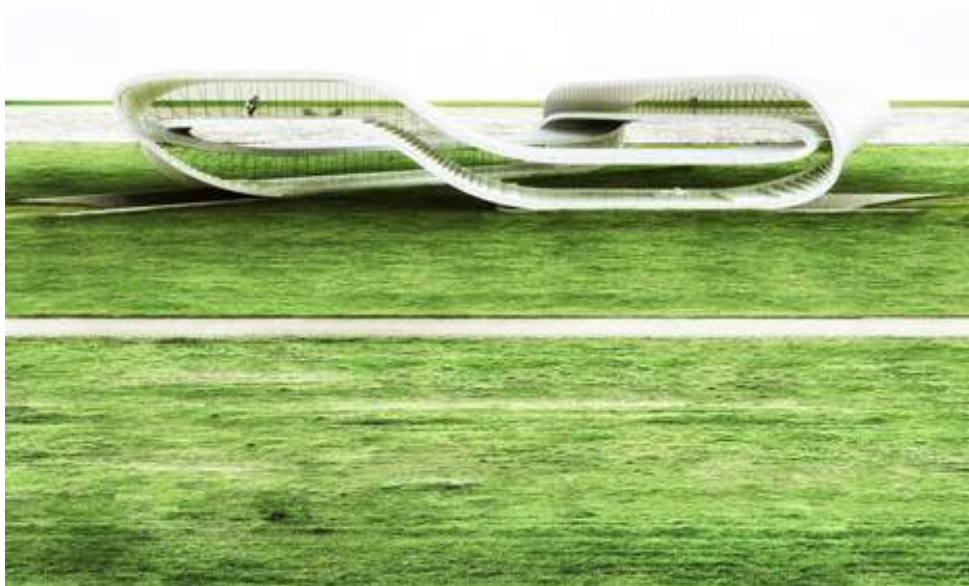
Source : polyBricks - <http://3dprint.com/6684/polybricks/>

Au niveau d'une impression plus globale, le pionnier est incontestablement l'entrepreneur/inventeur italien, Enrico Dini. Passionné par cet enjeu, cet ingénieur en robotique spécialisé dans l'industrie de la chaussure y a consacré sa vie. Son premier succès remonte à 2005, lorsqu'il parvint à imprimer une première structure architecturale, le Radiolaria, conçue par l'architecte/designer Andrea Morgante. Il a depuis lors mis au point une machine, dont le nom est D-Shape, la plus grande imprimante du monde, permettant d'imprimer des structures de grande taille par couches successives en utilisant des matières locales, notamment du sable.



Source : D-Shape - <http://www.d-shape.com/>

C'est en 2009 que sa notoriété a pris de l'essor, après qu'a été rendu public le projet sur lequel il a travaillé avec l'architecte néerlandais Janjaap Ruijssenaars, du cabinet Architecte Universe : celui d'une « maison de Moebius », qui a l'apparence d'un ruban de Moebius, où sont imprimées les formes extérieures des sols et des plafonds. Ce projet a été présenté à l'occasion d'un concours architectural pour un site naturel en Irlande. Il n'a pas gagné mais est toujours en cours, en vue d'être réalisé dans un parc brésilien ou pour un particulier aux Etats-Unis. La surface est de 4000 m² et le prix de la maison est de l'ordre de 5 millions de dollars. Sa réalisation va prendre environ 18 mois, dont 6 pour la seule impression, qui superpose des couches de 5 à 10 millimètres d'épaisseur.



Source : [Janjaap Ruijsenaars](http://www.tuxboard.com/landscape-house-le-premier-batiment-au-monde-imprime-en-3d/)

<http://www.tuxboard.com/landscape-house-le-premier-batiment-au-monde-imprime-en-3d/>

Notons au passage que l'innovation technologique d'Enrico Dini n'a pas toujours reçu une réception favorable, elle fut même rejetée par Renzo Piano et Massimiliano Fuksas. En revanche, Foster + Partners à Londres se sont montrés très intéressés. Les projets se poursuivent aujourd'hui, tels celui en cours au Koweït de troncs d'arbres imprimés afin de créer de nouvelles zones d'ombre. Enfin, on trouve chez Dini comme chez d'autres acteurs le désir d'amener quelque chose et de fort à l'humanité, ainsi dans son cas l'idée de pouvoir construire des maisons à très faible prix et très économes en énergie pour des populations déshéritées, par exemple en utilisant le sable du désert comme matière première.

Les choses aujourd'hui s'accélèrent. L'architecte américain Adam Kushner est entré dans le jeu en 2014. Désireux d'amener aux Etats-Unis des imprimantes de D-Shape, il a lancé D-Shape USA avec Enrico Dini, en associant à ce projet James Wolff, cofondateur de Deep Space Industries, entreprise du secteur spatial qui a travaillé avec la NASA. Adam Kushner a conçu et réalise aujourd'hui une maison en 3D à Gardiner, dans l'Etat de New-York. Imprimée en utilisant des matériaux locaux, c'est une maison de 800 m² avec quatre chambres, qui dispose également une piscine intérieure et un poolhouse. La réalisation s'étale sur deux ans. Adam Kushner estime qu'elle sera moins chère qu'une maison construite sur un mode traditionnel, notamment parce que la part de la main d'œuvre dans le coût de revient est négligeable.

Les Etats-Unis offrent d'autres illustrations de réalisations et projets novateurs. Behrokh Khoshnevis, professeur à University of Southern California, a conçu une imprimante 3D colossale, selon une technologie appelée Contour Crafting, qui pourrait imprimer une maison en 24 heures. Cette initiative, aujourd'hui en phase de test, pourrait casser les prix de la construction, faciliter grandement la reconstruction après une catastrophe naturelle, régler le problème des bidonvilles. Notons que Contour Crafting a gagné le grand prix de *2014 Create The Future Design Contest*, attribué par la NASA. L'intérêt que porte la NASA à cette technologie tient au fait qu'elle va pouvoir permettre de construire des structures d'habitat et de laboratoires sûres, fiables et bon marché pour la Lune et pour Mars, avant même l'arrivée des hommes, sachant que le retour sur la Lune est planifié pour 2020.

Citons enfin le cas du château de fantaisie réalisé dans le Minnesota en 2014 par Andrey Rudenko, qui développe maintenant le projet d'un village de fantaisie entier à *la Disneyland*.



Source : Andrey Rudenko - Photo via Design Boom <http://curbed.com/tags/castles>

L'impression 3D se développe également rapidement en Chine. Une spectaculaire initiative y a vu le jour : à l'extrémité Nord du nouveau « Gateway Park » s'implantant sur le site de l'ancien aéroport de la ville de Taichung, le projet « Nid d'Hirondelle » constitue une véritable porte d'entrée vers ce nouvel écosystème urbain. En effet, le projet se développe sous la forme d'un anneau de Möbius tridimensionnel qui extrude sa section triangulaire autour d'un chemin elliptique. Cet écrin organique est donc créé par la simple répétition d'une même section standardisée qui tourne quatre-vingt fois de 4,5 degrés dans le sens horaire pour effectuer une révolution complète de 360 degrés autour d'un immense patio central. L'architecture est inspirée de la nature et semble croître harmonieusement telle une plante depuis la terre vers le ciel.

D'un point de vue technique, ce projet d'une géométrie complexe pour la charpente métallique repose sur la répétition d'éléments standards et simples. En effet, la section type en forme de triangle isocèle est réalisée avec trois grandes poutres tubulaires formant une arche. Les 80 arches sont reliées entre elles, à leur centre et à leurs extrémités, par des méga-colonnes qui forment les arrêtes principales et répartissent les charges au sol. La torsion à 360 degrés des trois faces du triangle est conçue sous forme de trois surfaces réglées facilement décomposables en panneaux plats de façade pour une faisabilité plus pragmatique et un meilleur contrôle des coûts, l'ensemble constituant un ruban de Moebius, dont on retrouve l'intérêt.



© Vincent Callebaut Architecte

Il est également fait état de réalisations dans des registres symétriques en termes de simplicité. Ainsi, il y a quelques mois, des photos ou vidéos venant de Chine et montrant la construction en utilisant une méthode de fabrication additive d'un immeuble ou de maisons assez frustes ont fait le tour du monde. Leur prix de revient serait de quelques milliers d'euros.

Au niveau européen, la situation évolue également rapidement. Ainsi, l'impression 3D est-elle directement utile pour finaliser comme il est prévu la Sagrada Família à l'échéance 2026, anniversaire de la mort de Gaudí. La tâche est immense ; « Antoni Gaudí a réalisé peu de dessins de la Sagrada Família, qui est de toute manière tellement complexe qu'elle est quasiment impossible à dessiner, en tout cas avec des projections architecturales normales », rapporte au journal Le Monde Peter Sealy, un chercheur à Design School de Harvard. Les piliers eux-mêmes sont organisés comme des ramures d'arbres gigantesques. La BBC vient de révéler que depuis 2001, la construction de l'édifice commencé en 1882 se poursuit effectivement avec l'aide de l'impression 3D.

D'abord, des maquettes permettent de mieux visualiser les options de construction – beaucoup de plans et de maquettes laissés par Gaudi ayant été détruits par un incendie lors de la guerre civile espagnole.



Source : BBC // <http://www.bbc.com/news/technology-31923259>

« Les intentions de Gaudi en termes de design peuvent être reproduites a posteriori à partir de ces modélisations, qui peuvent alors être utilisées pour redévelopper des modèles – la façon de travailler dans l'atelier de Gaudi continue, mais désormais avec des impressions en 3D des modèles en plâtre –, et pour la fabrication, avec des pierres découpées par des machines, et du béton coulé dans des moules réalisés à l'échelle 1:1 par des impressions en 3D. Ce n'est pas rien ! » poursuit le chercheur de Harvard dans son échange avec le journal Le Monde.

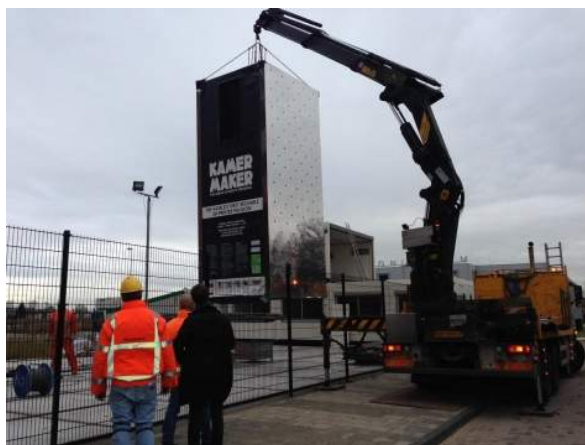
L'impression 3D est également au cœur de l'esthétique et de la conception de la ville du futur. Imaginés par Chimera design, agence de design et de branding, pour un urbanisme du futur à Londres, les « Mangal City » sont des gratte-ciel futuristes en spirale, directement inspirés de la mangrove qui est un écosystème complexe de végétaux ligneux se développant dans les zones marécageuses des régions tropicales. Les « Mangal City » sont ainsi conçues comme des systèmes écologiques urbains complexes intégrant aussi bien des logements que des espaces publics et culturels. Ils combinent avec les moyens classiques de construction du *generative design*, de la découpe laser et de l'impression 3D.



chimera

Source : Mangal City - lemonde.fr

Parmi d'autres initiatives, on peut citer tout particulièrement l'initiative 3D Canal house printing qui émane de Dus Architects à Amsterdam. L'objet est de réaliser des Canal Houses (maison de bord de canal) entièrement imprimées. Le cabinet d'architecte a conçu à cette fin une imprimante, appelée KamerMaker, qui permet d'imprimer des objets allant jusqu'à 2m x 2m x 3,5 mètres et a d'ores et déjà mise à contribution pour imprimer la première canal house en 2014.



Source : 3d print canal house

Quelles perspectives ?

Il est aisé de comprendre que les perspectives de l'impression 3D en architecture et construction sont infinies. Elle facilite drastiquement le maquettage. Elle permet de réaliser le plus complexe mais aussi le plus simple. Elle libère la créativité. Elle est profondément écologique, en utilisant les matériaux locaux mais aussi en diminuant les coûts environnementaux. Ainsi, selon les protagonistes de Contour Crafting, les émissions de CO₂ et l'énergie grise (quantité d'énergie inhérente au cycle de vie d'un produit) seront respectivement abaissés de 75% et 50%. Les délais de réalisation seront également graduellement raccourcis et il arrivera un temps où une maison pourra être produite naturellement en quelques jours (voire un jour), pas seulement lorsqu'elle est rudimentaire. Enfin, le coût pourra être régulièrement abaissé. Il suffit d'avoir à l'esprit la part de la main d'œuvre dans le prix de revient d'une construction (de l'ordre de 45%) pour anticiper les enjeux de cette baisse. On comprend bien, symétriquement, l'importance des conséquences que cela voit avoir sur l'emploi, les compétences, les effets d'entraînement dans l'économie, pour lesquels une révolution culturelle est indispensable et ne pourra pas être occultée bien longtemps.

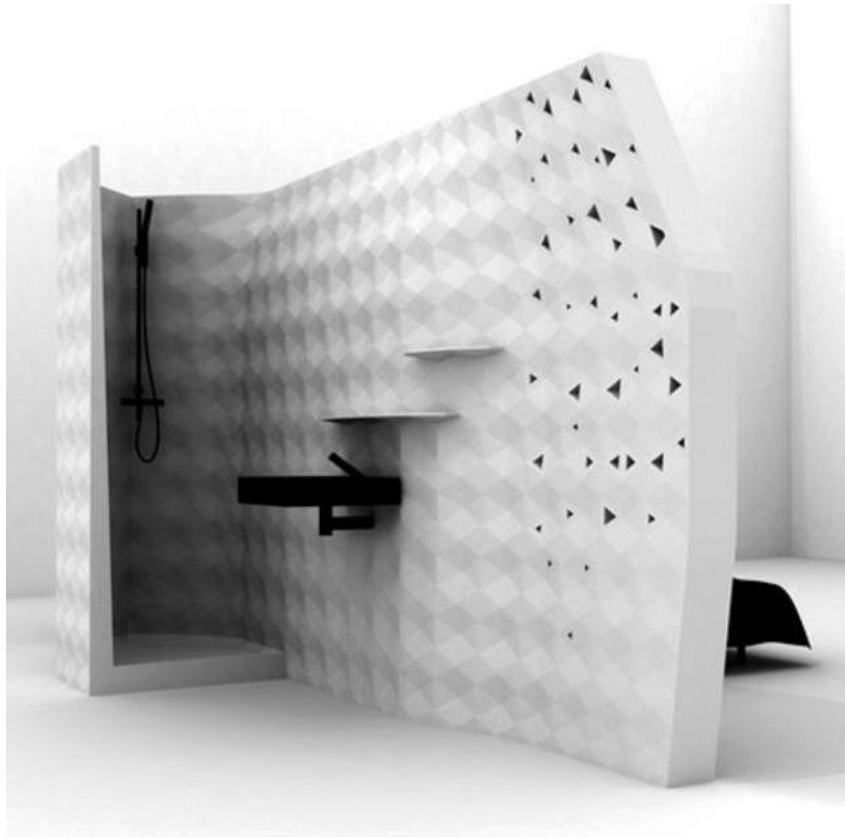
Soulignons enfin que l'architecture et la construction sont concernées par le phénomène des makers autant que les objets de plus petite taille. L'architecte américain Alastair Parvin s'est saisi de ce défi en concevant la WikiHouse. Cela repose sur la formation d'une communauté en open-source (www.wikihouse.cc) dont le principe est de proposer un ensemble de briques modulaires pour construire une maison : les outillages, les structures, la thermique, l'eau, l'électricité, les ouvertures, le collecteur des eaux usées, les capteurs intelligents pilotant la maison du futur et les conseils pour la construction ou l'assemblage... Il est bien sûr possible de customiser sa fabrication et de la faire fabriquer localement, en utilisant notamment des imprimantes 3D.

2. Design et aménagement

En matière d'habitat, l'intérieur est aussi concerné que l'extérieur. La possibilité d'imprimer des objets de la maison est certes d'ores et déjà bien connue. Une difficulté est ici que les interactions avec le numérique, l'électronique et la robotique sont très étroites, y compris du point de vue de l'occupant d'un lieu. Mais de nouvelles opportunités apparaissent jour après jour.

► CLOISONS ET HABITAT

Ce champ est encore modérément développé mais il est une expérience française dont il faut rendre compte : à l'initiative de Gérard Laizé, directeur général du VIA (Valorisation de l'Innovation dans l'Ameublement) et sous la forme d'une « carte blanche » qui lui a été donnée, le designer François Brument a réalisé un nouveau type de cloisons. Il a pour cela fait appel à la société allemande Voxeljet, spécialisée dans la fabrication additive par frittage de poudre et accoutumée aux grandes dimensions (4m x 2m x 1m). Expérimentée dans l'impression de moules de fonderie pour l'industrie automobile, elle est intervenue ainsi pour la première fois dans le champ de l'habitat. Le projet a été exposé au salon Maison & Objet en 2013, après deux années de travail.



Design : François Brument. Carte Blanche VIA 2012/2013 c In-Flexions

On peut ici laisser la parole à François Brument : « tout est modulable, le volume de la cloison, sa texture, sa granularité, son épaisseur, son ouverture, son orientation ainsi que sa plastique et sa géométrie, les surfaces permettant des effets variés comme la pose d'étagères, l'emplacement de réserves spatiales dans lequel on peut glisser des accessoires muraux ». Sont également intégrés le chauffage, les réseaux électriques, la plomberie, les blocs sanitaires et le mobilier.

D'une certaine manière, nous sommes encore au stade de la R&D. Le coût de cette réalisation est ainsi de plusieurs dizaines milliers d'euros. Mais elle montre clairement la voie de développements commercialisables à l'avenir.

► DESIGN MOBILIER

L'industrie de l'ameublement est très concernée par la fabrication additive. Les designers peuvent ainsi combiner méthodes traditionnelles et nouvelles, aussi bien en les combinant qu'en ayant recours à une approche classique du finissage après une phase 3D. Certains designs seraient bien difficiles à réaliser sur un mode classique, ainsi cette chaise, émanant d'une ligne appelée Sketch conçue par Front, un studio design suédois.



Source : Front Design, *Sketch Furniture chair*.
Pièce obtenue par stéréolithographie

Relatons plus haut certaines des créations du designer Patrick Jouin, qui utilise fréquemment et avec succès l'impression 3D. Ainsi, la lampe Bloom, d'inspiration végétale tendance Robocop, qui est imprimée en un morceau et apparaît telle une fleur en train d'éclorre, ou le très élégant tabouret one shot, produit par i-materialise, qui se dépie comme une ombrelle.



Source : Bloom by Patrick Jouin



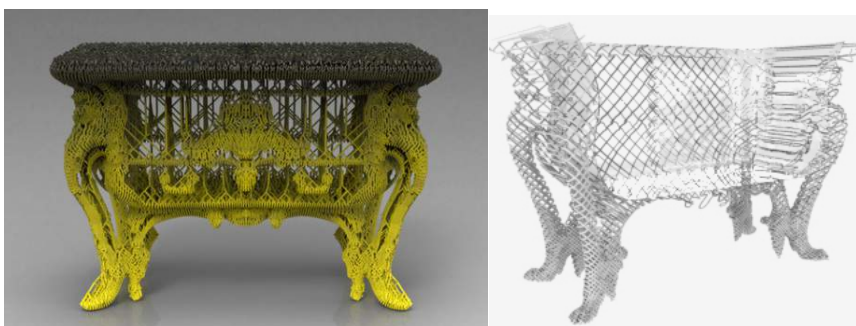
Source : Tabouret One Shot .mgx Patrick Jouin

Il est tout aussi possible de donner vie à des meubles anciens. Ainsi, le Château de Versailles a eu l'heureuse initiative de lancer fin 2014, le Hack King's Design, où il s'est agi « d'imiter le style du Roi » en réinventant la fameuse commode de Louis XIV dessinée par Louis-Charles Boulle grâce à l'impression 3D.



Source : Hack King's Design - <http://www.hackkingsdesign.com/?lang=fr>

Plus de 500 projets ont été adressés et les prix ont été décernés tout récemment. Le prix dans la catégorie professionnels a été gagné par un architecte et deux designers tropéziens, Vincent Coste, Jérôme Garçon et Jean-Baptiste Sénéquier, qui ont « extrait l'ornement de la commode et laissé le logiciel d'impression 3D l'interpréter ». L'impression 3D est ainsi conçue non seulement comme le dépassement de la main mais aussi celui de l'imaginaire.



Source : Hack King's Design - <http://www.hackkingsdesign.com/?lang=fr>

Dans la catégorie 'étudiants', le prix a été gagné par Jeanne Talonneau, qui a réalisé une « ode à la banquette », apportant à cette banquette légèreté et confort (ci-dessus photo droite).

A travers ces différents exemples, on comprend bien à quel point l'impression 3D ne consiste pas à faire les choses à l'identique mais ouvre un potentiel gigantesque de créativité.

► QUELLES PERSPECTIVES

Le potentiel est ici également immense et s'applique bien sûr par extension à l'ensemble des objets de la maison. Ceci étant établie, un sujet majeur est d'imaginer ce que sera l'habitat du futur et la manière dont l'impression 3D, les objets connectés, la robotique, le numérique en général, le paradigme écologique vont s'interconnecter. C'est un sujet de prospective très stimulant pour l'élaboration de l'habitat de demain. Sans oublier les impacts de l'impression 4D sur les changements de forme et de couleur, qui pourront donner à l'habitat un mouvement dans le temps, de même que l'impression 3D et la flexibilité qu'elle induit lui donnera un mouvement dans l'espace. Les innovations à venir se feront en fonction des progrès technologiques, des idées et mises en œuvre des designers et des particuliers/makers, de l'instauration de nouveaux modèles économiques.

B. MODE, LUXE ET ACCESSOIRES

La mode, le luxe, les accessoires, se prêtent particulièrement bien à l'impression 3D. L'évaluation de son potentiel dépend certes du type de matière et de produit, il est évident dans certains cas, encore ambigu dans d'autres. Il est également certain que la créativité tient une grande place dans cet environnement et que l'impression 3D ouvre comme nous allons le voir d'immenses perspectives en la matière.

1. Les matériaux souples

► VÊTEMENTS

La fabrication additive n'a en soi rien de nouveau dans la filière textile. Le principe même du métier à tisser consiste à ajouter et aligner des fils. Il est certain par ailleurs que si les technologies textiles ont substantiellement évolué au fil du temps, la typologie des technologies (filature, tissage, tricotage) n'a elle pas changé. Quant aux technologies de la confection, elles ont toujours échoué à intégrer l'automatisation, en dépit des espoirs que celle-ci a maintes fois suscité. Il faut souligner à cet égard la difficulté qu'il y a à « maîtriser le flou ».

Il est clair que l'impression 3D amène une ère nouvelle dans ce système très bien rodé, qui a joué par ailleurs le rôle de laboratoire de la mondialisation en anticipant une géographie mondiale de la production qui s'est ensuite largement banalisée. Nous en sommes au stade de l'expérimentation mais les perspectives de la 3D sont stimulantes. Nous pouvons ici en donner des exemples concrets et récents.

Le premier émane des créations d'Iris Van Herpen, qui n'est pas une inconnue. Jeune créatrice néerlandaise, elle est en effet membre invité de la Chambre syndicale de la Haute Couture depuis 2011 et dispose de sa propre marque. Elle a de surcroît gagné en 2014 le grand prix de l'ANDAM (Association Nationale pour le Développement des Arts de la Mode) qui identifie les talents les plus prometteurs à l'échelle mondiale. Elle a eu très tôt le désir d'explorer de nouvelles pistes créatives et le potentiel de nouvelles matières, en collaborant avec des artistes, architectes et designers tels que David Widrig, Neri Oxman ou Julia Koerner. On notera qu'ils sont tous les trois également engagés dans l'enseignement et la recherche en design (respectivement à University College London, au MediaLab du MIT et à UCLA) ; également que ces recherches créatives sont totalement cosmopolites.

Il n'est pas surprenant par ailleurs que l'introduction formelle de l'impression 3D dans les collections d'Iris Van Herpen en 2013 ait pu se faire, d'une part avec Stratasys, d'autre part avec i-Materialise. La coopération a ici porté sur les matériaux souples mais aussi les matériaux durs, permettant également, pour reprendre les termes de Neri Oxman, de « réinterpréter la notion de couture en tant que tech-couture où les délicates broderies à la main et le travail avec une aiguille sont remplacés par le code ». Ceci étant dit, l'idée plus générale est de combiner ces technologies avec des techniques artisanales très traditionnelles, dans la perspective d'un modèle économique viable.



Source : Iris Van Herpen - <http://modelab.fr/comment-limpression-3d-revolutionne-la-mode/>

Le deuxième exemple est celui du défilé Victoria Secret de décembre 2013 où la mannequin Lindsay Ellingson a fait particulièrement sensation : après qu'elle a été entièrement scannée, elle apparut en effet parée d'une tenue aux formes fractales entièrement imprimée. Cette tenue était composée d'un corset et d'ailes élaborés dans un nylon léger, incrustés de toutes parts de cristaux Swarovski, avec un degré de souplesse de matière délibérément variable. Ceci a été rendu possible par une collaboration approfondie entre Victoria Secret, Swarovski et Shapeways. L'architecte de Shapeways, Duann Scott a alors souligné le pouvoir qu'offre l'impression 3D de réaliser des choses complexes dans la mode sans coût ni travail additionnel.

Le troisième exemple est celui d'une robe portée par Lady Gaga le 11 novembre 2013, dessinée par Xie Wei Long, designer/architecte et assistant de Zaha Hadid, conçue par l'entreprise londonienne Studio XO, qui combine la science, la technologie, la mode et la musique, et l'on retrouve logiquement i-Materialise pour la réalisation.

Enfin, Karl Lagerfeld, toujours à l'affût de la modernité dans tous ses aspects, a imprimé des vestes et tailleurs constitués d'une seule pièce (techniques 3D) à l'allure intemporelle, présentés lors de la fashion week de la haute couture en juillet 2015.

► CHAUSSURES ET SACS

L'impression 3D se prête davantage à ce type de produit que les vêtements. Nike est ici une entreprise motrice : l'impression 3D est une de ses priorités technologiques et son CEO et Président Mark Parker a récemment déclaré qu'elle a un « potentiel énorme ». Cette perspective est d'autant plus intéressante que Nike réunit la culture de mode et celle du sport. Ainsi a-t-elle communiqué sur son premier prototype 3D en 2013, dont une caractéristique était d'être extrêmement léger (159 grammes). Cette innovation n'est pas isolée et se marie en particulier à celle qui a conduit à la *Flyknit*, qui a permis d'économiser 80% pour cent de déchets de matière tout en octroyant des caractéristiques techniques améliorées.

Notons qu'Adidas n'est pas en reste, ayant mis au point la *springblade* grâce à l'impression 3D en s'appuyant pour ce faire sur une coopération avec l'entreprise chinoise Shining, située à Hangzhou. L'intérêt de la fabrication additive est ici qu'elle permet de combiner l'usage de différents types de plastiques mieux que le traditionnel moulage par injection.



Source : Flyknit, Nike - www.nike.com/us/en_us/c/innovation/flyknit et Springblade, Adidas - www.adidas.fr/springblade

Il n'y pas que les grands du sport. On trouve également dans la chaussure des pure players, tels que Feetz dont la fondatrice, Lucy Beard, après avoir passé sept ans dans l'entreprise de jeux vidéo Zynga dans la Silicon Valley, a eu l'idée de lancer une entreprise de chaussures en 3D en 2013 alors qu'elle se trouvait chez Starbucks, réalisant que les machines pouvaient y générer 87.000 différents types de cafés. Pourquoi ne pouvait-il pas en être de même pour la chaussure ? On retrouve l'idée de la customisation comme moteur, se liant à celle de boutiques différentes et d'un nouveau mode de vie.



Source : Feetz - www.feetz.com

Un autre cas mérite d'être cité, celui de United Nude, entreprise créée en 2003 et spécialisée dans les hauts talons, dont les fondateurs ont d'illustres antécédents, puisqu'il s'agit de Rem D Koohlaas, un neveu de Rem Koohlaas et de Galahad Clark, qui appartient à la septième génération de la dynastie des Clarks. United Nude a en effet initié des projets en impression 3D, dont le design a été réalisé par Zaha Hadid et Ben van Berkel, également architecte.

Quant aux sacs, des designers s'intéressent à l'identique à ce que peut apporter la fabrication additive. C'est le cas de Pasquale Bonfilio, qui a conçu voici deux ans un sac en TPU (polyuréthane thermoplastique) qui a eu un bon écho.



Source : Pasquale Bonfilio

► QUELLES PERSPECTIVES

Ces différentes expériences sont brillantes et prometteuses. Elles ont toutefois leurs limites à ce jour. La fabrication additive est loin de pouvoir apporter des solutions à la gestion du flou, de la fluidité et de la souplesse. D'une certaine manière, la difficulté est d'autant plus grande que le matériau est souple et que sa forme évolue avec le mouvement. Ceux qui prétendent – ils sont nombreux, qu'il s'agisse de prospectivistes ou de scientifiques - que les problèmes sont réglés pour le vêtement ont une connaissance très superficielle de la mode et de sa complexité technique et esthétique.

Prenons le cas d'Iris van Herpen, qui est précisément respectée dans la mode pour son travail de recherche et dont il est possible que cela demeure l'axe central de son approche dans les années à venir. Ses innovations techniques ne suffisent pas en tout cas à en faire une créatrice de mode dont la marque serait appelée à se développer à une plus vaste échelle, même si elle en a elle-même le potentiel. L'enjeu est ailleurs, dans le lien entre création, design et culture de mode. Et si l'on prend le cas de Victoria Secret, ce fut une expérience qui relevait de la préparation d'un show, d'une communication innovante et d'un effet de surprise. Elle n'a pas été renouvelée en 2014.

Par ailleurs, les problèmes de matériau textile utilisable en 3D ne sont nullement réglés. En matière de vêtement et de lingerie, celui qui est le plus avancé aujourd'hui est le cosyflex, conçu par l'entreprise britannique Tamicare par partir d'élastomères et de filaments de coton et utilisé en lingerie. Nul doute toutefois que la R&D va s'intensifier.

Il faut en résumé suivre de près ce qui se passe mais sans s'enthousiasmer à l'excès, comme on le fit dans les années 60 en s'imaginant qu'on s'habillerait en l'an 2000 comme le prévoient Paco Rabanne et Pierre Cardin. On pourra toutefois créer le moment venu de nouveaux matériaux, produisant par exemple des effets *seconde peau*. Par ailleurs, les vêtements techniques pourront très directement bénéficier de ce potentiel d'innovation (légèreté, protection, etc.) à l'image de ce qu'il en est pour la chaussure et le sac.

Dans l'industrie de la chaussure et de la maroquinerie, le potentiel est plus aisé même si beaucoup reste à faire. Cela dépendra notamment de la vitesse de l'innovation technologique, des progrès dans les matériaux, de l'appropriation de la 3D par les designers et de la mise en place de modèles économiques viables, à un moment où le savoir-faire traditionnel est mis en avant par les marques fortes et où les consommateurs y sont tout autant sensibles qu'à aux innovations technologiques.

Il est certain en revanche que l'industrie du sport trouve avec l'impression 3D un terrain de prédilection par les propriétés techniques qu'elle peut amener et le potentiel infini de customisation.

Il est enfin intéressant de constater que l'impression 3D peut donner naissance à de nouveaux types d'innovations technologiques. Rappelons ici que le tissage 3D n'est pas nouveau. Le Shenkar College, en Israël, a ainsi développé il y a plus de dix ans une technologie permettant d'élaborer des tissus que le tissage 3D rendait d'une grande robustesse, permettant de pouvoir résister à un tir de roquette.

Le climat ambiant actuel stimule les innovations. On peut citer le cas d'un étudiant en innovation et technologique et design du Royal College of Art, Oluwaseyi Sosanya, qui a inventé en 2014 une machine tout à fait pertinente. Inspirée à la fois par les métiers à tisser et les imprimantes 3D par dépôt de fil fondu, elle conduit à un procédé qui extrude le fil de façon telle que la matière obtenue reste flexible. Elle a ainsi pu être utilisée en particulier pour des semelles de chaussure.



Source : Oluwaseyi Sosanya - <http://fashionlab.3ds.com/digital-loom-waves-in-3d/?lang=fr>

2. Les matériaux durs

La fabrication additive a ici une application plus directe et un potentiel substantiel qu'on peut qualifier d'immédiat, même si ici comme ailleurs de nombreuses questions techniques et de modèle économique continuent de se poser. Ce potentiel s'applique dans tous les domaines. Pour illustration, Luxe Pack Monaco, le salon le plus établi de la scène internationale en packaging de luxe en tout registre, a-t-il consacré un espace à l'impression 3D à l'automne 2014. Nous allons ici nous pencher sur deux secteurs : l'optique et la bijouterie-joaillerie.

► L'OPTIQUE

Le secteur des montures de lunettes est en pleine révolution. Certaines sociétés proposent déjà des montures personnalisées fabriquées à l'aide d'imprimantes 3D, comme la société australienne Sneaking Duck ou l'américaine Make Eyewear qui vend ses montures au travers de Shapeways. Le designer Ron Arad a également développé une ligne de montures fabriquées par imprimantes ; la société Eyewear Kit propose des guides pour permettre de réaliser la « monture de ses rêves », toujours via une imprimante 3D. La société Frameri propose une variété de montures interchangeables sur lesquelles s'adaptent les verres.

Lissac a également expérimenté le concept de fabrication personnalisée dans l'un de ses espaces depuis 2014 et compte à terme étendre cette expérimentation de customisation de monture à l'ensemble de ses points de vente. Les modèles de l'entreprise Sneaking Duck présentés ci-dessous sont ainsi imprimés en 3D.



Source : ESSILOR

Témoignage de Laurent OULES, Directeur, Plan & Technologies, Global Engineering, Essilor International

« Nous utilisons l'impression 3D pour des prototypes d'outillages de nouveaux procédés en R&D et Engineering, mais également (dans un nombre de cas limités : faibles volumes, formes spéciales complexes, etc.) pour de la fabrication d'outillage utilisé en production de série ou (c'est également un élément du système de production) pour de la mesure/contrôle qualité.

Le potentiel disruptif "exploité" est donc probablement à ce stade moins sur les coûts (l'outillage est un élément "périphérique" sur la structure de coûts globale) mais fondamental sur la vitesse de développement et d'introduction d'innovation produits/process. Nous gagnons probablement plusieurs semaines/mois sur des développements de nouveaux produits (environ 200 par an) et de nouvelles technologies traditionnelles (ou disruptives), ce qui nous apporte un avantage compétitif significatif sur un marché particulièrement dynamique et concurrentiel ».

3. La bijouterie - joaillerie

L'impression 3D se prête particulièrement bien à la bijouterie-joaillerie. Petite série, pièce unique et customisation sont au cœur de ses enjeux. Et il suffit de consulter le site de i-materialise pour prendre acte de l'étendue des possibilités. Tous les matériaux, notamment les matériaux précieux, peuvent donner lieu à impression : or, argent, résine, céramique, etc. Et tous les alliages sont également possibles, nonobstant des difficultés techniques et de savoir-faire à résoudre.

Profitant de ce créneau, des startups se créent telles que Gemmyo, entreprise française de bijouterie et joaillerie en ligne créée en 2011 qui propose aux consommateurs de jouer sur une palette de 15 pierres et 6 métaux précieux. Gemmyo se positionne comme disposant de sa propre compétence et image en style et design, mais d'autres approches apparaissent sur le marché, telle que celle de Zazzy, entreprise néerlandaise qui joue délibérément sur la créativité des consommateurs, ce qui est illustré par son slogan : « you do the chic, we do the geek ». Par ailleurs, les designers eux-mêmes peuvent s'appuyer sur ces nouveaux intermédiaires et producteurs, à l'image de Sculpteo ou i-materialise, pour donner vie à leurs propres créations.

► QUELLES PERSPECTIVES ?

Le bouleversement très rapide en cours incite les entreprises de ces secteurs à suivre, accélérer ou anticiper le mouvement. C'est vrai des *pure players* comme des groupes. Le même diagnostic vaut pour l'horlogerie, où une entreprise suisse de prototypage rapide telle que Zedax a développé une expertise adaptée. Le développement de la fabrication additive dans ces secteurs dépend de deux facteurs importants : l'aptitude à conjuguer les nouvelles méthodes aux savoir-faire traditionnels de finissage des produits ; la maturité technologique des entreprises, qui peut être facilitée par l'acquisition de machines adaptées et dont l'utilisation est raisonnablement complexe. C'est le créneau du singapourien Kevvox, qui vante la simplicité du software et de l'interface de ses imprimantes et adresse sur cette base le marché de la bijouterie-joaillerie comme il le fait pour celui des prothèses dentaires. Il faut toutefois sur un plan plus général se méfier de cet argument de simplicité : la bonne maîtrise des technologies additives est incontournable, il est encore trop fréquent que des investissements se retrouvent en sommeil dans un coin de l'usine ou de l'atelier !

Enfin, il est aisé de percevoir, d'une part que les méthodes de design sont en train de changer et qu'un danger est celui de la focalisation sur un savoir-faire supposé immuable, alors que de nouveaux savoir-faire hybrides vont apparaître ; d'autre part, que ce secteur sera particulièrement concerné par les risques inhérents au vol de la propriété intellectuelle. L'exigence de très haute qualité et de créativité du produit « vrai » n'en sera que d'autant plus grande.

Pour montrer l'ampleur des changements à venir et qu'il faut conduire en simultanément, nous allons ici reprendre dans un tableau récapitulatif l'ensemble des compétences à faire évoluer dans la bijouterie-joaillerie et dans tous les registres. Il va de soi que cette même approche s'applique à bien d'autres secteurs.

Enjeux Joaillerie	Enjeux génériques
<p>Machine</p> <p>Besoin de nouvelles machines pour les moules et les prototypes</p>	<p>Machine</p> <p>Nouvelles machines? Pour les produits finis? la réparation? les moules? le scanning?</p>
<p>Matériaux</p> <p>Nouveaux matériaux à inventer, notamment pour réaliser de nouvelles formes de bijoux, de nouvelles apparences visuelles, de nouveaux touchers</p>	<p>Matériaux</p> <p>Nouveaux matériaux? Poudres?</p>
<p>Fournisseurs</p> <p>Nouveaux fournisseurs de poudres, de pièces, de machines?</p>	<p>Fournisseurs</p> <p>Nouveaux fournisseurs de poudres, de pièces, de machines?</p>
<p>Conception Produits</p> <p>Nouvelle conception de produits de bijoux entrants ayant accès aux fermes</p>	<p>Conception Produits</p> <p>Nouvelle conception de produits? Enjeux de R+D? Nouvelle approche des matériaux? Nouveaux matériaux? Prototypage?</p>
<p>Production</p> <p>Possibilité d'utiliser des fermes plutôt que son propre outillage</p>	<p>Production</p> <p>Nouvelle organisation de la production (géographique, dans l'usine, etc.)? Possibilité d'utiliser des fermes plutôt que son propre outillage? Nouveau rôle des moules? Séries courtes possibles?</p>
<p>Design produits</p> <p>Nouvelle approche du design de produits nouveaux</p>	<p>Design produits</p> <p>Nouvelle approche du design de produits anciens, nouveaux? Réparabilité?</p>
<p>IT</p> <p>Nouveaux systèmes IT de la conception à la production</p>	<p>IT</p> <p>Nouveaux systèmes IT tout au long de la chaîne</p>
<p>Scanning</p> <p>Nouvelle approche du scanning</p>	<p>Scanning</p> <p>Nouvelle approche du scanning</p>
<p>Logistique</p> <p>Nouveaux canaux de vente par internet, surtout pour artisans et designers indépendants</p>	<p>Logistique</p> <p>Nouvelle logistique? Nouvelle approche de la longue traîne logistique?</p>
<p>Vente</p> <p>Nouvelle approche de la longue traîne</p>	<p>Vente</p> <p>Nouvelle approche de la longue traîne, nouveaux arguments de vente? Nouvelle approche collaborative de la vente?</p>
<p>Marketing</p> <p>Possibilité accrue de marketing par les réseaux sociaux</p>	<p>Marketing</p> <p>Nouvelles exigences des consommateurs? Réparabilité? Pièces détachées? Séries courtes possibles?</p>
<p>Nouveaux entrants</p> <p>L'AM un facteur important concurrentiel pour les acteurs actuels</p>	<p>Nouveaux entrants</p> <p>L'AM un facteur de concurrence pour les acteurs actuels? Possibilité de nouveaux entrants?</p>
<p>Eco système industriel</p> <p>Formation essentielle des ouvriers et créateurs</p>	<p>Eco système industriel</p> <p>Secteurs connexes concernés ex maintenance? Fournitures? Services annexes? Formation? Certification?</p>
<p>Marché Du travail</p> <p>Nouveaux savoir faire en quantité et qualité</p>	<p>Marché Du travail</p> <p>Nouveaux savoir faire en quantité et qualité? Anciens savoir faire à faire monter? Anciens savoir faire qui disparaissent? Impact sur santé, localisation, éducation?</p>

Source : Dominique Turcq

PARTIE 5

**RECOMMANDATIONS AUX
POUVOIRS PUBLICS ET À
L'ENSEMBLE DES ACTEURS
DE LA FABRICATION ADDITIVE**

Après trente ans de maturation, l'impression 3D est une technologie qui commence à multiplier les applications et l'attention des medias comme de certaines entreprises, même si on en est probablement encore aux balbutiements d'un potentiel qui parait immense - un peu comme le web il y a une vingtaine d'années.

Nous constatons une diversification déjà remarquable des matériels, matériaux, usages, gamme des services associés. L'amélioration globale de la qualité et l'accès dynamique tant aux marchés industriels que de consommation offrent une incontestable flexibilité aux modes de fabrication traditionnels, tout en ouvrant des pistes de développement inédites, voire futuristes, dont l'impact humain, social et sociétal promet d'être considérable.

Ce faisceau exceptionnel de possibilités favorise de réelles avancées : notre rapport en décrit quelques facettes qui ne sont que la partie la plus visible, émergée de l'iceberg. Beaucoup reste à appréhender, en matière d'innovation, de performance et de diversification.

Ce potentiel n'a pas échappé aux grandes nations industrielles, qui y voient une opportunité majeure pour améliorer une compétitivité bousculée par la compétition internationale, tout en relocalisant l'emploi et en étant davantage présentes sur les marchés internationaux.

Il en résulte une exacerbation de la concurrence, amplifiée par les plans d'appui publics des grandes puissances (USA et Chine notamment, mais l'Allemagne, la Grande-Bretagne ou Israël ont également des actions dédiées), qui visent à soutenir significativement, la R&D, la créativité, la mise à niveau des compétences, l'adaptation de leurs industries pour le maintien, voire la relocalisation et le développement de centres de fabrication sur leur sol, sans oublier de stimuler l'attractivité auprès des nouvelles générations comme des investisseurs : un objectif, gagner la compétition industrielle en utilisant ces nouveaux modes de fabrication et les innovations associées.

Tout porte à croire que nous sommes dans une phase d'accélération des développements – et même si une « bulle spéculative » est possible, une dynamique sur du moyen terme est suffisamment claire pour que la plupart des experts s'accordent à prédire à l'écosystème de la fabrication additive un taux de croissance très supérieur aux moyennes actuelles. C'est également notre analyse.

- Les technologies de l'advanced manufacturing et de la fabrication additive vont rebattre les cartes du développement industriel mondial au XXI^{ème} siècle.
- Après les révolutions de la décennie 2000-2015 amenées par le numérique et internet sur les services, celles des années 2015 – 2030 concerneront les produits et les services sur les produits.

Trois axes distincts apparaissent mais peuvent interagir :

- 1) Le développement scientifique, technologique ou technique permettant des ruptures qui assureront la compétitivité de nos centres de conception et de fabrication.
- 2) Le développement des innovations de toutes sortes, qui peuvent conquérir des marchés ou en ouvrir de nouveaux, innovations rapides, d'usages, et qui sont tout autant l'apanage de start-up que de groupes existants.
- 3) Le bouleversement potentiel du marché tant au niveau maintenance qu'impression à façon dans des ateliers certifiés, franchisés et à proximité des clients.

On peut s'interroger sur le positionnement actuel de notre pays face à cette dynamique internationale. Notre pays a beaucoup d'atouts à valoriser pour y répondre, parmi lesquels :

- De grands industriels dans les technologies de pointe, des centres de recherche et de savoir d'excellence publics et privés – dans tous les domaines – sur le plan scientifique et technologique – qui concourent à la fabrication additive, une grande maîtrise des technologies du numérique appliquées à la fabrication – CAO, FAO, modélisation, simulation, calcul scientifique par exemple.

- Des entrepreneurs brillants et déterminés, tant sur les innovations d'usage que technologiques, avec un « stock » de compétences accumulées pouvant reposer sur une ou plusieurs aventures entrepreneuriales auquel s'ajoute un flux continu issu des générations les plus jeunes ;
- Des talents et compétences avérés en marketing, design, créativité, qu'il s'agit d'arrimer à l'expertise scientifique et technologique.

Parallèlement à des soutiens de projets collaboratifs de recherche, il convient moins de dépenser plus que de mieux fédérer, organiser, informer, encourager les rencontres et échanges entre tous les acteurs qui peuvent être concernés par la fabrication additive.

Les prochaines années sont critiques pour la France : il lui faut consolider ses acquis, en combinant « French Touch » et « French Tech », de manière à se positionner comme l'un des leaders mondiaux dans un nombre foisonnant de secteurs, avec des centaines de milliers d'emplois qui sont en jeu.

L'enjeu consiste à aller plus vite, plus loin, en mobiliser davantage d'acteurs, de secteurs et de générations : tel est l'objet des 17 recommandations ci-après, qui se répartissent en deux catégories. La première porte sur le développement industriel et technologique, la seconde sur le développement des actions économiques et sociétales.

A. LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL ET TECHNOLOGIQUE

RECOMMANDATION 1 :

FAIRE VIVRE UNE STRATÉGIE NATIONALE TRANSVERSE, MULTISECTORIELLE POUR DÉVELOPPER LES TECHNOLOGIES AVANCÉES DE LA PRODUCTION

La maîtrise et les développements qui viendront des technologies avancées de la production reposent sur une multitude de briques technologiques, et c'est évidemment le cas pour la fabrication additive. Tout en restant réaliste sur le peu de moyens budgétaires disponibles, il convient de les faire sortir d'une logique incrémentale de travaux en silo pour plus de transversalité car les sauts technologiques se feront par combinaison et interpénétration de techniques, de recherches, de technologies, de problèmes à résoudre sur les applications : il s'agit du cœur des points de convergence des technologies numériques et des technologies les plus pointues du monde de la production.

RECOMMANDATION 2 :

FAVORISER LA CRÉATION D'UN INSTITUT DE LA FABRICATION ADDITIVE EN TANT QUE STRUCTURE DE RÉFÉRENCE

La vocation de cet institut, structure légère, serait de :

- favoriser les échanges réunissant les milieux professionnels et académiques ;
- aider à définir des stratégies, des feuilles de route pour des projets de recherche et les capitaliser pour mieux diffuser et informer ;
- être un centre de référence en langue française, qui retransmet/diffuse les informations, conseille les différentes autorités publiques sur l'opportunité de soutiens à des projets novateurs, de rupture, ou complémentaires en évitant de doubler des actions déjà entreprises ;
- analyser les problèmes rencontrés par les acteurs (brevets, disponibilité d'équipements, besoins nouveaux, expertises, etc...) et les solutions apportées pour de meilleures synergies.

RECOMMANDATION 3 :

ENCOURAGER DES PARTENARIATS PUBLIC-PRIVÉ SUR DES AXES ESSENTIELS DE COLLABORATION AFIN D'ACCÉLÉRER LA CLARIFICATION DES ENJEUX INDUSTRIELS, SCIENTIFIQUES ET SOCIAUX

C'est le complément de la recommandation 1, il s'agit d'organiser des forums, des labels, des concours, un portail, des appels à projet ouverts et transversaux, des espaces de rencontres et d'échanges entre recherche fondamentale et appliquée : beaucoup de domaines scientifiques ou techniques peuvent apporter à ces nouveaux modes de fabrication. Il faut encourager tous les secteurs de R&D concernés à travailler sur les technologies qui concourent à la fabrication additive, de la chaîne numérique, de la modélisation aux matériaux et à la physique de la matière, aux procédés, aux lasers, etc., jusqu'aux technologies de contrôle en cours de fabrication, sans oublier le design, en favorisant la pluridisciplinarité des équipes et les partenariats. C'est là encore une dimension à prendre en compte dans les enveloppes de soutien qui peuvent déjà exister.

RECOMMANDATION 4 :

INTENSIFIER LA RECHERCHE ET LE DÉVELOPPEMENT SUR LES MATÉRIAUX

La recherche sur des matériaux nouveaux pour atteindre des performances d'excellence en utilisant la fabrication additive est nécessaire. Il faut développer ainsi des filières matériaux/machines/applications. Cette approche s'applique à tous les types de matériaux, qu'il s'agisse notamment des matériaux organiques ou des matériaux métalliques. Il s'agit de travailler sur la composition, les structures, le mode de préparation. Comme le souligne l'avis de l'Académie des technologies, ces recherches portant sur les performances des matériaux sont associées aux procédés et à d'autres briques technologiques (physique de la matière, physico-chimie, changement de phase, notamment la solidification, recyclage des poudres et leur contamination éventuelle, dispersion des propriétés mécaniques et état de surface, etc.).

RECOMMANDATION 5 :

FAVORISER LE DÉVELOPPEMENT DES OUTILS NUMÉRIQUES SPÉCIFIQUES POUR LA FABRICATION ADDITIVE ET PERMETTANT LES SIMULATIONS FONCTIONNELLES

Il est essentiel d'assurer le développement d'une chaîne numérique couvrant toute la chaîne de valeur, dédiées à la fabrication additive. Les applications logicielles doivent tenir compte des caractères spécifiques des matériaux pour assurer des fonctions ou un ensemble de fonctions (i.e. la pièce) à réaliser. Ces développements dépendent des procédés, c'est-à-dire de la machine. Cela permettra de couvrir la chaîne de la conception à la fabrication de l'objet et de pouvoir par la simulation et le calcul prédire l'ensemble de ses caractéristiques fonctionnelles et permettre l'optimisation combinée de l'ensemble matériau/produit/procédé. Cela doit s'adapter par procédé/machine et par matériau. Ces outils sont essentiels pour progresser dans la fabrication d'objets dont on maîtrisera finement à la fois la modélisation des caractéristiques géométriques et physiques et des performances fonctionnelles. Cela n'existe pas aujourd'hui pour la fabrication additive.

RECOMMANDATION 6 :

FAVORISER LE DÉVELOPPEMENT DE MACHINES DÉDIÉES À DES APPLICATIONS INDUSTRIELLES ET INTÉGRANT TOUS LES SAVOIR-FAIRE MAÎTRISÉS PAR LES LABORATOIRES ET LES INDUSTRIELS NATIONAUX

En complément de la recherche sur les matériaux, disposer de machines performantes de fabrication additive - pouvant intégrer de nombreuses briques technologiques développées par ailleurs - est aussi un point-clé pour : rester dans la course de la compétition industrielle et développer une chaîne complète allant de la R&D et de la conception jusqu'à la fabrication de pièces finies et performantes ; développer les outils numériques performants (recommandation 5) adaptés à des machines de fabrication additive performantes. L'Europe, mais aussi la France ont de remarquables savoir-faire en production de machines qui doivent être encouragés.

RECOMMANDATION 7 :

NE PAS VOULOIR TOUT DÉVELOPPER DANS L'ÉCOSYSTÈME AUTOUR DE LA FABRICATION ADDITIVE ET UTILISER AUTANT QUE POSSIBLE LES OUTILS DISPONIBLES À TRAVERS LE MONDE

Sans qu'il soit question bien évidemment de délaisser l'enjeu fondamental des imprimantes 3D, il est vain d'imaginer être en position dominante sur tous les axes de la fabrication additive. Il faut raisonner en termes de complémentarité et de combinatoire, il importe de forger un domaine d'excellence française dans un monde compétitif et ouvert pour contrebalancer des dépendances qui se sont déjà instaurées. Il y a urgence.

Parallèlement, il faut être vigilant, dans ce monde ouvert sur la disponibilité des meilleures technologies. Il faut assurer une veille évolutive sur nos actifs stratégiques (le rachat de pépites technologiques françaises par des intérêts étrangers ne doit pas être vécu de façon malthusienne, mais ne doit pas couper les approvisionnements de nos industries).

Sur le plan national, il importe d'assurer une cohérence et une adaptation à moyen et à long terme pour garder la maîtrise de nos capacités qui concourent à sauvegarder nos intérêts vitaux : notre pays possède toutes les pièces du puzzle en termes de capacités industrielles, techniques, scientifiques, design, pour prendre, dans les années qui viennent, une position compétitive sur ces technologies.

Il convient à court et moyen terme de s'assurer que nos centres de fabrication ne soient pas totalement dépendants de technologies ou d'approvisionnement contrôlés par des intérêts hostiles ou faussant le jeu normal de la concurrence.

RECOMMANDATION 8 :

ÊTRE CONSTANT DANS L'EFFORT COMME DANS L'ADAPTATION PERMANENTE

Il faut prendre garde aux effets d'annonce et à un élan qui ne s'inscrirait pas dans la durée. Une politique à long terme, flexible, ouverte, diffusante, et s'adaptant aux réalités de l'évolution des technologies liées à la convergence du numérique et de la fabrication, est indispensable.

Il convient ainsi de s'assurer que les politiques évaluant les axes stratégiques et permettant cette cross-fertilisation seront maintenues, soutenues, consolidées, évaluées périodiquement. Conserver une place et des capacités de production dans la compétition internationale nécessitera d'adapter les efforts de R&D et d'échange entre tous les acteurs publics comme privés. Cette cohérence et cette adaptation devraient être favorisées par les actions de l'institut, objet de la recommandation 2 : flexibilité et souci de tirer le meilleur parti des investissements publics.

RECOMMANDATION 9 :

PROMOUVOIR UNE POLITIQUE EUROPÉENNE EN FAVORISANT DES RAPPROCHEMENTS (JV) SUR DES TECHNOLOGIES, DES APPLICATIONS OU DES SERVICES NOUVEAUX

L'ensemble des recommandations précédentes doit se comprendre dans une optique dynamique de développement d'activités et d'emplois dans notre pays en utilisant les innovations et les effets de levier permis par les gains de productivité ou les ruptures associées à la maîtrise de ces nouvelles technologies, permettant ainsi le maintien de nombreux centres de production sur notre sol. S'il semble nécessaire dans un premier temps de porter nos efforts sur un club « France » multisectoriel, il ne faut pas perdre de vue que nos compétiteurs appartiennent à des blocs de taille continentale et que la dimension européenne – en termes de partage et d'échanges de ressources et de capacités (humaines, technologiques, d'investissements, de pénétration de marchés) est certainement la plus adaptée.

En tout état de cause, des partenariats internationaux sont/seront à développer.

B. LE DÉVELOPPEMENT DES ACTIONS ÉCONOMIQUES ET SOCIÉTALES

RECOMMANDATION 10 :

METTRE EN PLACE TRÈS RAPIDEMENT DES PRINCIPES MINIMAUX PERMETTANT D'ASSURER LA SÉCURITÉ DES PERSONNES, LE RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT ET LA GARANTIE DE LA QUALITÉ DES PRODUITS AFIN DE CONVERTIR LE PRINCIPE DE PRÉCAUTION EN AVANTAGE PLUTÔT QUE DE LE VOIR DEVENIR UN RISQUE

Le respect des normes environnementales et la protection, la sécurité des personnels comme des clients doit être le souci des laboratoires publics ou privés permanent dans le développement de nouvelles technologies. Comme les études de l'Agence Spatiale Européenne l'ont montré, la fabrication additive ouvre de d'excellentes perspectives en termes de protection de l'environnement et de diminution des déchets et rebuts de nature industrielle. Il faut encourager la recherche et l'expérimentation liées à ces techniques, leur donner dès que possible un aspect normatif dès que tous les aspects de process et de sécurité de production auront été établis.

Le principe de précaution ne doit pas s'opposer au développement des technologies d'avenir et à la prise de risques qui doit naturellement rester bien encadrée.

RECOMMANDATION 11 :

ÊTRE PRÉSENT ET PRENDRE POSITION AUTANT QU'IL EST POSSIBLE DANS LES DÉBATS INTERNATIONAUX RELATIFS AUX NORMES

Il importe de participer à tous les forums élaborant des normes sur les modes de production avancées et la fabrication additive. Ces normes peuvent être éditées à notre détriment (ce sont des outils puissants pour imposer des technologies), l'institut (recommandation 2), en liaison avec l'AFNOR, peut animer les efforts sur ce point ou suivre les différents travaux de normalisation liés à la fabrication additive pour la partie française.

RECOMMANDATION 12 :

ENCOURAGER LES DÉPÔTS DE BREVETS SUR CES TECHNOLOGIES ET LEURS APPLICATIONS EN FACILITANT LA CONNAISSANCE DES PROCÉDURES AUPRÈS DES ETI ET DES PME

Le foisonnement d'innovations s'accompagne d'une multiplication de brevets d'inventions déposés. Tous les rapports indiquent que la France ne figure pas parmi les nations les plus actives sur ce terrain. Ce n'est pas un signe d'une moindre inventivité ou d'une défiance vis-à-vis de ce secteur qui parfois défraie la chronique l'espace d'un bref instant. Mais les recommandations précédentes qui visent à fédérer les innovations autour d'axes stratégiques doivent et peuvent s'accompagner d'une démarche véritablement robuste sur la scène internationale autour de grappes de brevets plus aptes à étendre, à imposer et à faire respecter. L'institut (recommandation 2) peut coordonner cette action qui dépasse le domaine professionnel du propriétaire d'un brevet isolé, en liaison avec les instituts spécialisés. Les ETI et les PME doivent directement bénéficier de ce dispositif, au même titre que les grandes entreprises.

RECOMMANDATION 13 :

SOUTENIR LES EFFETS DU DÉPLOIEMENT DE L'IMPRESSION ADDITIVE DANS L'ENSEMBLE DU TISSU ÉCONOMIQUE

Comme toute innovation majeure, l'impression additive participe du processus schumpétérien de destruction créatrice. Compte tenu des implications du déploiement de cette technologie dans le tissu économique existant (remise en cause de modes de production traditionnels, obsolescence de certaines qualifications etc.), la tentation sera donc grande de l'encadrer, voire de la freiner, pour éviter ces effets indirects négatifs. Les pouvoirs publics devront savoir y résister (tout en accompagnant les personnes ayant perdu leur emploi) et, au contraire, s'attacher à créer un écosystème favorable aux nouveaux *business models* émergents. En cas contraire, non seulement la France perdrait les emplois remis en cause par cette technologie, mais elle ne profiterait pas de ceux qu'elle va susciter.

RECOMMANDATION 14 :**ENCOURAGER ET PERMETTRE L'ÉMERGENCE ET L'APPROPRIATION DES COMPÉTENCES NOUVELLES EXIGÉES PAR CES TECHNOLOGIES**

L'évolution des compétences étant ici primordiale, il est nécessaire d'agir en formation première à tous les niveaux ainsi qu'en formation continue, tant pour ce qui concerne les professionnels que pour les formateurs eux-mêmes, comme de garder à l'esprit en permanence l'évolution du stock de compétences nécessaires, ici particulièrement rapide. La qualification du personnel est essentielle pour aller de l'avant.

Nous avons ainsi besoin d'ingénieurs et de techniciens dans le numérique et tous les domaines (les plus traditionnels alliés au maniement des nouveaux outils), de designers disposant des compétences technologiques nécessaires afin de libérer les potentiels de créativité.

Il faut également développer des études de cas dans les Business Schools et l'enseignement supérieur en général pour accoutumer les futurs décideurs aux nouvelles stratégies industrielles.

La sensibilisation au paradigme de la fabrication additive peut intervenir très tôt : elle est introduite à l'école primaire en Angleterre.

A l'autre bout de la chaîne, les écoles d'ingénieurs, telles que l'Ecole nationale des arts et métiers, doivent être soutenues dans le développement de leur expertise en fabrication additive et des méthodes permettant d'emboîter au mieux recherche et formation en la matière.

Plus concrètement, il conviendrait d'aider les entreprises des secteurs de la machine-outil et des secteurs utilisateurs à former rapidement leurs ingénieurs au potentiel de l'impression additive et aux techniques essentielles à maîtriser pour la R&D et les applications industrielles. Une task force pourrait être mise en place dans cet objectif entre les CCI, le GIFAS, les industries mécaniques, l'institut de la fabrication additive si celui-ci est créé (recommandation 2), les départements formation continue des écoles d'ingénieur et l'Etat afin de permettre la création de formations courtes et modulaires pour toutes les entreprises, et en particulier les PME-ETI.

RECOMMANDATION 15 :**AMENER L'ENSEMBLE DES ENTREPRISES ET LES TERRITOIRES À PRENDRE LA MESURE DE L'ARRIVÉE DE LA FABRICATION ADDITIVE ET LES ACCOMPAGNER**

La fabrication additive a de très nombreuses conséquences sur les conditions de concurrence et de compétitivité ; il faut expliquer également que sa mise en œuvre requiert de revoir en profondeur les process et mettre en place un dispositif d'accompagnement, notamment pour les PME. Il est nécessaire pour cela de disposer d'une expertise sur laquelle s'appuyer pour optimiser les choix technologiques, la politique d'investissement, le processus de mutualisation. Cette compétence pourrait être déployée dans un cadre régional par le réseau des CCI, avec un cœur d'expertise développé par la CCI Paris Ile-de-France, en liaison avec l'institut dédié à la fabrication additive (recommandation 2) et avec les centres techniques.

RECOMMANDATION 16 :**RÉPONDRE À L'OBSOLESCENCE RAPIDE DES MACHINES ET DÉPENSES DE R&D OU DE SOFTWARE LIÉES À LA 3D PAR UN AMORTISSEMENT FISCAL ADAPTÉ**

Mettre en place une politique fiscale incitative, permettant d'amortir systématiquement les machines et dépenses de R&D ou de software liées à la 3D en considération de leur obsolescence très rapide résultant des progrès de la technique et limitant considérablement leur durée d'utilisation par l'entreprise, s'impose.

Comme dans les années 80 où la plupart des pays (dont la France) ont mis en place des systèmes d'amortissement accélérés pour les équipements informatiques afin de faciliter l'équipement des entreprises et le renouvellement rapide du matériel, il convient de permettre aux utilisateurs professionnels d'amortir au plus vite leurs équipements et dépenses liées à leurs efforts pour incorporer l'impression additive à leurs process de production.

L'obsolescence des machines est anormalement rapide en raison des progrès de la technique. Un bien performant l'année d'acquisition pourra être obsolète un ou deux ans plus tard de par l'apparition de

machines bien plus performantes. Le bien ne sera alors plus compétitif et deviendra un poids comptable pour l'entreprise qui, pour rester compétitive, devra en acquérir un autre. L'amortissement fiscal sur une courte durée est une réponse opportune à cette dépréciation exceptionnellement rapide de la valeur d'usage. Alors que les entreprises sont une phase clef pour leur stratégie et leur compétitivité, il faut les encourager à s'équiper et retirer tout obstacle qui peut de fait les dissuader même d'acquérir ces machines.

En outre, une politique fiscale incitative permettrait de favoriser le développement de ce domaine du côté de l'offre et rattraper notre retard en la matière. Une politique fiscale favorable permettrait d'ancrer la France dans le paysage mondial de l'innovation pour permettre notre compétitivité en la matière sur la scène internationale. On peut imaginer que cette fiscalité exceptionnelle soit mise en place pour une période de 10 ans.

RECOMMANDATION 17 :

SENSIBILISER TOUTES LES GÉNÉRATIONS ET TOUT LE PAYS DANS SON ENSEMBLE

Il importe de promouvoir la créativité, de mettre en place des concours, sensibiliser, élaborer des reportages et émissions dans les médias qui font écho à l'imaginaire collectif, d'encourager ou a minima de ne pas gêner le développement des communautés de makers, de développer les Fab Labs, soutenir les Maker Faire.

La fabrication additive surfe sur une vague sociétale qu'elle amplifie. Cette vague sociétale fait muter les usages des consommateurs/citoyens et contribue également à l'évolution des modèles économiques. L'appropriation par le grand public, dès lors qu'elle repose un corpus scientifique et technologique minimal, lui permettra également de mieux comprendre les enjeux de cette nouvelle révolution industrielle. Tout le monde est concerné, un peu comme pour le web. C'est pourquoi, il est nécessaire de pousser les potentialités de cette démarche et de sensibiliser chacun et chacune à l'aune de ce qu'il/elle peut appréhender, manier, utiliser, imaginer.

Soulignons que de telles mesures permettront aux entreprises utilisatrices de renforcer leur compétitivité, aux fabricants de machines ou de logiciels de vendre plus d'équipements, aux produits d'être toujours plus performants et innovants, aux citoyens d'être en phase avec cette révolution industrielle, à notre pays d'être en pointe dans un domaine encore émergent et déterminant pour son avenir.

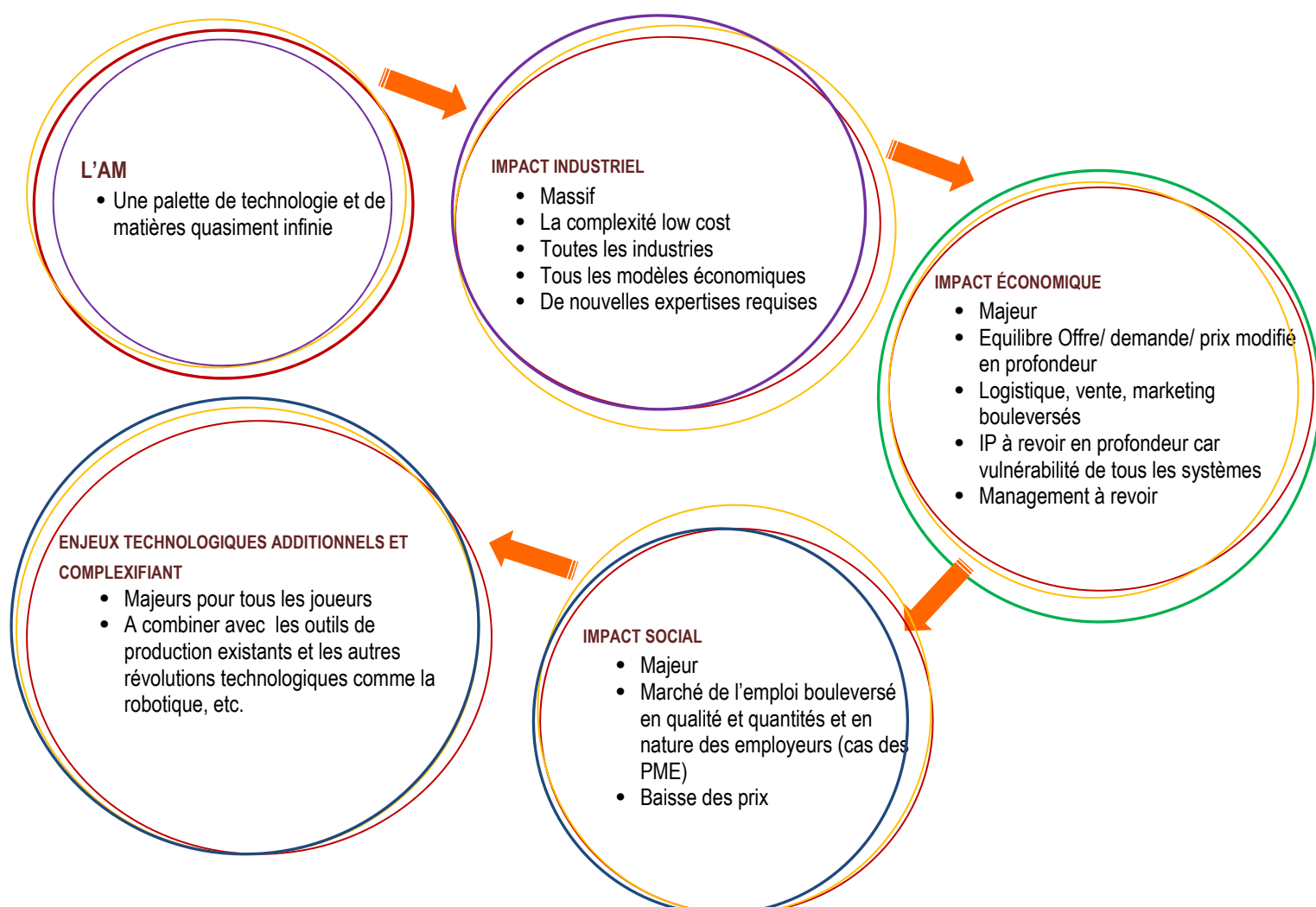
En conclusion :

L'AVENIR SE DESSINE SOUS NOS YEUX

- L'impression 3D a un impact fort sur le design (design créatif, design industriel et design de process).
- La conjonction de plusieurs facteurs simultanés induit « un nouvel alignement des planètes », un nouveau monde industriel :
- Impression 3D, Digitalisation, nouvelle supply chain, Robotique.
- Le phénomène des makers traduit une évolution de la société et des relations entre la production et la consommation.
- L'impression 3D réintroduit la réparabilité, amplifie le potentiel de customisation, régénère les objets, accélère l'écologie.
- L'impression 3D offre de nouvelles opportunités aux PME et aux territoires.
- Le système industriel, la structure des compétences et des emplois seront globalement et durablement transformés.

L'HISTOIRE S'ÉCRIT SOUS NOS YEUX: LA RÉVOLUTION

3D



L'HISTOIRE EST À ÉCRIRE

- Tous les grands pays industriels font de l'AM un objectif clé,
- Modifier, préparer l'écosystème (formation, fiscalité, Politique de R&D, etc.) => Un team « France »,
- Jouer une carte sur la spécificité française et ses forces technologiques et industrielles.

La France a des atouts :

- toutes les briques scientifiques (dans les grands laboratoires) ;
- la chaîne numérique (savoir-faire logiciel) ;
- la maîtrise des systèmes et équipements de pointe les plus complexes (par exemple aéronautiques et spatiaux) ;
- une formation scientifique pluri-disciplinaire, très adaptée à la maîtrise de systèmes complexes. Agréger différentes expertises et savoir-faire :
 - re-engineering de l'industrie (et tous les services associés).
 - une compétence reconnue en design.
 - une nation créative : la French tech et la French touch.

ANNEXES

ANNEXE 1 : LETTRE DE MISSION DU CGARM



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE



CONSEIL GÉNÉRAL
DE L'ARMEMENT

LE VICE-PRÉSIDENT

Jean-Paul Herteman

Paris, le 10 janvier 2014

N° 14-001 DEF/CGARM/VP

Objet : Mandat d'étude sur les technologies additives.

Le concept "Additive manufacturing" ou "Technologies additives" ou encore "3D printing" est probablement la prochaine révolution industrielle.

Cette innovation, désignée en langue française par le terme « imprimantes 3D » est déjà une réalité. Réservées au départ à des prototypes dans le domaine industriel, les imprimantes 3D permettent aujourd'hui la réalisation illimitée d'objets dans un certain nombre de matériaux, avec des modèles qui se sont sophistiqués et qui pourraient concerner tous ou presque tous les secteurs de production industrielle, on évoque même des réalisations en matériaux issus du vivant ou de nature alimentaire. Ces techniques de technologies additives se développent rapidement dans la plupart des pays industriels (Etats-Unis, Japon, Europe notamment) avec en parallèle une prévision de coûts de production suffisamment faibles pour permettre une très large diffusion de ces innovations.

Les industries de défense, aéronautique et espace (secteur AED) seront, comme beaucoup d'autres, impactées et la mission qui vous est confiée est l'étude des conséquences prévisibles sur ce secteur du développement des technologies d'"Additive manufacturing".

Parmi les effets, on évoque par exemple une relocalisation de la production – cependant peu délocalisée pour le secteur AED - et une forte baisse des coûts de production d'objets manufacturés qui pourront potentiellement être reproduits dans tous les « copieurs 3D » à partir d'un modèle numérique. Votre groupe de travail tentera de cerner les problématiques des grands groupes, des sous-traitants de premier niveau comme des PME de la base industrielle et technologique de Défense. Vous devrez étudier notamment les points suivants :

Ingénieur en chef de l'armement Joël Rosenberg
CGARM
15 rue de Laborde
75008 Paris

.../...

CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ARMEMENT
15, rue de Laborde – 75398 Paris cedex 08
Téléphone : 01 53 42 85 47 - Télécopie : 01 53 42 86 50

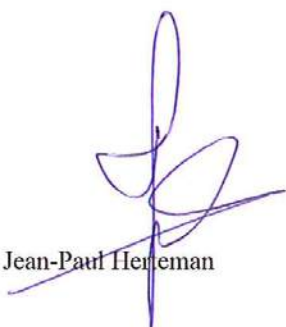
- L'impact sur les « business models » de nos industriels avec le problème de l'amortissement des coûts de développement ;
- L'impact sur la sécurité d'approvisionnement (autrement dit, position de l'industrie française dans les équipements) ;
- L'impact sur l'emploi et les ressources humaines dans la BITD.

Une étude particulière devra être menée sur les leviers dont peuvent disposer les pouvoirs publics en matière de réglementation et d'accompagnement de ces mutations technologiques, y compris bien entendu sur tous les aspects touchant la Propriété Intellectuelle.

L'étude devra comporter, autant que possible, un benchmarking des autres grands pays industriels relativement à tout ou partie de ces questions.

Enfin, l'étude doit clairement exclure de son champ une réflexion sur l'organisation du soutien dans les Forces, ainsi que des questions stratégiques de type prolifération.

Un pré-rapport devra être présenté dans six mois et le rapport final dans dix mois.



Jean-Paul Herfeman

ANNEXE 2 :

AUDITIONS MENÉES DANS LE CADRE DES TRAVAUX ENGAGÉS POUR L'ÉLABORATION DE CE RAPPORT

- Adeline Riou, Powder Sales & Marketing Manager, Erasteel
- Andra Gentili, deputy Head of Unit, European Commission
- Adrienne Brotons, chargée de mission entrepreneuriat, innovation et économie internationale, Présidence de la République
- Agnès Laurent-Moreau, responsable du Domaine Industrie, BpiFrance
- Alain Bensoussan, avocat à la Cour d'appel de Paris
- Alain Bernard, professeur à l'École centrale de Nantes, vice-président de l'association française de prototypage rapide (AFRP)
- Alain Monjaux, directeur corporate management des fournisseurs, Thales
- Alexandre Ossola, BpiFrance
- André-Luc Allanic, responsable du département R&D, Prodways
- Antony Grade, vice-president Design Programs, Renault
- Arnaud Lemaitre, Arkema
- Arnaud Vandame, Cassidian
- Arthur Cassaignau, Business Developer, SCULPTEO
- Benjamin Vayre, responsable EBM, EBM Manager, POLY-SHAPE
- Bertier Luyt, fondateur, président leFabShop
- Bertrand Couturier, Arkema
- Bertrand Demotes-Mainard, Directeur de Thales Research & Technology France
- Caroline BRESIN, consultante Industries et PME, SIA Lab, CEIS
- Catherine Levy, chargée de mission à l'organisation des journées techniques, Institut de Soudure
- Cédric Michel, président, société Pollen AM
- Charlotte Poltron, Chromalloy
- Charlotte Vaksman, Chromalloy
- Christian Désagulier, Materials & Processes Expert, AIRBUS group
- Christian Lavigne, écrivain et artiste multimédia, président d'Ars Mathematica
- Christine Fenouil, directeur général, Idared
- Christophe Colin, docteur ingénieur – chargé de recherche, Centre des matériaux
- Christophe Chaput, président de 3dceram
- Claude Castillon, Industrial Roadmap Manager, Astrium EADS
- Claudio Dalle Donne, Airbus Group
- Clément Moreau, co-fondateur et directeur général de Sculptéo
- Clément Williamson, Enterprise Policy and Support Programmes, Commission européenne
- Daniel Kaplan, co-fondateur et délégué général de la Fondation internet nouvelle génération (FING)
- Daniel Lecuru, Airbus
- Daniel Rittel, deputy Senior Vice President, Technion – Israel Institute of Technology
- David Cousquer, Trendeo
- David Hauser, CSO

- Denis Roger, European Defence Agency
- Didier Boisselier, responsable technologie CLAD, IREPA LASER
- Didier Kayat, Directeur général délégué, DAHER
- Dunvel Kersaudy-Kerhoas, Lorenz Bäumer
- Edouard Berg, mg2-systems
- Elisabeth Rey, directrice commercial, POLY-SHAPE
- Emeric d'Arcimoles, Safran ; commissaire général du salon international de l'aéronautique et de l'espace
- Emilie Mellerio, présidente du Conseil d'Administration, Mellerio
- Emilie Garcia, responsable sectorielle – Filière industries, BpiFrance
- Emilie Tota, chef du groupe innovation des procédés industriels, Service industriel de l'aéronautique, AIA -Bordeaux
- Emmanuel Doyen, ZodiacAerospace
- Emmanuel Gilloz, designer-maker
- Emmanuel Laubriat, président de la société BeAM
- Emmanuelle Roux, associée du cabinet de stratégie technologique SC21, co-fondatrice du FacLab, Université de Cergy-Pontoise
- Encarnacion Del Olmo, Technology and Innovation Manager, Business Development and Advanced, Projects, AIRBUS DEFENCE & SPACE
- Eric Curely, chef du groupe technique, département technique, AIA - Bordeaux
- Esteban Muniz, Commission européenne
- Fabian Ballet, sous-directeur technique, AIA - Bordeaux
- Fabien Guillemot, chercheur en bioingénierie tissulaire, Inserm, Université de Bordeaux
- Fabien Januard, Marketing Corporate, Air Liquide
- Fabrice Ducreuzot, Manufacturing, Rm4metal
- Fabrice Scandella, fellow matériaux/procédés, Institut de Soudure
- François Bichet, Dassault Systemes
- François Duval, Vice-President Sales and Marketing, FIVES
- François Laurent, chef des services techniques, BMW Group France
- François Louis, 3D Systems (Phenix)
- Dr. Françoise Roure, Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'économie
- Dr. Françoise Truchet, Bostik
- Franck Crespin, Senior Client, Dassault Systemes
- Frédéric Sanchez, Chairman of the Executive Board, FIVES
- Frédéric Messenger, responsable service "membres industriels", Institut de Soudure
- Frédéric Portal, associé, Lavoix
- Frédéric Vacher, directeur stratégie et innovation, Dassault Systèmes
- Geoffroy Dubus, Partner, Gimv
- Georges Taillandier, président, AFPR
- Gérard Laizé, directeur général du VIA (Valorisation de l'innovation dans l'ameublement)
- German Esteban MUNIZ, Research Programme Officer, European Commission
- Gilles Allory, Procédés Performants et Innovants, CETIM
- Gilles Surdon, Head of engineering and process simulation, Dassault Aviation

- Grégoire Aladjidi, Directeur, Safran Corporate Ventures
- Guy Larnac, Astrium EADS
- Henri Serres, Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'économie
- Henri Soury-Lavergne, directeur général, Multistation
- Hervé Gilibert, directeur général délégué, Airbus Defence and Space
- Hervé Guillou, Président, DCNS
- Ilias Iliopoulos, Arkema
- Ivan Novikoff, Strategic Project Director, FIVES
- Jean-Baptiste Soufron, Secrétaire général, Conseil national du numérique
- Jean-Dominique Bartout, Research engineer, Ecole des Mines de Paris
- Jean-Christophe Ordonneau, Melcion
- Jean-Christophe Simon, directeur de l'innovation, SEB
- Jean-Claude André, directeur de recherche, CNRS
- Jean-François Boujut, enseignant-chercheur, Grenoble INP
- Jean-François Sageau, président directeur général, S.I.T.E.S
- Jean-Hubert Lenotte, Directeur de la Stratégie, EUTELSAT
- Jean-Laurent Poitou, Senior Managing Director, Accenture consulting
- Jean-Louis Frechin, directeur de l'agence Nodesign, directeur de l'innovation et de la prospective, ENSCI-Les Ateliers
- Jean-Luc Macret, Airbus Defence and Space, Space Systems – TSOE12, Senior manager research & technology projects
- Jean-Marc Cauzac, Dassault Systemes
- Jean-Michel Billaut, spécialiste du numérique, fondateur de l'atelier de Paribas
- Jean-Yves Gilet, président directeur exécutif - Direction ETI et Grandes Entreprises - Bpifrance Participations
- Jean-Paul Louis, directeur industriel, Groupe SAFRAN
- Jean-Pierre Wilmes, consultant, GF AgieCharmilles
- Jérôme Bouquet, chef du bureau industrie électronique, Ministère de la Défense
- Jonas Van Vaerenbergh, président, LayerWise
- Joannes Vermorel, président, Lokad
- Jordi Saniger Pare, Innovation Works, Airbus Group
- Jose-Lorenzo Valles, Head of Unit, Commission européenne
- Julien Pouget, Conseiller industrie, Présidence de la République
- Katharina Potthoff, Département de croissance mondiale, General Electric
- Kevin Mellet, chercheur et socio-économiste chez Orange Labs
- Laetitia Kirschner, Metallic Technologies & Surface Engineering, Materials & Processes Expert, AIRBUS group
- Laurence Couvreur, Arkema
- Laurent Delsart, Dassault Systemes
- Laurent Oules, Global Engineering Rx, Techno Plan Director, Essilor International
- Laurent Pambaguian, ingénieur, section technologie des matériaux, agence spatiale européenne (ESA)
- Laurent Quevat, ZodiacAerospace
- Lionel Potron, Chromalloy

- Lorenz Bäumer, Joaillier
- Luigi Mariani, architecte
- Marc Thomas, responsable pôles matériaux, Onera
- Mark Bolton, Vice President & Global Account Executive, Chromalloy
- Mark Nicklas, Deputy head of unit, European Commission, DG Enterprise and Industry, Innovation Policy for Growth
- Mathieu Bruckert, CUBEEK
- Mathieu Montoux, responsable technique compresseur HP M88-2, AIA - Bordeaux
- Matthieu de Genevray, directeur général, LeFabShop
- Maud Saint-Amant, Airbus Defence and Space
- Maurice Bérenger, président, Protip Medical
- Michel Da Silva, technical director, Dassault Systemes
- Michele Marchesan, 3D Systems (Phenix)
- Mickael Doyle, Dassault Systemes
- Monique Idiri, Commission européenne
- Nicolas Rey, chargé de projet, Ministère de la Défense
- Nicole Arditti, Lazard
- Nikos PANTALOS, Policy Officer, European Commission
- Dr. Olaf Rehme, Corporate Technology, Siemens AG
- Pamela Voleau, CEIS
- Paolo Gennaro, Avio Aero
- Pascal Bordages, ingénieur développement Business Défense, Onera
- Pascal Labrocherie, MBDA
- Pascal Bourcet, Sales director industry, Dassault Systemes
- Pascale Scirocco, 3A – Applications Additives Avancées
- Patricia Marchal, Quality Manager, Rm4metal
- Patricia Lopez Vicente, project officer materials and structures technologies, European Defence Agency
- Patrick Brenier, Direction de la Recherche, European Commission
- Patrick Natali, General Delegate Middle-East, Safran
- Patrick Piekolek, directeur du grand compte groupe Safran, Dassault Systèmes
- Paul-François Fournier, directeur exécutif de l'innovation, Bpifrance
- Peter Sanders, Airbus Allemagne
- Pierre Fabre, Safran
- Pierre Michaud, Technical Authority Metallic Materials & Associated Processes, AIRBUS DEFENCE & SPACE
- Philippe Charles, DELMIA CEO, Dassault Systemes
- Philip Hoarau, président Cresilas
- Philippe Coen, vice-président European Company Lawyers Association ; membre du comité exécutif de l'UNIFAB (Union des fabricants) ; directeur juridique, The Walt Disney Company France
- Philippe Laude, directeur général, Prodways
- Philippe Thierry Masclet, chef du bureau anticipation stratégique, DGA/DS/SASF
- Philippe Vannerot, président, société 3A ; vice-président de l'association française de prototypage rapide (AFRP)

- Philippe Varin, ancien Président de Peugeot
- Pierre Breesé, Fidal Innovation
- Pierre Carreaud, spécialiste en imagerie 3D et mesures optiques, S.I.T.E.S.
- Pierre Michaud, Astrium EADS
- Pierre Vellay, ancien directeur de la flotte et des avions nouveaux, Air France KLM
- Pierrick Pommelot, directeur général adjoint, Systèmes de Mission de Défense, Thales
- Raphaël Gorgé, président directeur général, Groupe Gorgé
- René-Luc Caillaud, délégué général, ASPROM (Association Pour La Promotion Des Technologies Avancées)
- Richard Roziecki, directeur corporate supply chain performance, Thales
- Romain Menetrier, 3A – Applications Additives Avancées
- Romain Pouzol, CKAB
- Samuel N. Bernier, Directeur créatif, leFabShop
- Sébastien Devroe, Innovation Director, FIVES
- Serge Lacaze, Technocentre, Renault
- Serge Sella, ERAMET Alloys
- Simon Schalit, Directeur général, Lokad
- Sorn Ocylok, Bardage et le traitement thermique, Fraunhofer pour la technologie laser ILT
- Stella Morabito, secrétaire général – SGI (Syndicat français des grossistes informatiques)
- Stéphane Giron, CADvision S.A.S.
- Stéphane Abed, Chief executive officer, Poly-Shape
- Stephen Beyer, Head of Materials & Process technolog, Astrium EADS
- Thierry Février, directeur développement industriel groupe, ZodiacAerospace
- Thierry Rouge Carrassat, directeur technique et de l'innovation, ZodiacAerospace
- Thierry Sortais, Senior Vice-président, Michelin
- Thierry Thomas, Safran
- Thierry Villotte, président du directoire, Guy Degrenne
- Terry Wohlers, président, Wohlers Associates
- Tim Caffrey, Consultant Senior, Wohlers Associates
- Véronique Brun, chef du département technique, service industriel de l'aéronautique, AIA - Bordeaux
- Véronique Chapuis-Thuault, directrice juridique, Armines
- Victor Nicolle, directeur scientifique, Lokad
- Vincent Baudinaud, Direction de l'innovation, Airbus group
- Vincent Ferreiro, Materials and components, Michelin
- Vincente Gomez, Head of R&D and Portfolio, Astrium EADS
- Yannick Loisan, président de Multistation
- Yves Demay, école polytechnique
- Ziad Abou, 3D Systems (Phenix)

ANNEXE 3 :

RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL

« IMPRESSION 3D ET PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE »

Membres du groupe de travail « Impression 3D et propriété intellectuelle » :

- Pierre Breese, Président, Fidal Innovation
- Sébastien Calmont, Directeur de l'Institut de recherche en propriété intellectuelle (IRPI), CCI Paris Ile-de-France
- Véronique Chapuis, Directrice juridique, Association pour la Recherche et le Développement des Méthodes et Processus Industriels (ARMINES)
- Patrice Decande, Avocat au Barreau de Paris, Spécialiste en Droit de la Propriété Intellectuelle et en Droit Economique
- Thierry Maillard, Directeur juridique, Société des auteurs dans les arts graphiques et plastiques (ADAGP)
- Anne Outin-Adam, Directrice des politiques législatives et juridiques, CCI Paris Ile-de-France
- Joël Rosenberg, membre du Conseil général de l'armement
- Arnaud Paronian, Bureau de la Propriété intellectuelle, Direction générale de l'armement
- Benoit Van Asbroeck, Avocat associé, Bird & Bird

L'impression 3D favorisant l'innovation et la production par sa souplesse¹⁷⁸, se développera rapidement à n'en pas douter. Elle induit toutefois une augmentation du nombre des fabricants possibles à l'échelle mondiale et une évolution des comportements des acteurs, entreprises et particuliers. Elle accroît les risques de contrefaçon de droits de propriété intellectuelle¹⁷⁹.

D'emblée, on observera que l'association de la dématérialisation des données de reproduction d'un objet¹⁸⁰ à celle des imprimantes 3D et des scanners 3D, permet de faire un parallèle avec l'expérience des fichiers MP3 dans l'industrie musicale ou des fichiers vidéo dans l'industrie cinématographique ou des fichiers de livres encore protégés par les droits d'auteurs.

Tous les « objets »¹⁸¹ sont concernés, à la fois ceux destinés au grand public et à la consommation courante comme aux entreprises pour une utilisation à des fins industrielles ou commerciales. L'ensemble des droits de propriété intellectuelle est susceptible d'être touché : droits auteur, dessins et modèles, brevets ou encore marques, voire le droit des topographies de produits semi-conducteurs ou même des certificats d'obtention végétale ou encore de certaines reproductions cellulaires.

Il est à prévoir que des plateformes d'échanges de fichiers se constitueront comme dans les autres domaines du digital.

Quelques chiffres sur l'importance de la propriété intellectuelle pour cette technologie sont éloquentes :

¹⁷⁸ Diminution de la durée des tests grâce au prototypage rapide, réduction de la chaîne logistique (voir par exemple partie 3 et 4). Faire un renvoi ici vers la partie du rapport qui traite des avantages de l'impression 3D pour les entreprises.

¹⁷⁹ On entend par droit de propriété intellectuelle, à la fois le droit de la propriété littéraire et artistique (droit d'auteur et droits voisins) et le droit de la propriété industrielle (droit des brevets, droit des marques, droit des dessins et modèles, droit des topographies de produits semi-conducteurs, certificat d'obtention végétale...).

¹⁸⁰ Elles utilisent des fichiers numériques dont la configuration tend vers un regroupement des fichiers CAO, FAO avec les données matériaux (soit de l'ensemble des données nécessaires à la fabrication d'un objet) qui vont être déposés sur des plates-formes ou bases de données connectés à l'imprimante 3D pour la fabrication de ces pièces et objets.

¹⁸¹ Le terme « objet » pouvant désigner un objet, une pièce, le composant d'une machine ou autre.

- ⇒ Plus de 2 000 dépôts de brevets relatifs à l'impression 3D au cours des six dernières années¹⁸² (dans les domaines de la fabrication d'imprimantes, d'impression 3D en ligne, ou de développement de logiciels professionnels) ;
- ⇒ Selon le rapport Gartner¹⁸³, 100 milliards de dollars de manque à gagner pour les entreprises du fait de la contrefaçon via l'impression 3D d'ici à 2018.

Cette problématique - qui recèle de forts enjeux de forum shopping - sera abordée sous deux angles. D'une part, dans quelle mesure la propriété intellectuelle est-elle au service des entreprises face à la contrefaçon 3D (I) ? D'autre part, quel équilibre entre les droits des titulaires et la liberté des utilisateurs (II) ? À l'aune de l'analyse, des recommandations seront formulées dans la troisième partie de cette étude.

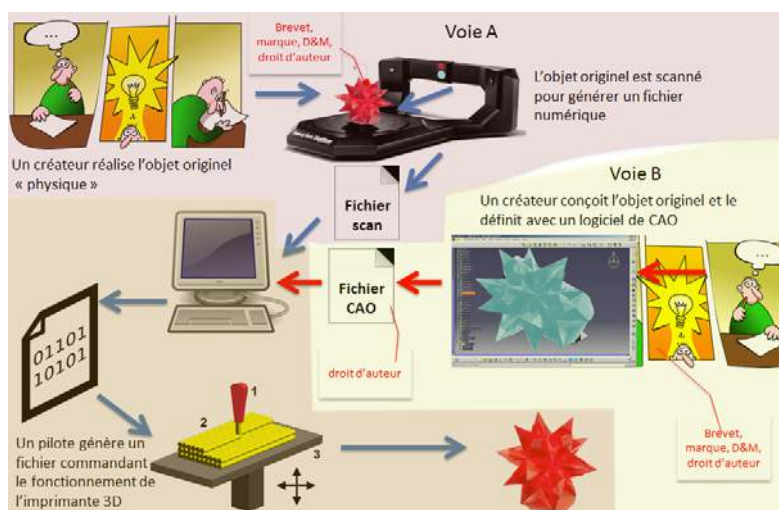
1 - La propriété intellectuelle au service des entreprises face à la contrefaçon 3D

Les risques de contrefaçon augmentent car :

- la technologie d'impression 3D ouvre la voie à la copie « numérique » et donc à la reproduction d'œuvres (y compris d'œuvres d'art), d'objets ou pièces en 3D aussi bien en objet unique, en petite ou grande quantité et donc, potentiellement, la reproduction non autorisée de telles œuvres, objets ou pièces. Elle rend plus difficile la distinction entre l'original et le produit contrefaisant lorsque les deux ont été réalisés à partir du même fichier numérique. Si le fichier numérique n'existe pas, il devient de plus en plus facile de scanner l'objet original pour le recréer ;
- les barrières à l'entrée pour les contrefacteurs s'amenuisent d'une part, en raison de la diminution des coûts de reproduction et, d'autre part, par la facilitation de l'accès aux données nécessaires à la fabrication, via la diffusion sur internet ou le piratage de fichiers et, enfin, grâce à l'attractivité des capacités de « modifier » l'objet à reproduire ;
- le ratio « coût d'une détection des contrefaçons et de procès / valeur de la pièce contrefaite » devient tellement disproportionné qu'il découragera les titulaires de droits d'agir. Contrairement aux contrefaçons traditionnelles d'objets industriels ou de consommations qui fonctionnaient par grandes quantités (sacs, alcools, cigarettes, montres, bijoux) la contrefaçon par 3D peut concerner un seul exemplaire à la fois mais en de nombreux endroits du globe.

► LA CARTOGRAPHIE DES ATTEINTES

Les droits de propriété intellectuelle peuvent être touchés à tous les stades de la chaîne de l'impression 3D :



¹⁸² V. annexes avec illustrations + principaux déposants et principaux domaines techniques visés.

¹⁸³ Rapport Gartner, « Forecast 3D Printers, Worldwide, 2014 ».

L'objet initial

L'inventeur ou l'auteur de l'objet initial peut le protéger par *brevet*, par *dessin et modèle* ou par *droit d'auteur* si les conditions d'éligibilité sont satisfaites. Il peut également breveter son procédé de fabrication.

Pour l'objet protégé par un *brevet*, sont des actes de contrefaçon¹⁸⁴ dans le (ou les) pays où le brevet est en vigueur : la reproduction avec une imprimante 3D soit à l'identique (copie servile), soit avec une légère modification conservant les éléments essentiels du brevet ; la fabrication d'un objet remplissant la même fonction technique que l'objet breveté et produisant un résultat industriel identique, ou celle d'un objet « perfectionné » dont le perfectionnement est dépendant du brevet antérieur.

Les *réparations* d'un objet breveté sont autorisées par la jurisprudence française à condition qu'elles n'aboutissent pas à sa reconstruction.

Pour l'objet protégé par un *dessin ou modèle*, sont des actes de contrefaçon : la reproduction à l'identique ou avec de petites différences, dès lors qu'elle ne produit pas sur l'observateur averti une impression visuelle d'ensemble différente, ou la reproduction d'une pièce détachée dont les caractéristiques visibles remplissent en tant que telles les conditions de nouveauté et de caractère propre du produit complexe dans lequel elle est intégrée.

En revanche, sont possibles les fabrications d'objets consistant en des *formes fonctionnelles et d'interconnexions* (c'est à dire tous les objets dont les caractéristiques sont exclusivement imposées par leur fonction technique ainsi que par leur apparence ou dont la forme est nécessaire pour un raccord mécanique avec d'autres pièces) et de *pièces détachées* incorporées dans un produit complexe qui ne sont pas visibles par l'utilisateur final lors d'une utilisation normale de ce produit.

Pour l'œuvre ou l'objet constituant une œuvre protégée par le *droit d'auteur*, constituent des actes de contrefaçon : la reproduction à l'identique ou dénaturée¹⁸⁵ par les variations de qualité offertes par l'impression 3D en fonction des matériaux sélectionnés ou de la qualité de l'imprimante 3D, ce qui ouvre des champs nouveaux de réclamations.

Cet objet ne peut pas davantage être modifié s'il en résulte une nouvelle « création », considérée comme une œuvre dérivée dont la reproduction sera soumise à l'autorisation de l'auteur de l'œuvre initiale.

Des formes nouvelles et distinctives peuvent bénéficier d'une certaine protection par le *droit des marques*¹⁸⁶. Tout comme les marques verbales ou figuratives, les marques tridimensionnelles peuvent être protégées¹⁸⁷.

La possibilité de reproduire à l'identique un produit replace la marque au centre de cet écosystème. Elle sert autant le créateur pour lutter juridiquement contre l'usage illicite dans la vie des affaires; et le consommateur, en lui garantissant la qualité de la marque. Atout et moyen de lutter contre le penchant individuel à la « contrefaçon de loisir », permet également d'endiguer le développement de filières illégales à grande échelle comme on en connaît dans le domaine pharmaceutique, par exemple, avec d'innombrables victimes. Il s'agit de deux causes d'intérêt général majeures.

Les fichiers numériques

Pour reproduire un objet par impression 3D, il est nécessaire de créer un fichier CAO (Conception Assistée par Ordinateur) précisant la géométrie de l'objet, obtenu soit par sa numérisation via un scanner 3D, soit par le recours à un logiciel de modélisation, ainsi qu'un fichier de FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) contenant les paramètres de fabrication avec l'imprimante 3D ; ces données étant à mettre en œuvre avec le ou les matériaux sélectionnés (Fichier Matériaux).

¹⁸⁴ L'article L. 613-3 a) et b) du Code de la propriété intellectuelle (CPI) interdit la fabrication du produit objet du brevet ainsi que l'utilisation d'un procédé objet du brevet.

¹⁸⁵ Il s'agirait alors d'une atteinte au droit moral de l'auteur (droit au respect de l'œuvre).

¹⁸⁶ Les articles L. 713-2 et L. 713-3 du CPI interdisent la reproduction et l'imitation d'une marque pour désigner des produits ou services identiques ou similaires. La reproduction d'une forme protégée par un droit de marque ou la reproduction de la marque elle-même sur un produit, sans l'autorisation du titulaire de la marque, seront donc qualifiées de contrefaçon.

¹⁸⁷ Par exemple : la célèbre forme de la bouteille Coca-Cola est par exemple déposée en tant que marque tridimensionnelle ; le Tribunal de l'Union européenne, dans un arrêt du 25 nov. 2014, admet la validité de la marque 3D *Rubiks Cube*.

La transcription en fichier CAO de données brevetées relatives à l'objet ou en fichier FAO, de données brevetées du procédé de reproduction ne modifie ni n'atténue la protection par brevet dans les pays où il est en vigueur. Ces transcriptions numériques ne donnent pas à l'auteur ou à l'utilisateur du fichier de droit de reproduction de l'objet ni de droit d'exploitation du procédé de fabrication.

Les fichiers sont, quant à eux, protégés par le droit d'auteur en ce qu'ils portent une œuvre, s'il y a création originale, mais ne le sont pas si la transcription numérique des données a été réalisée par un logiciel de façon automatique. Si elle l'a été par un logiciel open source, celui-ci ne devrait pas contaminer les données transcrites en obligeant à les mettre en accès libre sauf si les termes de la licence le régissant le prévoient.

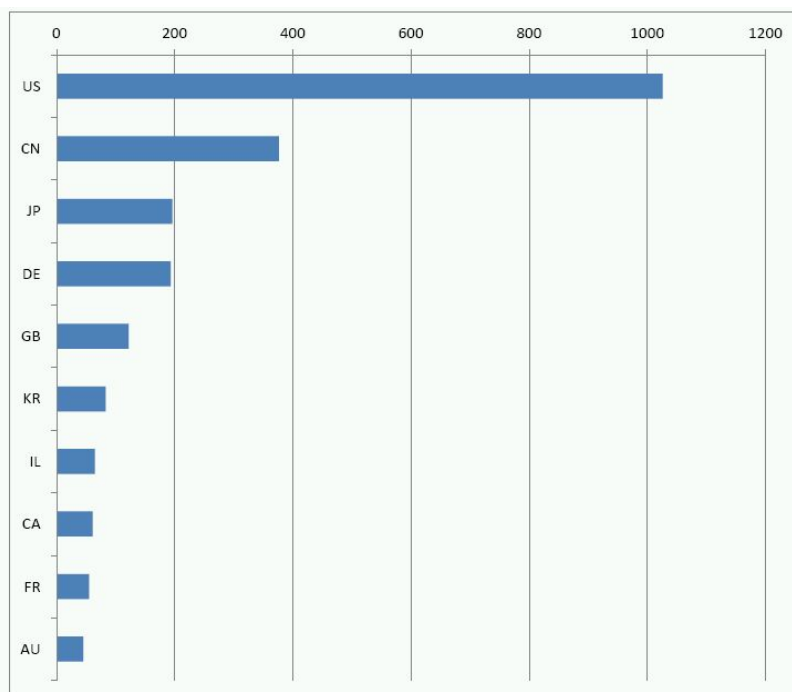
L'auteur d'un fichier pourra s'opposer à son utilisation non autorisée par licence et à sa diffusion. Il devra également vérifier la nature et les règles d'accès des plates-formes ou bases de données sur lesquels il pourra être stocké de façon à contrôler les accès et utilisations possibles. La même démarche est à suivre par le propriétaire des droits sur le brevet, le dessin et modèle ou le droit d'auteur initial.

La protection de données-clefs ou de l'avantage compétitif d'une innovation par *secret (confidentialité)* n'offre qu'une protection contractuelle lorsqu'un accord de confidentialité entre l'émetteur et le récepteur des données est en vigueur et limite leur utilisation et leur diffusion. Cette mesure contractuelle doit être couplée avec des mesures de protection des accès et des personnes.

L'imprimante 3D

L'inventeur ou l'auteur de l'imprimante 3D peut la protéger ou protéger certains de ses composants, par brevet, secret de fabrique, dessin et modèle si les conditions d'éligibilité sont satisfaites et par droit d'auteur pour les aspects logiciels. Il peut aussi décider, là aussi, de conserver des caractéristiques essentielles par savoir-faire confidentiel. De fabuleux chiffres de dépôts de brevets dans le domaine 3D sont régulièrement mis en avant. Cependant, dans le sillage de la lutte contre les *Patents trolls* et forte d'un retournement historique sur le territoire américain du « tout brevet », une réaction émerge contre cette démarche qui serait un frein du développement.

Il faut, en outre, souligner la place discrète des dépôts d'origine française.



Source : UK IPO, novembre 2013

Dans ce rapport de l'Office britannique de 2013 dont est issu ce graphique, il est indiqué que la France comporte un nombre conséquent d'inventeurs mais présente une faible propension à déposer au point de ne pas apparaître dans le « Top Ten » des offices de dépôts. Des données non publiques montrent néanmoins que quelques grands acteurs s'impliquent désormais fortement dans ce secteur.

De ce constat, deux directions s'imposent :

- favoriser le dépôt de brevets en insistant sur l'impérieuse nécessité d'étendre plus largement possible les dépôts,
- soutenir toutes les démarches collaboratives ou coopératives permettant de partager une cartographie plus nette du champ de mines composé de ces multiples brevets aujourd'hui déposés et des antériorités connues à opposer en vue de leur innocuité dans les phases de dépôts ou de contentieux en contrefaçon.

L'objet reproduit en 3D

Si un objet est reproduit en 3D avec l'autorisation du titulaire des droits portant sur l'objet originel, la reproduction sera également protégée. Mais sa commercialisation, en Europe, bénéficiera dans ce cas, de l'épuisement communautaire des droits.

► LES RESPONSABILITÉS DES DIFFÉRENTS ACTEURS DE LA CHAÎNE

Différentes catégories d'acteurs interviennent dans la chaîne d'impression 3D :

Les *concepteurs de logiciels CAO* ne seront pas responsables vis à vis de l'inventeur ou de l'auteur initial de l'objet protégé par un droit de propriété intellectuelle tant qu'ils ne reproduisent pas et ne vendent pas l'objet protégé et tant qu'ils ne mettent pas en œuvre le procédé de fabrication protégé.

Les **concepteurs de fichiers CAO** seront qualifiés de contrefacteurs si leurs fichiers reproduisent une œuvre protégée sans autorisation préalable de l'auteur dans le cadre d'une utilisation allant au-delà de l'usage privé du copiste (v. II ci-dessous).

Les **personnes qui mettent ces fichiers en ligne** encourent une responsabilité au titre de la contrefaçon envers les auteurs du modèle 3D et, le cas échéant, de l'objet modélisé car leur diffusion, reproduisant une œuvre protégée sans autorisation préalable de l'auteur, sera considérée comme une reproduction et une communication au public. Si la création en soi du fichier CAO n'est pas un acte de contrefaçon de brevet, en revanche, la diffusion de ce fichier, sur internet par exemple, pourrait être qualifiée de fourniture de moyens de contrefaire¹⁸⁸, s'il est prouvé que les internautes ayant diffusé ces fichiers CAO savaient qu'ils permettaient de reproduire des objets brevetés¹⁸⁹.

Les **plates-formes et sites de téléchargement de fichiers CAO** peuvent voir leur responsabilité engagée, avec un régime de responsabilité allégée s'ils sont qualifiés d'*hébergeurs* (c'est-à-dire qu'ils n'ont pas de rôle actif de nature à leur confier une connaissance ou un contrôle des données qu'ils stockent) ou pour contrefaçon s'ils sont qualifiés d'éditeurs.

Les **concepteurs de logiciels d'échanges des fichiers CAO** pourraient être contrefacteurs même si leurs logiciels permettent d'autres utilisations que celle d'échanger illégalement des fichiers¹⁹⁰ car le CPI sanctionne le fait « d'éditer, de mettre à la disposition du public ou de communiquer au public, sciemment ou sous quelque forme que ce soit, un logiciel manifestement destiné à la mise à disposition du public non autorisée d'œuvres ou d'objets protégés »¹⁹¹.

Les **utilisateurs des fichiers CAO** d'objets protégés par le droit d'auteur sont contrefacteurs, sauf à être autorisés par les titulaires de droits ou à bénéficier de l'exception pour copie privée. Ce sera également le cas pour ces utilisateurs s'ils reproduisent matériellement l'objet protégé par brevet ou dessin ou modèle. En revanche, si les données étaient simplement protégées par secret et qu'ils ne les ont pas reçues sous couvert d'un accord de confidentialité en limitant l'usage, ils ne seront pas contrefacteurs.

¹⁸⁸ L'article L. 613-4 du CPI interdit « la livraison ou l'offre de livraison, sur le territoire français, à une personne autre que celles habilitées à exploiter l'invention brevetée, des moyens de mise en œuvre sur ce territoire de cette invention se rapportant à un élément essentiel de celle-ci, lorsque le tiers sait ou lorsque les circonstances rendent évident que ces moyens sont aptes et destinés à cette mise en œuvre ».

¹⁸⁹ La Cour de cassation a condamné pour contrefaçon celui qui avait fourni des plans et la notice ayant permis d'installer sur un bateau un système mettant en œuvre un procédé breveté).

¹⁹⁰ CA Paris, 22 mars 2011, affaire Radio blog club.

¹⁹¹ Art. L. 335-2-1 du CPI, issu de la loi du 1^{er} août 2006 relative au droit d'auteur et aux droits voisins dans la société de l'information.

La dématérialisation des données permettant de reproduire une œuvre ou un objet par impression 3D ouvre la possibilité de leur diffusion au public via internet, supprimant de facto les avantages de la protection de ces données par le secret. Le titulaire initial des droits sur ces données n'aurait de recours que contre le récepteur qui les aurait communiquées en enfreignant un engagement de confidentialité.

Les **fabricants et vendeurs de scanners et d'imprimantes 3D** ne devraient pas pouvoir être poursuivis pour complicité de contrefaçon sur le fondement du droit d'auteur, dès lors qu'ils n'ont pas connaissance de l'usage illégal qui est fait de leur matériel. De même, en droit des brevets, est écartée la contrefaçon par fourniture de moyens lorsque ceux-ci « sont des produits qui se trouvent couramment dans le commerce ». Seule l'incitation à commettre des atteintes à des droits de brevet peut engager leur responsabilité.

Les **fournisseurs de services d'impression 3D** réalisant à la demande, sur commande à distance du client, l'impression d'une copie d'un objet protégé, pourraient voir leur responsabilité engagée pour contrefaçon s'ils n'ont pas obtenu l'autorisation préalable de l'auteur ou de l'inventeur¹⁹². En sus, ils supporteraient une responsabilité du fait des produits en tant que fabricants¹⁹³.

Les **officines d'impression en libre-service** - mettant à disposition du matériel d'impression 3D à des utilisateurs apportant leur fichier sur place pour reproduire l'objet souhaité - pourraient être poursuivies pour contrefaçon de droit d'auteur, en raisonnant par analogie avec la jurisprudence relative aux exploitants d'officines de photocopies¹⁹⁴. Elles seront aussi susceptibles d'être mises en cause sur le fondement de la fourniture de moyens si elles savent que les imprimantes sont utilisées à des fins de contrefaire un brevet ou si elles ont incité à contrefaire. Sur le fondement du droit des brevets, le service d'impression qui exécute la commande pour un client pourrait voir sa responsabilité également engagée pour contrefaçon¹⁹⁵ au même titre que l'utilisateur proprement dit de ce service ayant reproduit l'objet, sous réserve de l'usage privé du copiste (V. Il ci-dessous).

Quel que soit le droit de propriété intellectuelle concernée, *le fabricant et le vendeur* d'un objet contrefaisant imprimé en 3D s'exposent respectivement à des poursuites pour contrefaçon.

2 - L'équilibre entre les droits des titulaires et la liberté des utilisateurs

L'impression 3D offre des possibilités nouvelles car elle peut faire tomber la reproduction d'un objet dans des exceptions autorisées par le droit, même lorsque cet objet est protégé par des droits de propriété intellectuelle.

► L'EXCEPTION DE COPIE PRIVÉE EN DROIT D'AUTEUR À L'AUNE DE L'IMPRESSION 3D

L'EXCEPTION À L'EXCEPTION

La reproduction d'un objet par impression 3D pour un usage purement privé bénéficie d'une exception de copie privée¹⁹⁶, à condition que la source soit licite, que le copiste soit propriétaire du matériel (scanner 3D, imprimante 3D) permettant la reproduction¹⁹⁷ et soit propriétaire ou détenteur légitime de l'objet reproduit.

¹⁹² On peut raisonner ici par analogie avec la récente affaire *Wizzo* jugée par la Cour d'appel de Paris, qui a considéré que le service de magnétoscope numérique à la demande proposé par cette société consistait à réaliser une copie qui n'est pas destinée à l'usage du copiste, mais à celle de l'utilisateur final. CA Paris, Pôle 5 – ch. 1, 14 déc. 2011, *Me Cosme Rogeau (liquidateur judiciaire de la SA Wizzo) c/ SA Metropole Télévision et autres*.

En 2011, Paramount a, par exemple, exigé la suppression de fichiers 3D d'un cube inspiré du film « Super8 » partagés sur le site d'impression à la demande Shapeways. La chaîne américaine HBO s'est également opposée au lancement d'une version imprimée d'un objet de sa célèbre série *Game Of Thrones* pour en faire un support de téléphone portable sur le site nuProto.

¹⁹³ Le fabricant d'un produit engage sa responsabilité délictuelle du fait d'un défaut de sécurité de son produit entraînant un dommage à une personne. Il s'agit d'une responsabilité de plein droit, objective, indépendante de la notion de faute et de la nature contractuelle ou non du lien qui unit la victime et le responsable du dommage causé par le produit **défectueux**.

¹⁹⁴ Cass. 1^{ère} civ., 7 mars 1984, *Ranou-Graphie* : « Le copiste doit s'entendre de celui qui, détenant dans ses locaux le matériel nécessaire à la confection des photocopies, exploite ce matériel en le mettant à la disposition de ses clients (...) ».

¹⁹⁵ La Cour de cassation a en effet considéré que « la qualité de sous-traitant n'est pas exclusive de celle de fabricant », Cass. Com., 13 nov. 2013.

¹⁹⁶ Selon l'article L122-5 du CPI, « Lorsque l'œuvre a été divulguée, l'auteur ne peut interdire (...) les copies ou reproductions réalisées à partir d'une source licite et strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, à l'exception des copies des œuvres d'art destinées à être utilisées pour des fins identiques à celles pour lesquelles l'œuvre originale a été créée et des copies d'un logiciel autres que la copie de sauvegarde (...) ainsi que des copies ou des reproductions d'une base de données électronique ».

À titre de comparaison, une brève analyse de droit comparé¹⁹⁸ révèle que cette exception est applicable dans de nombreux pays. Elle est largement répandue en Europe. Seuls le Royaume-Uni¹⁹⁹ et l'Irlande n'en ont pas prévu. Elle existe également au Japon, au Canada ou aux Etats-Unis (sous une forme légèrement différente, le « fair use », ou « usage loyal »)²⁰⁰.

Selon les pays, la rémunération s'applique soit sur les équipements permettant de copier des œuvres et sur les supports vierges, soit sur les supports uniquement. Une exception peut parfois être prévue sans que le système de compensation au profit des titulaires de droits n'ait encore été mis en place : c'est le cas de la Bulgarie, de Chypre, de Malte et du Luxembourg. D'autres pays ne connaissent pas l'exception de copie privée, notamment en Amérique du Sud (Argentine, Bolivie, Chili, Nicaragua, Uruguay...).

En France, pour être valide, l'exception doit satisfaire au « triple test »²⁰¹ : outre que l'exception doit être prévue spécialement, la reproduction ne doit pas porter atteinte à l'exploitation normale de l'œuvre, ni causer un préjudice injustifié aux intérêts légitimes de l'auteur. Si la reproduction du modèle 3D ou d'un objet par impression 3D permet au reproducteur de s'affranchir d'acheter l'objet à reproduire, la diminution du chiffre d'affaires en résultant pour l'auteur de l'objet initial constituerait une atteinte à l'exploitation normale de l'œuvre, à moins qu'un mécanisme de compensation équitable²⁰² soit mis en place au profit du titulaire des droits de l'objet initial.

On pourrait envisager d'étendre le mécanisme de compensation prévu pour les œuvres sonores ou audiovisuelles fixées sur certains « supports » (des phonogrammes ou des vidéogrammes) : la loi²⁰³ a déjà élargi le système de rémunération pour copie privée, imaginé à l'origine pour des copies physiques, à des copies réalisées sur des supports numériques²⁰⁴. S'il semble difficile de considérer l'imprimante 3D comme un « support » au sens du CPI, la jurisprudence communautaire récente²⁰⁵ ouvre la voie à la possibilité d'intégrer à l'assiette de la rémunération pour copie privée du matériel qui fait partie de la chaîne permettant la copie. Par ce biais, l'imprimante 3D pourrait ainsi être visée.

De même, quid de l'application de cette compensation aux matières premières utilisées pour alimenter les imprimantes 3D ? On pourrait imaginer faire reposer – partiellement ou totalement - la rémunération sur les différents matériaux utilisés. Quoiqu'il en soit, si cela est conforme à la directive européenne, la loi française ne le permet pas en l'état.

L'exception de copie privée ne peut pas concerner une copie d'œuvre d'art destinée à être utilisée pour des fins identiques à celles pour laquelle l'œuvre originale a été créée. Il s'agit ici d'une exception à l'exception.

Des copies à l'identique de sculptures ou de toiles de maîtres en impression 3D ne devraient donc pas pouvoir bénéficier de l'exception de copie privée. Peut-on envisager que cette exception à l'exception s'applique plus largement à d'autres œuvres tridimensionnelles si les titulaires de droits considèrent qu'il s'agit d'œuvres d'art ?

¹⁹⁷ JP. Rannou-Graphie, préc.

¹⁹⁸ V. l'analyse de droit comparé en annexe.

¹⁹⁹ Le droit anglais renvoie au contrat entre l'utilisateur et le titulaire des droits pour autoriser la copie privée.

²⁰⁰ Pour plus de détails sur les régimes de copie privée à l'étranger, v. annexe.

²⁰¹ Issu de la Convention de Berne et introduit dans la directive « droit d'auteur et droits voisins dans la société de l'information » de 2012, le « triple test » a été codifié en droit français au sein de l'article L. 122-5 du CPI.

²⁰² Article 5-2 b) de la directive de 2001.

²⁰³ Loi du 17 juillet 2001.

²⁰⁴ Une commission, dite « de l'article L. 311-5 du CPI », liste les supports sur lesquels cette rémunération est assise : CD, DVD enregistrables, cartes mémoires... Les modèles 3D sont d'ores et déjà couverts par la rémunération pour copie privée dès lors qu'ils sont stockés sur un support numérique assujéti.

²⁰⁵ CJUE, 27 juin 2013, VG Wort : « dans l'hypothèse où les reproductions en cause sont effectuées au moyen d'un procédé unique, à l'aide d'une chaîne d'appareils, il est également loisible aux États membres de remonter aux étapes antérieures à la réalisation de la copie et d'instaurer, le cas échéant, un système dans lequel la compensation équitable est acquittée par les personnes disposant d'un appareil faisant partie de cette chaîne qui contribue à ce procédé de façon autonome, dans la mesure où ces personnes ont la possibilité de répercuter le coût de la redevance sur leurs clients ».

La notion d'œuvre d'art s'entend classiquement, en droit d'auteur, de « l'œuvre d'art originale graphique ou plastique »²⁰⁶. Sont concernés non seulement les beaux-arts, mais également les arts appliqués. Il est toutefois difficile de savoir à partir de quel moment une copie d'œuvre d'art doit être considérée comme réalisée à des fins identiques à celles pour laquelle elle a été créée (faut-il que le format soit le même ? Le matériau ? Le contexte d'utilisation ?).

La question est ouverte et le risque de jurisprudences contradictoires fort.

3 - L'usage privé d'une impression 3D en propriété industrielle

Un objet dont la forme aurait été déposée à titre de *marque* peut être reproduit par un utilisateur pour son usage strictement personnel mais pas par un professionnel dans le cadre de la vie des affaires²⁰⁷, avec l'objectif de vendre les objets reproduits : celui-ci doit obtenir l'autorisation préalable du titulaire de la marque.

S'agissant des pièces de rechange imprimées en 3D, une exception est prévue à l'article L.713-6 b) du CPI : « l'enregistrement d'une marque ne fait pas obstacle à l'utilisation du même signe ou d'un signe similaire comme référence nécessaire pour indiquer la destination d'un produit ou d'un service, notamment en tant qu'accessoire ou pièce détachée, à condition qu'il n'y ait pas de confusion dans leur origine ». Notons tout de même que les juges français, se référant à l'arrêt Gillette²⁰⁸ de la CJUE, refusent le bénéfice de cette exception si la pièce en cause est couverte par un *dessin ou modèle, ou un brevet*.

La copie de *l'objet breveté ou protégé par dessins et modèles* réalisée à des fins non commerciales, soit dans un cadre strictement privé, soit à des fins expérimentales²⁰⁹ pour des essais de nature privée ou professionnelle visant à favoriser l'innovation²¹⁰, soit à des fins d'illustration ou d'enseignement²¹¹, n'est pas une contrefaçon²¹². À la différence de l'exception de copie privée en droit d'auteur, il n'est pas nécessaire ici de vérifier la licéité de la source.

L'analyse de droit comparé démontre que la majorité des législations étrangères prévoit également une telle exception. Aux États-Unis, la jurisprudence autorise une « *experimental use exception* » fondée sur une utilisation à usage purement privé du brevet dans un but de recherche scientifique. De même, l'Allemagne et le Royaume-Uni envisagent ces exceptions d'usage privé et d'expérimentation. La Belgique permet les actes accomplis à des fins scientifiques, ce qui semble plus large que les fins expérimentales, en couvrant la recherche mêlant un objet scientifique et un objet commercial. Le Japon et la Corée du Sud vont plus loin encore en autorisant explicitement la reproduction de l'objet breveté à des fins de R&D à visée commerciale.

4 - Comment concilier impression 3D et protection des DPI

Certaines pistes envisagées relèvent de solutions techniques (A), d'autres de solutions juridiques (B), soit de droit dur émis par un État, soit de droit souple émis par des utilisateurs.

²⁰⁶ L'article R. 122-3 du CPI vise notamment « les tableaux, les collages, les peintures, les dessins, les gravures, les estampes, les lithographies, les sculptures, les tapisseries, les céramiques, les verreries, les photographies et les créations plastiques sur support audiovisuel ou numérique ». La jurisprudence a également qualifié les meubles de design d'œuvres d'art originales (TGI Paris, 3e ch., 1re sect., 4 oct. 2011, ADAGP c/ Artcurial). Ces définitions rejoignent celles de l'article 98A de l'annexe III du Code général des impôts, qui définit également les « œuvres d'art ».

²⁰⁷ La jurisprudence communautaire exige, pour qualifier la contrefaçon, que l'usage de la marque ait lieu « dans le cadre de la vie des affaires », c'est-à-dire « dans le contexte d'une activité commerciale visant un avantage économique, et non dans le domaine privé ».

²⁰⁸ CJUE, 17 mars 2005, arrêt Gillette : l'usage de la marque à titre d'exception n'est pas conforme aux usages honnêtes en matière industrielle ou commerciale si « le tiers présente son produit comme une imitation ou une reproduction du produit revêtu de la marque dont il n'est pas le titulaire ».

²⁰⁹ On peut noter que les mêmes règles s'appliquent en matière de certificats d'obtentions végétales (COV).

²¹⁰ Les magistrats français ont précisé que cette exception « ne peut s'appliquer qu'aux seuls actes expérimentaux qui ont pour objet de participer à la vérification de l'intérêt économique de l'invention ou à son développement aux fins de faire progresser la connaissance, mais non à des actes à visée commerciale » : CA Paris, 4ème ch. A, 3 juill. 2002.

²¹¹ À condition de mentionner l'existence d'un enregistrement à titre de dessin ou modèle et le nom du titulaire de droit, sans compensation aucune (à la différence du droit d'auteur).

²¹² Article L. 613-5 a) du CPI : « les droits conférés par le brevet ne s'étendent pas aux actes accomplis dans un cadre privé et à des fins non commerciales ».

► DES SOLUTIONS TECHNIQUES

Afin de limiter les risques de contrefaçon de pièces en 3D, plusieurs solutions techniques sont susceptibles d'être mises en place.

L'INTÉGRATION DE MARQUEURS

L'intégration d'un marqueur dans les pièces d'origine permet à la fois de réduire le risque de copies de pièces par des techniques d'impression additive, et d'apporter des fonctions nouvelles à une pièce technique²¹³.

LE MARQUAGE TRIDIMENSIONNEL DE LA PIÈCE

Une autre voie consiste à intégrer, dans la conception de la pièce, un marquage tridimensionnel (logo, marque verbale) afin de lier de manière indissociable la reproduction de la pièce originelle et la reproduction d'une marque enregistrée. Ce marquage peut apparaître en défonce sur la surface de la pièce, par exemple²¹⁴.

L'UTILISATION DE MESURES TECHNIQUES DE PROTECTION (DRM)

Il serait judicieux de prévoir des combinaisons entre les pilotes d'imprimante additive et le codage du fichier de définition de la pièce. Ce qui nécessiterait un appariement du fichier de définition et d'une clé ou procédure d'autorisation pour permettre l'exécution de l'impression. Un tel mode de protection technique s'appliquerait aux « écosystèmes fermés » s'appuyant sur une organisation contractuelle et une solution technique propriétaire (notamment entre un constructeur, ses clients et un ensemble de prestataires agréés)²¹⁵. Dans ce cadre, une attention toute particulière serait accordée à l'interopérabilité, afin d'assurer la communication entre les différents matériels.

LA MISE À DISPOSITION DE FICHIERS DE PIÈCES DÉTACHÉES

L'impression additive permet au concepteur de l'équipement originel de proposer à ses clients non pas un stock physique de pièces détachées, mais une bibliothèque numérique de fichiers de définition permettant la production à tout moment, à un coût modéré, de la pièce à remplacer²¹⁶. Est ainsi supprimé le différentiel de prix susvisé entre la pièce d'origine et la pièce en copie et, par conséquent, l'attractivité pour les « copieurs ».

► DES SOLUTIONS JURIDIQUES

LA PROMOTION DE L'OFFRE LÉGALE

L'offre légale de fichiers doit être organisée pour développer des plates-formes qui respectent les droits des auteurs et inventeurs et les rémunèrent. On peut imaginer que les titulaires de droits poursuivront les sites internet sur lesquels proliféreront les fichiers d'objets contrefaisants. Il est donc dans l'intérêt des plates-formes de sécuriser leurs contenus, de réglementer les conditions d'accès et d'usage des fichiers ainsi que la contrepartie financière au profit des titulaires des droits.

²¹³ Pour l'identification de la pièce et l'authentification de son origine, un marqueur permet de coder une information assurant une traçabilité depuis le fichier de définition de la pièce, sa fabrication et son exploitation ; optionnellement, le marqueur peut intégrer des moyens pour capter des informations relatives à la vie et au vieillissement de la pièce. La finalité est alors de réaliser une maintenance préventive, voire d'envisager de nouveaux modèles économiques consistant à ne plus vendre une pièce mais une durée d'usage. Les marqueurs sont par exemple des composants RFID.

²¹⁴ L'utilisation du fichier de définition, comme le scan tridimensionnel, implique alors nécessairement la reproduction sur la pièce réalisée par impression additive de cette marque. Certes, celle-ci peut être supprimée par un traitement numérique du fichier de définition. Mais cela nécessite de traitements additionnels, et peut juridiquement être constitutif d'une atteinte au droit des marques par suppression de la marque...

²¹⁵ Ces solutions, envisageables pour les objets à caractère industriel, dans le cadre d'une chaîne parfaitement maîtrisée techniquement et économiquement, sont difficilement transposables aux œuvres protégées par un droit d'auteur.

²¹⁶ Dans le but de promouvoir une consommation de biens durables et de lutter contre l'obsolescence programmée des produits, la loi Hamon du 17 mars 2014 a prévu que soit portée à la connaissance du consommateur la durée de disponibilité des pièces détachées essentielles aux biens qu'il achète.

LA GESTION COLLECTIVE DES DROITS

Si la solution de la rémunération équitable compensant la copie privée est étendue aux œuvres imprimées en 3D, sa gestion devra en être confiée à une société de perception et de gestion des droits (SPRD), existante ou à créer. L'assiette de la rémunération pourrait reposer sur le matériel de reproduction (imprimantes 3D) et/ou sur les matériaux utilisés.

Il nous semble qu'un mécanisme sui generis devrait être préféré afin d'éviter de rouvrir le débat législatif sur la rémunération pour copie privée.

L'AUTO-RÉGULATION DES INDUSTRIELS

Une charte des intermédiaires de l'impression 3D pourraient établir, d'une part, le principe de la conclusion de licences entre les plates-formes et les fabricants de produits dérivés²¹⁷ et, d'autre part, leur refus sur leurs plates-formes des produits protégés par DPI et non autorisés par leurs titulaires de droits.

Un label avec un certificat pourrait être proposé par la France, mondialement, pour organiser la traçabilité des données et de leurs droits.

LA RÉVISION DE LA DIRECTIVE E-COMMERCE SUR LA RESPONSABILITÉ

Il serait souhaitable que les plates-formes de fichiers 3D aient l'obligation légale de supprimer les fichiers déclarés comme contrefaisants après notification par les titulaires de droits, puis de veiller à la non-réapparition de ces fichiers (« Notice and Stay Down »). Ce dispositif remplacerait celui du « Notice and Take Down » (notification et obligation de retrait²¹⁸) actuellement prévu pour les intermédiaires techniques²¹⁹ par la directive 2000/31/CE du Parlement européen et du Conseil, du 8 juin 2000, relative à certains aspects juridiques du commerce électronique dans le marché intérieur (dite « directive sur le commerce électronique ») et transposée en droit français par la Loi pour la Confiance dans l'Economie numérique (LCEN) du 21 juin 2004. En cas de manquement à cette obligation, la plateforme engagerait sa responsabilité civile, voire pénale.

LA MISE À JOUR RÉGULIÈRE DE LA LISTE DES BIENS ET TECHNOLOGIES À DOUBLE USAGE

La chaîne de conception, de fabrication par Impression 3D de même que celle des exportations n'est pas de nature à remettre en question l'application des droits de douanes pour les biens et technologies à double usage (civils et militaires) car l'article 2 du règlement CE n° 428/2009 modifié a un champ d'application large couvrant les produits comme les logiciels et les technologies y compris leur transmission par voie électronique, par télécopieur ou par téléphone.

Sur cette base, la liste des biens et technologies à double usage doit être vérifiée régulièrement par le Ministère de la Défense pour assurer une mise à jour régulière de la liste des fichiers sensibles.

LA MISE EN PLACE D'UN OBSERVATOIRE

Un observatoire français des pratiques et du juste équilibre des intérêts des créateurs et des utilisateurs serait opportunément institué. Il devrait être en relation avec des observatoires similaires européens et au-delà, dans d'autres pays impliqués dans la chaîne I3D comme les Etats-Unis, le Japon, le Brésil, l'Inde.

²¹⁷ Notamment dans le secteur de l'audiovisuel, du cinéma, des jeux vidéo...

²¹⁸ Comme cela est proposé, par exemple, en matière de lutte contre la contrefaçon de droit d'auteur dans le rapport de M. Imbert-Quaretta contre la contrefaçon sur internet.

²¹⁹ Ce régime s'applique « aux personnes physiques ou morales qui assurent, même à titre gratuit, pour mise à disposition du public par des services de communication au public en ligne, le stockage de signaux, d'écrits, d'images, de sons ou de messages de toute nature fournis par des destinataires de ces services ».

ANNEXE 4 :

LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES D'IMPRESSION 3D

A. LES PROCÉDES D'IMPRESSION 3D

La norme NF ISO 17296-2 définit 7 grandes familles de procédés de fabrication additive.

Matériaux	Exemples de matériaux	Catégories de procédés						
		Photopolymérisation en cuve	Projection de matière	Projection de liant	Fusion sur lit de poudre	Extrusion de matière	Dépôt de matière sous flux d'énergie dirigé	Stratification de couches
Polymères thermodurcissables	Epoxy et acrylates	X	X					
Polymères thermoplastiques	Polyamide, ABS, PPSF		X	X	X	X		X
Bois	Papier							X
Métaux	Acier, alliages de titane, chrome-colbat			X	X		X	X
Matériaux céramiques industriels	Alumine, zircone, nitrure de silicium	X		X	X			X
Matériaux céramiques structurels	Ciment sable de fonderie			X	X	X		

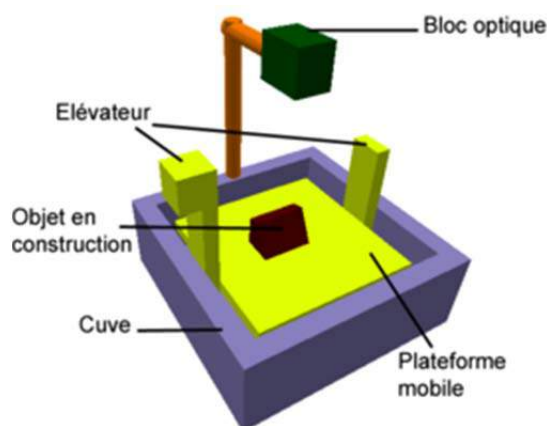
Source : norme NF ISO 17296-2

L'ensemble de ces techniques permet la fabrication rapide d'un objet à partir d'un fichier CAO converti à un format compatible de l'impression. Le format le plus répandu est le fichier STL.

1. Photopolymérisation en cuve

La photopolymérisation en cuve ou stéréolithographie est un procédé de fabrication additive qui utilise une lumière ultraviolette pour polymériser une résine époxy liquide photosensible. La résine utilisée est généralement un mélange de monomères acrylates ou époxy et d'un photo-initiateur. Le rôle du photo-initiateur est d'initier la polymérisation du matériau sous l'effet de la lumière. Sous l'effet de la lumière le photo-initiateur forme un radicalaire et les monomères sont instantanément pontés entre eux formant un polymère solide.

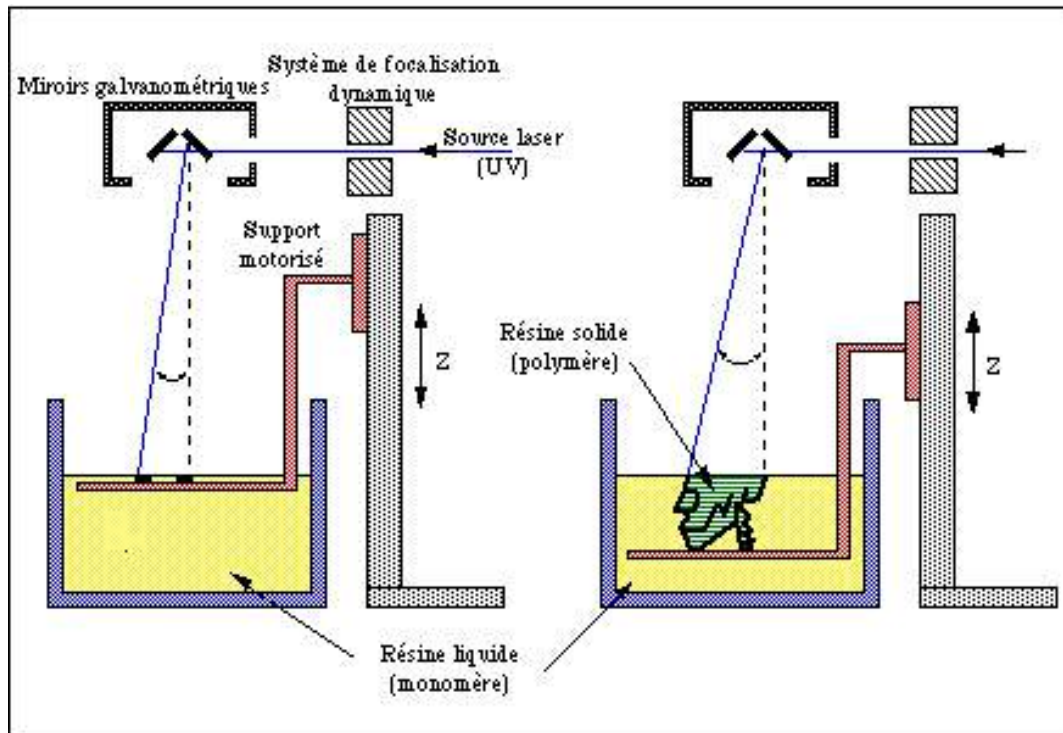
STÉRÉOLITHOGRAPHIE - SCHÉMA REPRÉSENTATIF DU MOYEN



Ce procédé met en œuvre un plateau mobile plongé dans la résine liquide. Il supporte le modèle en cours de fabrication. La plateforme est disposée à une hauteur H sous le niveau de la résine. Un dispositif constitué d'un LASER et d'un contrôleur de faisceau surplombe la plateforme. L'orientation du faisceau est assurée par le

défecteur sur l'ensemble de la plateforme. Le faisceau durcit la résine qu'il touche. Le modèle est fabriqué couche par couche par immersion de la plateforme dans le bain de résine. L'épaisseur de chaque couche est de l'ordre de 0,1 mm.

STÉRÉOLITOGRAFIE – SCHÉMA DE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



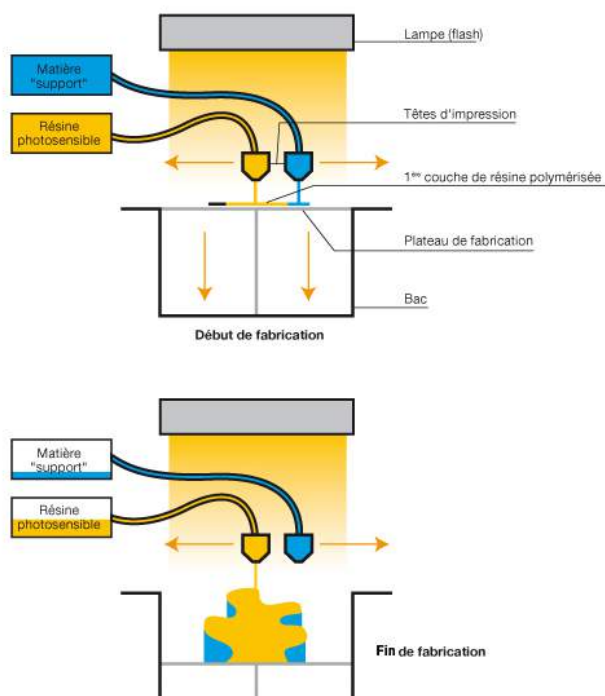
Le modèle terminé est ensuite découpé de la plateforme et lavé de la résine liquide non polymérisée dans laquelle il était immergé.

Une fois terminé, le modèle est sorti de la cuve et le mélange non polymérisé est dissout dans un solvant adéquat. La dernière étape consiste en une cuisson de l'objet afin de le durcir.

2. Projection de matière

Appelé également modelage par jets multiples, cette technique de fabrication additive est similaire à celui d'une imprimante 2D. L'objet est obtenu par empilement de couches obtenues par projection gouttelettes de résines therm durcissables. Chaque couche est réticulée sous l'action d'une lampe UV. Le support, en cire, est créé en même temps que la pièce. La cire est ensuite fondue sous étuve pour obtenir une pièce finie, pour une précision de 0,016 mm.

PROJECTION DE MATIÈRE – SCHÉMA DE PRINCIPE

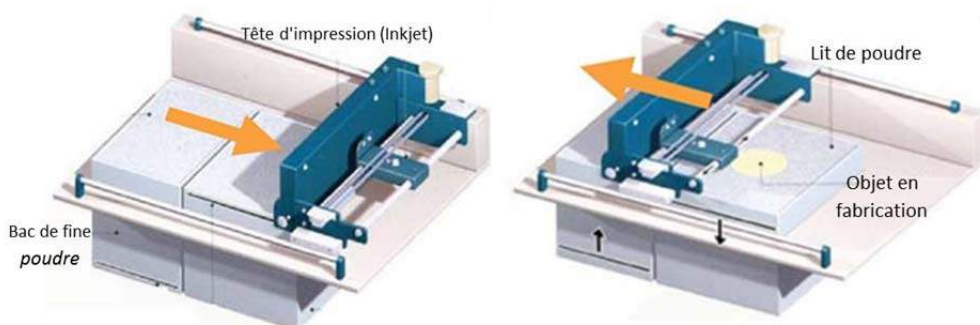


3. Projection de liant

Ce procédé de fabrication additive se découpe en deux étapes :

- Dans un premier temps, une couche de poudre est étalée à l'aide d'un piston mobile. Ensuite une buse de projection de liant mobile sur deux axes imprègne la poudre agglomérée pour obtention de la couche. Le support descend et un nouveau cycle d'étalement de poudre et d'imprégnation est exécuté. Une lampe UV peut être utilisée pour solidification du liant. La pièce semi-finie est obtenue par succession de ces cycles.

PROJECTION DE LIANT – SCHÉMA DE PRINCIPE



- La pièce semi-finie subit ensuite deux cycles de traitement thermique. Le premier consiste à évacuer le liant. Le deuxième permet le frittage des couches. Une deuxième infiltration de liant sous pression peut être exécutée pour densifier la pièce

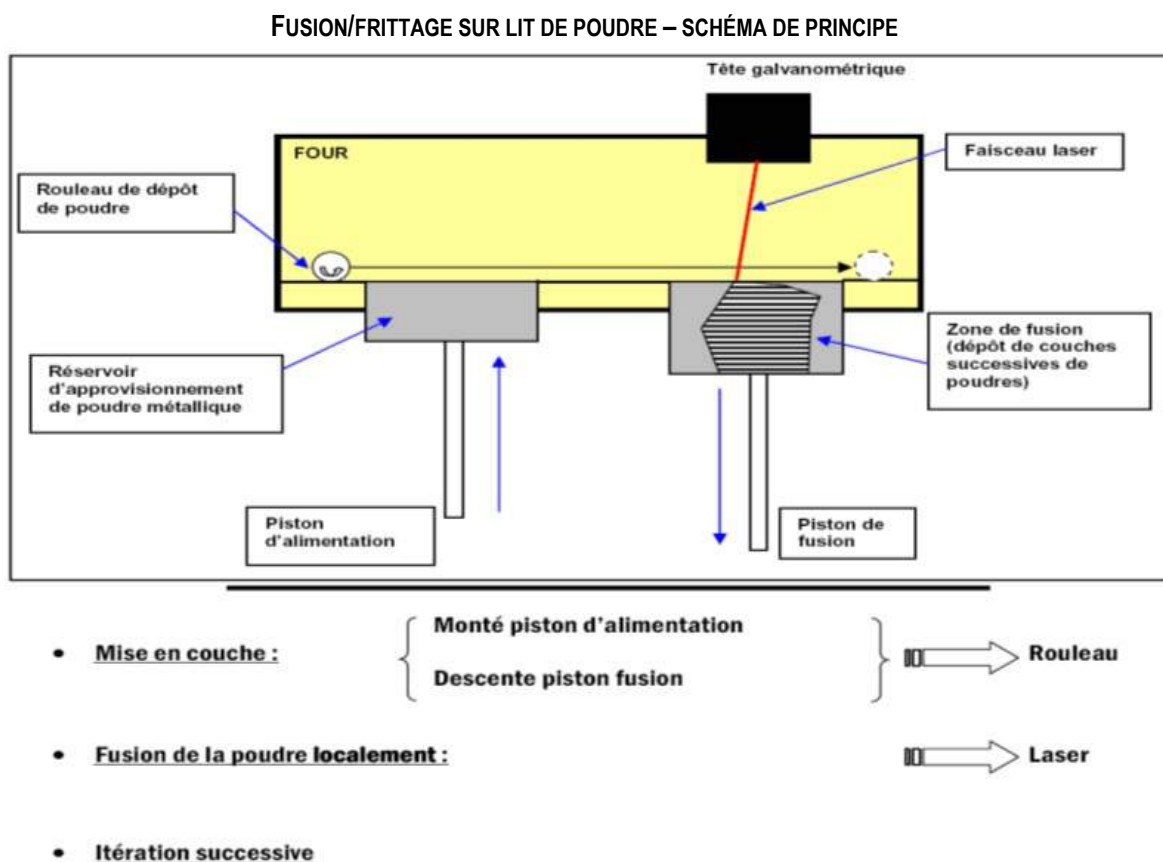
4. Fusion sur lit de poudre

La fusion sur lit de poudre est une technique de fabrication similaire à la stéréolithographie. Il existe deux grandes catégories de technologies mettant en œuvre du frittage de matière ou sa fusion : le laser et le faisceau d'électrons.

Frittage ou fusion de poudre par Laser (SLS/SLM)

La poudre est étalée à la surface d'un piston par un rouleau d'égalisation. Le passage de ce rouleau sur le lit de poudre entasse les particules afin d'augmenter les surfaces de contact et favoriser la conduction thermique, donc la fusion. Un laser thermique est utilisé pour fondre la poudre. Sur le trajet du laser, la poudre est amenée à une température légèrement supérieure à son point de fusion et agglomérée par refroidissement. Deux techniques existent selon le matériau utilisé pour la fabrication :

- Frittage direct LASER (SLS) pour les polymères,
- Fusion direct LASER (SLM) pour les poudres métalliques.



Source : CETIM

Frittage de poudre par faisceau d'électrons

La technique est la même que celle utilisée par laser mais elle utilise un faisceau d'électrons qui va chauffer la poudre métallique de façon à ce qu'elle se solidifie pour réaliser les couches. Le processus se déroule sous vide permettant ainsi d'éliminer les impuretés.

Les précisions de ces techniques sont de l'ordre du dixième de millimètre.

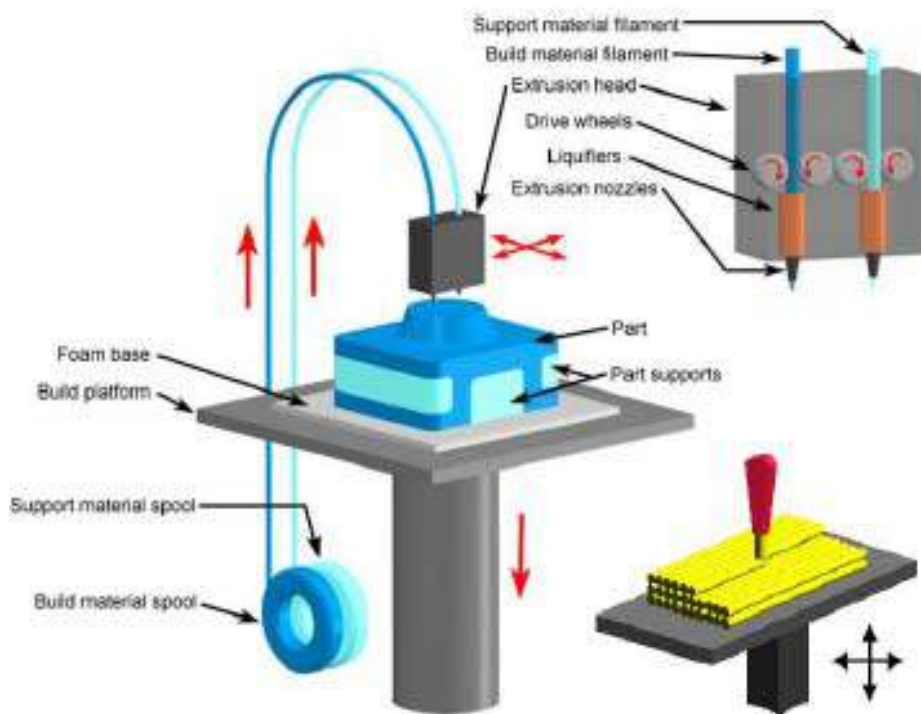
Dans les deux cas, les post-traitements nécessaires sont l'enlèvement du support, un traitement thermique de détente et un polissage/usinage/sablage pour améliorer l'état de surface.

5. Extrusion de matière

Cette technique de fabrication consiste à déposer sur un plateau un filament de plastique thermoplastique chauffé légèrement de son point de fusion. La constitution de l'objet est obtenue par les mouvements combinés de la buse et du plateau, à savoir horizontalement sur les deux axes pour la buse et verticalement pour le plateau.

Cette technique peut mettre en œuvre plusieurs buses selon la complexité de l'objet désiré.

EXTRUSION DE MATIÈRE – SCHÉMA DE PRINCIPE



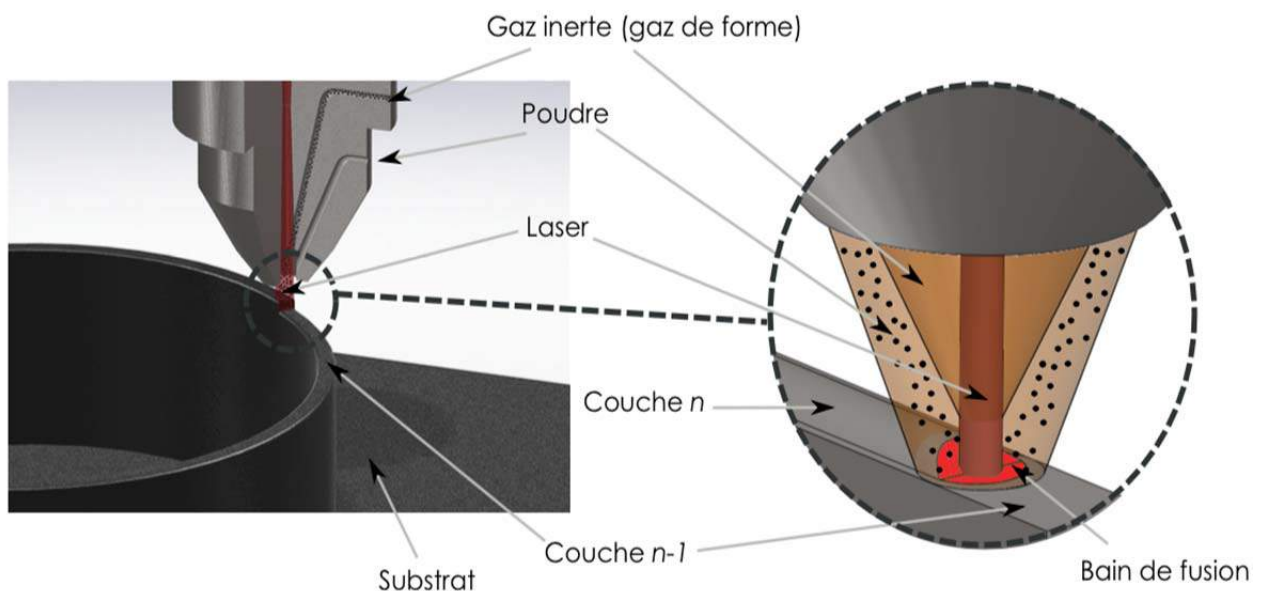
Source : Mindtribe

Cette technique nécessite l'enlèvement du support à l'issue de la fabrication.

6. Dépôt de matière sous flux d'énergie dirigé

Cette technique de fabrication additive consiste à projeter de la poudre, à l'aide d'une buse, sur un bain de fusion constitué à la surface d'un substrat. La fusion est obtenue par un LASER de puissance. La buse et le faisceau LASER sont fixes l'un par rapport à l'autre. Dans de nombreuses applications, ils sont dans le même équipement (technologie CLAD). L'objet est obtenu par le déplacement conjugué de la buse et du substrat disposé sur plateau. Cette dernière particularité autorise d'ajouter des fonctions sur une pièce existante par impression 3D.

DÉPÔT DE MATIÈRE SOUS FLUX D'ÉNERGIE DIRIGÉ – SCHÉMA DE PRINCIPE



Source : Méthodologie de conception pour la fabrication additive, application à la projection de poudres – thèse de Rémi Ponche

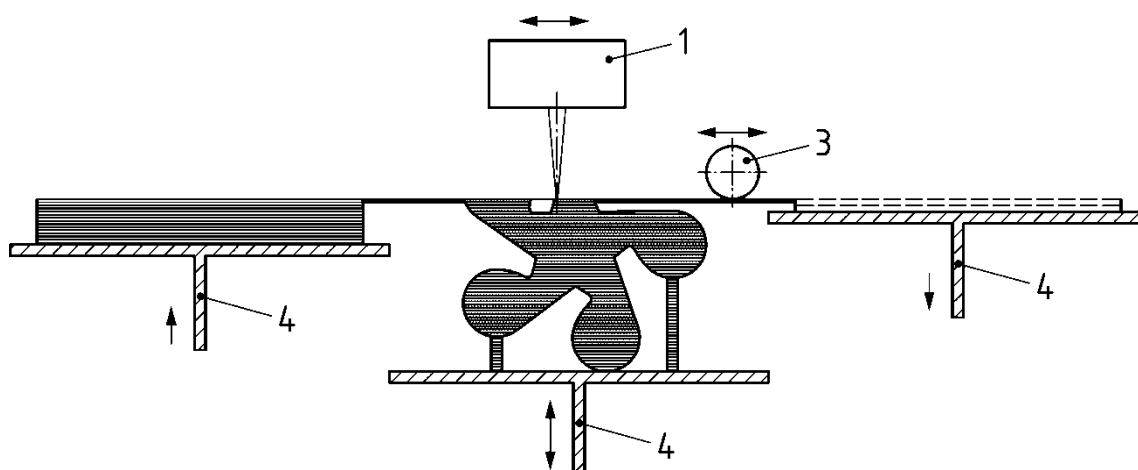
Les post-traitements nécessaires sont un traitement thermique de détente et un polissage par usinage ou un sablage pour améliorer l'état de surface de la pièce ou de la solution de rechargement.

La précision de ce procédé est de l'ordre du dixième de millimètre.

7. Stratification de couches

Le procédé consiste à décomposer l'objet créé en CAO en strates. Chaque strate est usinée à partir d'une plaque par micro-fraisage, découpe LASER, Fil. Ces strates sont assemblées à l'aide d'inserts ou pions de centrage pour former le produit semi-fini. L'agglomération et la densification de l'objet est obtenue par l'action combiné d'un rouleau de laminage et d'une source d'énergie : LASER, ultrasons, actions chimiques.

STRATIFICATION DE COUCHES – SCHÉMA DE PRINCIPE



Source : ISO 17296-2

Légende	
1	Source d'énergie assurant la liaison entre les strates
3	Rouleau de laminage
4	Plateforme de fabrication et élévateur

Les post-traitements nécessaires sont l'enlèvement des rebuts d'usinage, un frittage, un traitement thermique et un polissage pour améliorer l'état de surface.

B. UN POINT SUR LA NORMALISATION

Les premières communes ISO AFTM ont été faites pour la fabrication additive.

En plus de la norme NF ISO 17296-2, à paraître, les techniques de fabrication additives sont caractérisés par un certain nombre de normes est listée ci-dessous (liste non exhaustive) :

- **NF 67-001 (vocabulaire) en octobre 2011** : cette norme est destinée à contribuer à la compréhension mutuelle des différents intervenants du domaine et fixe un premier ensemble de termes et définitions. Elle sera révisée pour l'enrichir en fonction des besoins identifiés, notamment pour décrire les technologies et tenir compte des travaux internationaux. L'annexe 4 présente les principales technologies de fabrication additive ainsi que les matériaux pouvant être mis en œuvre ;
- **XP E67-010 (spécification techniques des poudres) en mai 2012** : la norme expérimentale XP 67-010 traite des conditions techniques de livraison des poudres et précise les informations à fournir par le fournisseur de poudre. Il indique les caractéristiques qui sont exigés et celles qui sont optionnelles (et qui doivent faire l'objet d'un accord client fournisseur préalable) ;
- **XP E67-030 (cahier des charges – pièces) en mai 2013** : la norme expérimentale XP E67-30 fixe un cahier des charges et les conditions de réception des pièces réalisées par fabrication additive. Elle fournit les éléments à échanger entre le client et le fournisseur au moment de la commande (information concernant la pièce elle-même et l'ensemble des essais à réaliser). Certains essais sont exigés ou optionnels en fonction de 3 classes de contrôle : H pour les pièces fortement sollicitées, M pour les pièces moyennement sollicitées et L pour celles faiblement sollicitées. Pour chaque essai, elle fait appel aux normes correspondantes. Enfin, elle fixe les conditions de réception des pièces y compris la définition des ainsi que la documentation de contrôle ;

- **NF ISO/ASTM 5291 (systèmes de coordonnées et méthodes d'essai) en aout 2013** : Cette norme s'applique aux systèmes de coordonnées des machines et supports de fabrication additive. Contrairement à l'usinage, le principe de la fabrication, qui consiste à ajouter de la matière par couche successives, suppose qu'au départ du processus de fabrication, la pièce ne peut pas physiquement servir de référence et supporter le système de coordonnées. La norme NF ISO/ASTM 52921 permet de situer les systèmes de coordonnées et la nomenclature spécifique pour toute la terminologie propre à la fabrication ;
- **NF ISO/ASTM 52915 (format de fichier) en aout 2013** : Cette technique décrit le format d'échange AMF (version 1.1) des fichiers descriptifs de ces pièces. Ces fichiers contiennent les informations classiques comme la géométrie, mais aussi les matériaux, les états de surface, les couleurs, les nuances fonctionnelles, les procédés de réalisation, etc. Les annexes de la norme donnent la structure propre au fichier AMF et différents exemples illustratifs.









Source : note de veille sur la normalisation en fabrication additive (février 2014 – Marguerite de Luze et Catherine Lubineau – UNM)

ANNEXE 5 :

FICHES ENTREPRISES – PANORAMA INTERNATIONAL

- On compte deux fabricants « historiques » aux Etats-Unis, de nombreux autres acteurs ayant ensuite émergé et grandi à travers le monde.
- Il faut distinguer les producteurs d'imprimantes *stricto sensu* et les sociétés de services, qui répondent aux demandes de leurs clients et fournissent dans ce but différentes prestations, en s'appuyant sur les fabricants.
- La frontière entre ces deux types d'activité, toutefois, n'est pas toujours aussi tranchée. En effet, dans ce domaine comme dans de nombreux autres, les fabricants ont progressivement étoffé leur gamme de services pour être proches de leurs clients et du marché, et adapter leur matériel en conséquence.
- Certains grands utilisateurs industriels, en France (Airbus, Safran...), comme dans le reste du monde (ex. General Electric, Siemens, Boeing...), jouent aussi un rôle considérable dans la diversification des équipements et de leurs applications.

La liste figurant ci-après (complétée par des fiches individualisées correspondant à chaque entreprise citée) est loin d'être exhaustive. Elle recense les principales entreprises qui caractérisent ce secteur à ce jour.

PAYS	ENTREPRISES	N° DE FICHE
	Les fabricants historiques (également très engagés dans les activités de service) :	
	• 3D Systems	01
	• Stratasys	02
	Autres entreprises :	
	• MakerBot (rachetée par Stratasys)	03
	• Hewlett-Packard (HP)	04
	• Optomec	05
	Principales entreprises :	
	• Trumpf (en premier lieu, fabricant de machines-outils)	06
	• EOS	07
	• ExOne	08
	• Voxeljet	09
	• SLM Solutions	10
	Autres entreprises :	
	• Concept Laser (Hofmann)	11
	• ReaLizer	12
	Fabricants d'imprimantes :	
	• Prodways (groupe Gorgé)	13
	• Phenix (racheté par 3D Systems)	14
	• BeAM	15
	• 3A (qui a récemment émergé)	16
	Prestataires de services :	
	• Sculpteo	17
	• Poly-Shape	18
	• Cresilas	19
	Renishaw	20
	Materialise (« i.materialise » étant spécialisé dans la prestation de services)	21
	Arcam	22
	TierTime	23
	XYZ Printing	24
    	Ricoh	25
	Rokit	26
	Sharebot	27

Des activités à fort potentiel,...
... mais qui n'excluent pas une certaine fragilité boursière

Comparaison des cours des actions de 4 leaders (3D Systems, Stratasys, ExOne et Voxeljet), ainsi que de Dassault Systems (évolution sur 12 mois / 2014)



FICHE N° 1 – 3D SYSTEMS



3DSYSTEMS™

- Etats-Unis (Rock Hill – Caroline du Sud)
- Avi Reichenthal (CEO)
- Entreprise fondée en 1986
- 3D Systems dispose de 10 unités de production dans le monde (dont une usine à Darmstadt, fonctionnant avec 60 salariés)
- Propose ses services dans plus de 80 pays
- Détient environ 400 brevets dans le domaine des technologies d'impression 3D

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

3D Systems est connue pour avoir développé le procédé de stéréolithographie. C'est l'un des plus importants fabricants mondiaux d'imprimantes 3D, avec, en portefeuille, des marques telles que SLA® (Stereolithography) et SLS® (Selective Laser Sintering).

En plus, 3D Systems développe différents matériaux réalisés à partir de photopolymères, de métaux, de nylon, de matières plastiques et de thermoplastiques, qui sont utilisés dans les gammes VisiJet®, Accura® et DuraForm®. L'entreprise destine ses produits à de très nombreux secteurs, y compris les transports ou le secteur médical.





QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

- Depuis 2010, 50% des imprimantes 3D vendues ont été destinées à applications de fabrication, qui incluent des pièces entrant dans la fabrication de produits aussi divers que des avions, des bijoux ou des appareils auditifs.
- 3D Systems bénéficie de contrats majeurs, tel que celui accordé par l'US Air Force pour la transition de matériaux SLS spécialisés et les machines en vue de la préparation de la production de l'avion de chasse F-35, dans le cadre du programme de recherche Joint Strike Fighter (budget de l'ordre de 3M\$). Le plus grand secteur de croissance de 3D Systems concerne des solutions liées aux soins de santé. Au cours des neuf premiers mois de 2012, ce secteur a augmenté son CA de 82% par rapport à l'année précédente, pour atteindre plus de 36 M\$.
- Le chiffre d'affaires de 3D Systems pour 2014 s'élève à 653.7 M\$. La société prévoit un chiffre d'affaires pour le 1er trimestre 2015 de l'ordre de 158 M\$ à 160 \$ (annonce en avril 2015). Sa croissance rapide lui a valu néanmoins quelques déboires boursiers (voir illustration de l'évolution des cours au long de l'année 2014).
- La société a reçu une médaille d'or 2015 au titre de l'Edison Award dans la catégorie science/ médical / dentaire pour ses solutions innovantes 3DS en matière de santé (annonce en mai 2015).
- 3D Systems a renforcé sa position en Chine via le rachat du groupe Easyway, spécialisé dans la création et la maintenance de systèmes 3D en Chine (avril 2015).
- Cette position de leader et une politique très active d'acquisitions n'ont cependant pas suffi, semble-t-il, à maintenir la confiance des milieux boursiers. Il en résulte, depuis décembre 2014, une très nette érosion du cours de l'entreprise à la Bourse de New-York (voir graphique ci-après).



DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
3D Systems collabore avec la fondation d'aide aux handicapés e-NABLE (primée par Google) en vue de développer une prothèse de main imprimable en 3D (cf acquisition de Bespoke Innovations, spécialisée dans ce secteur, en 2012)	http://3dprintingindustry.com/2015/06/11/e-nable-partners-with-3d-systems-to-push-3d-printed-prosthetics-even-further/	11.06.15
3D Systems perçoit 1,3 M\$ pour développer en impression 3D des pièces destinées à l'aéronautique	http://3dprintingindustry.com/2015/05/22/3d-systems-receives-1-3-million-for-3d-printing-aircraft-parts/	22.05.15
3D Systems se sépare de son Directeur financier, Ted Hull, après avoir remercié plusieurs anciens cadres supérieurs issus de sa division MakerBot	http://3dprintingindustry.com/2015/05/15/3d-systems-replaces-cfo-ted-hull/	15.05.15
Des exemples de chirurgie virtuelle en démonstration à La Nouvelle-Orléans	http://3dprintingindustry.com/2015/05/15/3d-systems-demos-virtual-surgeries-and-soft-3d-printed-models-in-new-orleans/	15.05.15
3D Systems développe à travers le monde ses machines destinées à la transformation des métaux	http://3dprintingindustry.com/2015/05/11/3d-systems-sends-industrial-3d-printing-abroad/	11.05.15
3D Systems développe la commercialisation de ses équipements grands publics via les chaînes de magasins Best Buy et le groupe Carolina Wholesale	http://3dprintingindustry.com/2015/05/07/3d-systems-expands-3d-printer-distribution-to-best-buy-carolina-wholesale/	07.05.15
3D Systems étend ses activités en Chine en rachetant le groupe Easyway	http://3dprintingindustry.com/2015/04/06/3d-systems-china-launches-with-easyway-group-acquisition/	06.04.15
3D Systems s'associe à UNYQ pour compléter, par des prothèses des membres inférieures, la gamme déjà développée via Bespoke (cf supra)	http://3dprintingindustry.com/2015/04/03/3d-systems-teams-with-unyq-for-bespoke-3d-printed-prosthetics/	03.04.15
3D Systems dote les PC équipés de la nouvelle caméra RealSense 3D de ses applications 3DMe et Sense, permettant à ces caméras de scanner les objets en 3D	http://3dprintingindustry.com/2015/03/25/intel-and-3d-systems-partner-to-change-pc-and-tablets-for-good/	25.03.15

FAITS	SOURCE(S)	DATE
	Lancement du concours "Designing the Future" (« Concevoir l'avenir »), dont le volet « Home of the Now » (L'habitat d'aujourd'hui) doit permettre de valoriser des idées décoratives et de mobilier réalisables via l'impression 3D : http://3dprintingindustry.com/2015/03/20/3d-systems-is-hitting-up-nycs-3d-print-week-in-a-big-way/	20.03.15
Soins vétérinaires : Des affections ligamentaires touchant les chiens soignés grâce à des applications réalisées par 3D Systems par impression 3D	http://3dprintingindustry.com/2015/03/13/cruciate-ligament-damage-dogs-cured-3d-printing-3d-systems/	13.03.15
Canon et 3D Systems s'associent pour renforcer leur présence en Europe	http://3dprintingindustry.com/2015/02/26/canon-and-3d-systems-partner-to-march-across-europe/	26.02.15
3D Systems lance l'imprimante 3D « tout en un » à usage médical ProJet 3510 DPPro	http://3dprintingindustry.com/2015/02/24/3d-systems-releases-projet-3510-dppro-all-in-one-medical-3d-printer/	24.02.15
Joaillerie : 3D Systems développe des applications avec le groupement vénitien de fabrication Protofusione et la chaîne de distribution 3DZ	http://3dprintingindustry.com/2015/02/20/protofusione-3d-3d-systems-jewelry-making/	20.02.15
Industrie aérospatiale et de défense : 3D Systems reçoit plus d'1 M\$ pour mener à bien des projets liés à l'impression 3D	http://3dprintingindustry.com/2015/02/03/3d-systems-receives-1-million-defense-aerospace-3d-printing-projects/	03.02.15
Faits	Source(s)	Date
	Le confiseur Hershey et 3D Systems dévoilent, à l'occasion du Consumer Electronics Show (CES) de Las Vegas, une imprimante 3D capable de servir à la transformation de tous les types de chocolat (noir, blanc ou au lait) http://3dprintingindustry.com/2015/01/06/hershey-3d-systems-unveil-new-cutting-edge-chocolate-3d-printer-ces/	06.01.15
 <p>3D Systems lance Touch Haptic 3D Stylus, une application au prix inférieur à 600 \$, qui, couplée à la Cubify Sulpt, permet de donner vie aux modèles imaginés par les artistes, les joueurs et les designers</p>	http://3dprintingindustry.com/2015/01/05/3d-systems-stitches-digital-3d-printing-thread-haptic-stylus-vr-game-50k-clleenge/	05.01.15
3D Systems acquiert BotObjects pour développer l'imprimante CubePro® C Full-Color	http://3dprintingindustry.com/2015/01/05/3d-systems-acquires-botobjects-cubepro-c-full-color-3d-printer/	05.01.15
 <p>3D Systems met en place une coopération avec le Culinary Institute of America (CIA). Cette coopération avec des enseignants et des étudiants devrait favoriser le lancement, au cours du 2^e semestre 2015, d'une série de projets communs portant sur la transformation de produits alimentaires.</p>	http://3dprintingindustry.com/2014/12/30/3d-systems-culinary-insitute-of-america-partnership/	22.12.14
3D Systems emprunte 150 M\$	http://3dprintingindustry.com/2014/12/22/3dpi-tv-3d-systems-borrows-150-million/	22.12.14
Forbes distingue 3D Systems, qu'il estime être une des « Top Small Companies » des Etats-Unis	http://3dprintingindustry.com/2014/12/06/forbes-3d-systems-small-company/	06.12.14
Des nouvelles du litige opposant 3D Systems à Formlabs	http://3dprintingindustry.com/2014/12/03/3d-systems-vs-formlabs-3d-printing-settlement-update/ http://3dprintingindustry.com/2014/12/02/3d-systems-formlabs-find-resolution/	03.12.14
3D Systems rend publiques ses nouvelles réalisations : le Mini Scanner 3D et le logiciel Cloud 3D Printing	http://3dprintingindustry.com/2014/11/25/3d-systems-releases-mini-3d-scanner-cloud-3d-printing-software/	25.11.14
3D Systems fait l'acquisition de l'entreprise israélienne Cimatron, spécialisée dans le développement d'applications destinées à la conception et à la fabrication assistées par ordinateur (CAD/CAM)	http://3dprintingindustry.com/2014/11/24/3d-systems-acquires-cadcam-developer-cimatron/	24.11.14
Présentation de nouveaux équipements à l'occasion d'EuroMold	http://3dprintingindustry.com/2014/11/24/3d-systems-new-machines-materials-euromold/	24.11.14

Sources :

<http://www.3dsystems.com/> - 3D Systems Announces Preliminary First Quarter 2015 Results
<http://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-reports-record-revenue-fourth-quarter-and-full-year-2014>
<http://www.3dsystems.com/press-releases?page=3>

FICHE N° 2 – STRATASYS



- Siège aux Etats-Unis (Minneapolis)
- M. Elchanon (Pdt) + David Reis (CEO) + Andy Middleton, VP et DG de Stratasys Europe, Moyen-Orient & Asie
- Stratasys Ltd. résulte de la fusion (2012) de Stratasys Inc. et de la société israélienne Objet Ltd (Revohot).
- La société s'est agrandie en rachetant (pour 403 M\$) le fabricant US MakerBot en juin 2013. Ce dernier constitue désormais une division distincte du groupe.
- Stratasys s'est spécialisée dans les applications à usage industriel.
- Stratasys emploie plus de 1100 collaborateurs

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

Stratasys fabrique des imprimantes 3D et des matériaux pour le prototypage et la production. Le prototypage rapide par dépôt de fil (FDM - Fused Deposition Modeling) et Polyjet®processes brevetés produisent des prototypes et des produits manufacturés directement à partir de fichiers CAO 3D ou de tout autre contenu 3D. Les systèmes comprennent des imprimantes 3D pour le développement des idées, une gamme de systèmes pour le prototypage et les grands systèmes de production pour la fabrication numérique directe.

Depuis juin 2012, la gamme de Stratasys, qui comporte plus de 130 matériaux d'impression 3D, est la plus large de ce qui est proposé à destination de l'industrie. Elle comprend notamment plus de 120 matériaux photopolymères et 10 matériaux thermoplastiques innovants à base de FDM. La société fabrique également les imprimantes 3D Solidscape et exploite le RedEye On Demand, service de fabrication numérique sur commande (nouvelle division SDM).

La société détient plus de 500 brevets accordés ou en voie de l'être dans le secteur de la fabrication additive à l'échelle mondiale. Elle a reçu également plus de 20 récompenses pour sa technologie et son leadership dans ce secteur.


QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

- Le chiffre d'affaires de Stratasys, qui connaît des difficultés depuis l'automne 2014, était de 172,7 M \$ (pour le premier trimestre de 2015). **La société a annoncé un CA global 2015 de plus de 800 M\$²²⁰ (contre 750 M\$ en 2014), ce qui est loin d'être acquis à ce jour. Elle disposerait de fonds de réserve de l'ordre de 425 M\$²²¹.**
- La société a vendu 7.536 systèmes d'impression 3D et de fabrication additive au cours du 1^{er} trimestre 2015. Stratasys a investi un montant net de 24,4 M \$ en projets de R & D au cours de cette même période, soit 14,1% du chiffre d'affaires.
- Les solutions de fabrication additive Stratasys ont été sélectionnées par Airbus dans le but de produire des pièces destinées au premier avion de type A350 XWB. Airbus a déjà produit plus de 1.000 pièces avec le système de production FDM (prototypage rapide par dépôt de fil) pour permettre la livraison de l'avion en décembre 2014.
- Stratasys dispose de 10 bureaux dans la zone Asie-Pacifique. La base principale a été établie à Hong Kong et elle s'appuie sur des établissements implantés à Shanghai, Beijing, Shenzhen, Tokyo, Osaka, Seoul, Busan, Singapour et Bangalore.

²²⁰ Source : Forbes (11.05.15) : <http://www.forbes.com/sites/samanthasharf/2015/05/11/stratasys-focused-on-the-future-as-profitability-becomes-a-thing-of-the-past/>

²²¹ Evaluation au 11.05.2015 : <http://seekingalpha.com/article/3170886-is-stratasys-finally-scratching-bottom>

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Bold Machines dit adieu à Stratasys Bold Machines, le "spin-off" de Bre Pettis ²²² , fondateur et ancien patron de MakerBot, a été créé en 2014 et couvre le secteur des médias	http://3dprintingindustry.com/2015/06/15/bold-machines-boldly-pirouettes-sort-of-away-from-stratasys/	15.06.15
Stratasys gagne son procès contre Afinia (qui fabrique la gamme d'imprimantes 3D « H-Series »), avec l'appui de l'USPTO (United States Patent & Trademark Office), mais Afinia contre-attaque	http://3dprintingindustry.com/2015/06/12/stratasys-lands-blow-in-afinia-3d-printing-lawsuit/	12.06.15
Stratasys et le concepteur de logiciels PTC s'associent pour optimiser les workflows de l'impression 3D afin de rendre ces technologies plus pratiques et plus facilement accessibles aux fabricants et aux concepteurs de produits	http://3dprintingindustry.com/2015/06/08/stratasys-and-ptc-team-up-to-optimize-3d-printing-workflows/	08.06.15
L'ETH (Institut Fédéral Suisse de Technologie) finance un important programme d'investissement en imprimantes 3D de la gamme UPrint SE Plus de Stratasys	http://3dprintingindustry.com/2015/05/22/eth-zurich-invests-heavily-in-stratasys-uprint-se-plus-3d-printers/	22.05.15
Stratasys rejoint le programme "SME Bright Minds Educational Program", qui stimule la coopération entre enseignement supérieur et entreprises. Mis en place par la SME (Society of Manufacturing Engineers), ce programme doit, d'ici à fin 2015, faire l'objet de plusieurs présentations dans le cadre d'événements touchant le monde de l'industrie : http://www.sme.org/brightminds/	http://additivemanufacturing.com/2015/05/12/stratasys-joins-smes-bright-minds-educational-program-to-develop-future-careers-in-additive-manufacturing/	12.05.15
Des produits de la Station Spatiale Internationale customisés grâce à Stratasys	http://3dprintingindustry.com/2015/05/07/iss-spacex-freezers-customized-stratasys-3d-printing/	07.05.15
Collaboration avec Lamborghini	http://3dprintingindustry.com/2015/05/05/stratasys-energy-group-help-make-lamborghini-cars-faster-3d-printing/	05.05.15
Création de 8 Centres agréés de maintenance MakerBot sur le Vieux-Continent	http://3dprintingindustry.com/2015/04/29/amidst-lowered-q1-earnings-and-lay-offs-stratasys-reaches-out-to-3rd-party-vendors-as-customer-service-reps/	29.04.15
 <p>Présentation, à la Foire de Hanovre, du dispositif Objet1000 Plus 3D Production System, qui permet une économie de temps de 40% par rapport aux modèles antérieurs. Parallèlement, la Xtend 500 permet de traiter les filaments d'ABS, ainsi que la Xtend Fortus Plus.</p>	http://3dprintingindustry.com/2015/04/13/stratasys-new-objet1000-plus-3d-printer-is-bigger-and-faster/ http://3dprintingindustry.com/2015/04/13/stratasys-xtends-unattended-3d-printing-fortus-systems-400-hours/	13.04.15
Orthopédie: coopération avec des professionnels de Vérone, avec, en arrière-plan, une collaboration plus large avec l'IDBN (Italian Digital Biomanufacturing Network)	http://3dprintingindustry.com/2015/04/10/stratasys-inspires-verona-surgeons-found-medical-association/	10.04.15
Joshua Claman devient Chief Business Officer (CBO)	http://3dprintingindustry.com/2015/04/02/joshua-claman-appointed-chief-business-officer-of-stratasys/	02.04.15
Stratasys Asie-Pacifique annonce l'ouverture, en avril, d'un bureau à Bangalore (Inde), qui, sous la direction de Rajiv Bajaj, va servir de vitrine au groupe	http://3dprintingindustry.com/2015/03/31/stratasys-begins-new-chapter-in-the-indian-market-with-key-announcements/	31.03.15
Sports automobiles: collaboration avec l'Université des Sciences Appliquées de Berlin et PolyJet dans le cadre du projet HTW Motorsports, qui vise à améliorer les performances de la BRC 2014	http://3dprintingindustry.com/2015/03/31/stratasys-digital-abs-used-3d-print-airbox-htw-racecar/	31.03.15
Création de deux nouvelles divisions chez Stratasys : - "Stratasys Direct Manufacturing" (qui regroupe les unités distinctes qui assuraient les prestations de services d'appui à l'impression 3D et aux activités industrielles), - "Strategic Consulting Division" (appui à l'expertise), mise en place en incorporant la société britannique de conseil Econolyst, spécialisée dans l'accompagnement en matière industrielle et de R&D (directeur : Dr. Phil Reeves)	http://3dprintingindustry.com/2015/02/27/3d-printing-expert-econolyst-forms-stratasys-strategic-consulting-division/	27.02.15
Jenny Lawton, qui avait succédé à Bre Pettis en septembre 2014 à la tête de MakerBot, quitte cette division pour intégrer la direction générale de Stratasys	http://3dprintingindustry.com/2015/02/24/lawton-leaves-makerbot-for-position-at-stratasys/	24.02.15
Stratasys Direct Manufacturing signe un accord avec le JPL (Jet Propulsion Laboratory) de la NASA en vue de la création d'un système innovant d'antennes destinées aux satellites d'observation météorologique et climatique FORMOSAT- 7 et COSMIC-2	http://3dprintingindustry.com/2015/02/13/stratasys-going-space-ultem/	13.02.15
Stratasys doit faire face à une action de groupe, pilotée par le Cabinet Robbins, Geller and Rubin, qui juge trompeuses les informations financières publiées par la compagnie (chiffre d'affaires décevant au 4 ^e trimestre 2014 et prévisions 2015 plutôt sombres)	http://3dprintingindustry.com/2015/02/06/weaker-earnings-leads-class-action-lawsuit-stratasys/	06.02.15
Stratasys enrichit sa palette de matériaux, notamment sa gamme de thermoplastiques ASA	http://3dprintingindustry.com/2015/01/29/stratasys-kicks-2015-off-blooming-bouquet-new-3d-printing-materials/	29.01.15

²²² Celui-ci doit définitivement quitter le groupe Stratasys très prochainement.

FAITS	SOURCE(S)	DATE
	<p>Après le lancement, par Nike, de modèles de chaussures de sport réalisées par impression 3D, Stratasys innove de son côté, en fabriquant, à l'aide de son imprimante Object500 Connex 3 PolyJet multimatériaux, un ballon de football en 3D pour le Superbowl. L'illusion produite par le cuir artificiel ainsi obtenu semble très réussie !</p>	<p>http://3dprintingindustry.com/2015/01/28/superbowl-xlix-upon-us-stratasys-bringing-3d-printed-football/ 28.01.15</p>
	<p>Du nouveau dans le domaine des prothèses dentaires : le lancement de l'imprimante Objet Eden260VS devrait apporter une vraie plus-value aux cabinets d'orthodontie</p>	<p>http://3dprintingindustry.com/2015/01/17/stratasys-releases-objet-eden260vs-strengthen-dental-3d-printing/ 07.01.15 http://additivemanufacturing.com/2015/01/16/stratasys-introduces-its-most-versatile-3d-printer-for-digital-dentistry/ 16.01.15</p>
<p>Création de la nouvelle division "Stratasys Direct Manufacturing" par regroupement des filiales en charge du prototypage rapide et des activités industrielles y compris le service « RedEye On Demand », et incorporation de Harvest Technologies et Solid Concepts (acquis en 2014)</p>	<p>http://3dprintingindustry.com/2015/01/07/stratasys-direct-manufacturing-3d-printing-division/</p>	<p>07.01.15</p>
 	<p>Pédagogie : Stratasys propose aux étudiants des formations gratuites (modules de 14 semaines) sur le thème de l'impression 3D pour répondre à une forte demande de l'industrie et mieux préparer les étudiants à de futures carrières, car l'impression 3D devient aujourd'hui une partie intrinsèque du processus de conception et de fabrication dans les grandes entreprises.</p>	<p>http://3dprintingindustry.com/2014/12/04/stratasys-new-3d-printing-curriculum/ 04.12.14</p>
<p>Transplantations faciales: discussions techniques sur l'impact des avancées obtenues par Stratasys</p>	<p>http://additivemanufacturing.com/2014/12/01/doctor-from-brigham-and-womens-hospital-discussed-impact-of-stratasys-3d-printing-in-facial-transplants/</p>	<p>01.12.14</p>
	<p>Présentation du « scooter urbain » (450 kg / Autonomie : 100 km) développé en partenariat avec l'Université d'Aix-la-Chapelle. Toutes les pièces de carrosserie externe ont été réalisées avec des imprimantes de Stratasys</p>	<p>http://3dprint.com/25612/stratasys-streetscooter-car/ 18.11.14</p>
<p>Des résultats financiers plutôt convenables au 3^{ème} trimestre 2014</p>	<p>http://3dprintingindustry.com/2014/11/05/stratasys-2014-q3-financial-results-3d-printing/</p>	<p>05.11.14</p>
<p>Bold Machines dit adieu à Stratasys Bold Machines, le "spin-off" de Bre Pettis²²³, fondateur et ancien patron de MakerBot, a été créé en 2014 et couvre le secteur des médias</p>	<p>http://3dprintingindustry.com/2015/06/15/bold-machines-boldly-pirouettes-sort-of-away-from-stratasys/</p>	<p>15.06.15</p>

Sources :

www.stratasys.com ou <http://blog.stratasys.com>

<http://investors.stratasys.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=912146>

²²³ Celui-ci doit définitivement quitter le groupe Stratasys très prochainement.

FICHE N° 3 – MAKERBOT



- Créée en 2009, à Brooklyn, lieu de son siège social actuel
- Jonathan Jaglom, PDG (2° successeur du fondateur, Bre Pettis) + Frank Alfano (CEO) + Andreas Langfeld (DG MakerBot Europe) + Mark Schulze (DG Amériques & Marchés émergents)
- L'entreprise, qui disposait d'environ 20% de part de marché dès 2011, représente aujourd'hui plus de 25% des imprimantes 3D vendues à travers le monde (tous types confondus).
- A intégré le groupe Stratasys à l'été 2013.
- MakerBot Industries est la tête d'affiche mondiale de l'impression 3D personnelle.
- <http://www.makerbot.com/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

- En mars 2009, le premier né MakerBot a été la Cupcake CNC, une imprimante 3D dont les fichiers de fabrication sont accessibles sur internet, améliorée en partie par la communauté fraîchement créée autour de Thingiverse²²⁴ et du projet RepRap²²⁵. Elle fut suivit par la Thing-O-Matic.
- L'entreprise lance The Replicator en janvier 2012. MakerBot se surpasse avec une imprimante préassemblée plus grande et munie de deux buses d'extrusion, un ajout permettant de faire des pièces bicolores et décuplant les possibilités d'utilisation de la machine.
- En septembre 2012, la Replicator 2 est lancée, imprimante aux performances plus professionnelles. Ses composants faits sur mesure, son châssis en acier et sa nouvelle couleur noire attirent l'attention des petites et grandes entreprises. Makerware, un logiciel d'exploitation intuitif et convivial - qui vient remplacer Replicator G - est lancé au même moment.
- En janvier 2013, au CES de Las Vegas, la Replicator 2X, conçue pour expérimenter avec d'autres matériaux, est dévoilée. Afin de régler certains problèmes récurrents avec l'ABS, elle est munie d'une fenêtre transparente qui conserve la chaleur autour de la zone d'impression.
- Ensuite, apparaît le premier scanner 3D de bureau de MakerBot, le Digitizer, sorti en août 2013.
- A l'occasion du CES 2014, MakerBot annonce sa 5^{ème} génération d'imprimante 3D, encore plus performantes, plus fiables, adaptées aux professionnels comme aux particuliers notamment avec sa déclinaison de taille pour tous les budgets et besoins.
- MakerBot a été distingué par le magazine Fast Company comme l'une des 10 entreprises les plus innovantes au monde pour les produits électroniques.
- En avril 2015, MakerBot a dû malheureusement se séparer de 20% de ses effectifs (soit environ 120 personnes) (une grande partie du personnel ayant moins de 30 ans).

²²⁴ Thingiverse a débuté en novembre 2008 comme un site d'accompagnement à MakerBot Industries. Thingiverse est un site dédié à l'échange de fichiers de conception numérique créé par l'utilisateur. Thingiverse est largement utilisé dans le secteur de la technologie « do it yourself » et des « maker communities », par le projet RepRap, mais aussi par l'imprimante 3D et les opérateurs de Makerbot

²²⁵ RepRap a été la première imprimante 3D à faible coût et la première machine autorépliquable de production d'usage général fabriquée par l'homme. RepRap est devenue l'imprimante 3D la plus largement utilisée parmi les membres mondiaux de la Maker Community.

QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

- Au 1^{er} trimestre 2013, l'entreprise indique avoir réalisé un CA global de 11,5 M\$. Cela représente une forte progression car le CA réalisé en 2012 était de l'ordre de 15, 7 M\$ au titre de l'année entière. Depuis cette date, les données financières de MakerBot sont intégrées à celles de sa maison-mère.
- Entre 2009 et 2013, la société a vendu 22.000 imprimantes 3D, dont 11.000 du modèle Replicator 2.
- Les ventes de MakerBot ont connu une croissance explosive et ont augmenté de plus de 600% de 2012 à 2014²²⁶. La société a déclaré qu'elle a vendu plus de 80.000 de ses imprimantes de bureau 3D.
- Stratasys et MakerBot estiment que, dans le monde, 35.000 à 40.000 imprimantes 3D ont été vendues en 2012.
- Ce nombre était considéré comme pouvant raisonnablement doubler en 2013, dans la mesure où ces appareils sont utilisés en vue de mettre en œuvre un nombre croissant d'applications. Selon certaines sources, MakerBot aurait vendu plus de 100.000 unités à fin 2013.
- L'essentiel des ventes s'opère à destination des utilisateurs directs via le site Internet de l'entreprise. A l'étranger, MakerBot a recours à des distributeurs. Aux Etats-Unis, MakerBot a ouvert à New-York un hall d'exposition, qui sert aussi de centre de démonstration et de boutique physique.
- MakerBot a aussi décidé de commercialiser ses appareils, non seulement via Home Depot ou Staples, mais aussi via les géants de la vente en ligne que sont Amazon et ebay.
- Le fabricant d'imprimantes 3D MakerBot a ouvert un centre d'innovation : en avril 2015 avec l'université Cattaneo de Varèse (Italie) ; en mars 2015, dans la bibliothèque de l'Université Amherst du Massachusetts (Etats-Unis). Avec plus de 50 imprimantes 3D, le premier laboratoire de MakerBot dans une bibliothèque universitaire mettra l'accent sur l'apprentissage et l'innovation axée sur les projets. Un autre centre d'innovation a également été ouvert à l'université Polytechnique de Floride. Des imprimantes 3D sont aussi disponibles dans les bibliothèques publiques de Chicago, de Johnson County, dans le parc d'Overland (Kansas), et de Long Beach (Californie).

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
MakerBot distribue dans les écoles du matériel pédagogique sur le thème de l'impression 3D	http://3druck.com/pressemeldungen/makerbot-veroeffentlicht-lehrmaterialien-fuer-3d-druck-in-schulen-3335551/	25.06.15
Lancement d'un partenariat avec le producteur de jeux éducatifs ThinkFun dans le but de réaliser, à l'intention des enfants de plus de 7 ans, des kits permettant la fabrication à domicile de pièces de jouets	http://3dprintingindustry.com/2015/06/23/makerbot-thinkfun-release-free-3d-printable-construction-sets/	23.06.15
Malgré les déconvenues du début d'année, MakerBot met en place une filiale pour traiter les marchés de la zone Asie, Pacifique, Japon (APJ), en s'appuyant sur les bureaux déjà ouverts par sa maison-mère (Stratasys)	http://3dprintingindustry.com/2015/06/09/stratasys-folds-makerbot-into-asia-pacific-operations-with-makerbot-api/	09.06.15
Restructurations à l'état-major de MakerBot ²²⁷ : départ d'Alexander Hafner, créateur de MakerBot Europe et des Centres d'innovation décentralisés	http://3dprintingindustry.com/2015/05/14/makerbot-europe-gm-let-go-in-favor-of-stratasys-vp/	14.05.15
Ouverture du 1er Centre d'Innovation MakerBot dans les locaux de la LIUC (Université Cattaneo) à Castellanza (province de Varèse)	http://3dprintingindustry.com/2015/04/28/northern-italys-liuc-university-opens-first-makerbot-innovation-center-europe/	28.04.15
Amérique latine: accord avec Distecna, qui assurera la distribution de la marque en Argentine, au Pérou et au Paraguay	http://3dprintingindustry.com/2015/04/21/makerbot-makes-way-into-south-america-with-3d-printing-distribution-agreement/	21.04.15

²²⁶ <http://www.xconomy.com/new-york/2015/02/03/stratasys-takes-write-down-on-makerbot-is-3d-printing-due-a-reckoning/>

²²⁷ "The market was not as big as we thought it was two years ago... MakerBot has a lot of great things in its company culture that need to be preserved, starting with the brand. The brand is very solid. I have absolutely no intention to change that whatsoever, that would be a very bad move." Jonathan Jaglom (fin avril 2015)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
MakerBot se sépare de 20% de ses effectifs et ferme 3 points de vente (tout en conservant des accords avec des distributeurs tels que WYNIT ou D&H et des chaînes telles que Sam's Club ou Staples)	http://3dprintingindustry.com/2015/04/17/makerbot-lays-off-20-of-staff-closes-retail-locations/ http://www.makerbot.com/blog/2015/04/17/announcement/	17.04.15
Couverture du marché nord-américain : accord avec la société D&H Distributing	http://3dprintingindustry.com/2015/04/16/makerbot-further-expands-3d-printer-distribution-network-with-dh/	16.04.15
Accord de distribution avec la chaîne US Sam's Club (accès à plus de 300 magasins)	http://3dprintingindustry.com/2015/03/26/makerbot-makes-its-way-into-over-300-sams-club-stores/	26.03.15
Accord de distribution avec la chaîne US WYNITCenter Ouverture du Centre d'Innovation MakerBot à l'Université du Massachusets (UMass Amherst) (qui a, pour l'occasion, converti son « Digital Media Lab », implanté au sein de la Du Bois Library)	http://3dprintingindustry.com/2015/03/25/makerbot-expands-sales-with-umass-innovation-center-wynit-distribution/	25.03.15
 <p>Financement de l'acquisition d'imprimantes 3D : MakerBot met en place un système de crédit via Affirm (service créé par le cofondateur de PayPal)</p>	http://3dprintingindustry.com/2015/03/17/makerbot-partners-with-affirm-and-leaf-to-finance-3d-printer-purchasing/	17.03.15
Lancement des « MakerBot® Starter Labs » : après avoir ouvert plusieurs centres techniques dans des établissements d'enseignement aux Etats-Unis, MakerBot inaugure une nouvelle formule, à plus petite échelle. Cette forme de sponsoring a déjà été appliquée au Centre New Paltz de l'Université de New-York (SUNY).	http://3dprintingindustry.com/2015/03/04/makerbot-hopes-to-bring-3d-printing-starter-labs-to-schools-and-libraries/	04.03.15
Centres d'innovation MakerBot®: Ouverture du 3° centre au sein de la Xavier University de Cincinnati (Ohio), après ceux de la Florida Polytechnic University et de l'Université de New-York (State University of New York-SUNY)	http://3dprintingindustry.com/2015/02/04/xavier-university-launches-midwests-first-makerbot-innovation-center/	04.02.15
	Après le mobile 1.0, la société vient de mettre au point des applications exploitables sur iPad et sur Android. http://3druck.com/drucker-und-produkte/makerbot/makerbot-bringt-makerbot-desktop-update-und-makerbot-mobile-5619429/	25.01.15
Marché européen: le partenariat noué avec Autodesk et Tech Data Europe (Datech) va permettre la distribution de la gamme MakerBot sur 14 pays de l'Union européenne, notamment l'Allemagne, la France, les Pays-Bas, la Pologne et l'Espagne. Parallèlement, neuf centres d'appui et de service aux utilisateurs seront mis en place tout au long de l'année 2015	http://3dprintingindustry.com/2015/01/08/makerbot-brand-3d-printing-spread-across-europe/	08.01.15
	Développement d'un nouveau type de filament destiné aux applications PLA (plastique en acide polylactique) http://3druck.com/drucker-und-produkte/makerbot/makerbot-praesentiert-neues-filament-1328624/	06.01.15
« Hello Kitty » fête son 40° anniversaire avec la participation de MakerBot	http://3dprintingindustry.com/2014/12/12/3dpi-tv-hello-kitty-celebrates-makerbot/	12.12.2014
Poursuite du " MakerBot Developer Program", lancé en 2014: ce programme permet aux développeurs de logiciels de disposer de toutes les ressources nécessaires pour créer des applis compatibles avec l'écosystème MakerBot. Après cette phase de maturation, la société vient de lancer le "MakerBot-Ready Apps Portal", qui permet d'avoir accès à une série d'applis spécialement étudiées pour l'utilisation de l'impression 3D.	http://3dprintingindustry.com/2014/12/10/makerbot-ready-apps-ready-3d-printing/	10.12.2014

Sources :

<http://www.makerbot.com/>

<http://www.industrie-techno.com/makerbot-ouvre-son-premier-centre-d-innovation-en-europe.38068>

FICHE N° 4 – HEWLETT- PACKARD



- Siège social aux Etats-Unis (Palo Alto/Californie)
- Principaux dirigeants : Meg Whitman (CEO), Antonio Lucio, Dir. Marketing HP, Inc., Cathie Lesjak, Executive VP et Dir. Financier, Dion Weisler, Executive VP, Printing & Personal Systems, J. Scott Schiller, Directeur « Worldwide Business » de HP 3D Printing
- Effectif : 302.000 salariés dans le monde (31.10.2014)
- Portefeuille de brevets : 34.000 (2014), en régression

CONTEXTE

Two new independent publicly traded companies

	Hewlett-Packard Enterprise	HP Inc.
Revenue Mix⁽¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> Enterprise Group: 48% Enterprise Services: 39% Software: 7% Financial Services: 6% 	<ul style="list-style-type: none"> Personal Systems: 59% Printing: 41%
Financial Metrics⁽¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> Revenue: \$58.4B Operating Profit: \$6.0B Operating Margin: 10.2% 	<ul style="list-style-type: none"> Revenue: \$57.2B Operating Profit: \$5.4B Operating Margin: 9.4%
Key Markets	<ul style="list-style-type: none"> Servers Networking Software Converged Systems Storage Services Cloud 	<ul style="list-style-type: none"> Notebooks Mobility Ink Printing Managed Print Services Desktops Graphics Laser Printing
Leadership	<ul style="list-style-type: none"> Meg Whitman, Chief Executive Officer 	<ul style="list-style-type: none"> Dion Weisler, Chief Executive Officer

1. Based on reported HP segment revenue and segment operating profit for the last twelve months from Q3 fiscal 2014 to Q3 fiscal 2015. Data do not include Corporate investments reported in accompanying statements.

En difficulté depuis plus de trois ans²²⁸, le groupe informatique américain Hewlett-Packard (HP) a annoncé, en octobre 2014, la scission en deux de ses activités (voir schéma ci-contre) : d'un côté les PC et les imprimantes, sous le nom d'HP Inc.²²⁹, de l'autre les services aux entreprises (logiciel, cloud computing), sous le nom de HP Enterprise²³⁰.

Peu de temps après, il annonçait également davantage de suppressions d'emplois, qui devraient désormais atteindre 55.000 postes.

Environ la moitié du chiffre d'affaires de HP, soit 56 MM\$, est réalisée dans l'activité PC et imprimantes²³¹. Pour mémoire, le groupe a investi en recherche-développement un budget de 3,4 MM\$ au cours de l'année fiscale 2014 (contre 3,1 MM\$ en 2013).

Cette multinationale américaine fait partie des 40 plus grandes entreprises mondiales. Appartenant au premier constructeur d'ordinateurs au monde, devant IBM et Dell.

LA STRATÉGIE INITIÉE EN 2014 : GRANDS AXES

- Le groupe américain a annoncé **une imprimante 3D à destination des professionnels et un ordinateur, baptisé « Sprout ».**

En début d'année 2014, Hewlett-Packard annonçait, par la voix de sa Présidente, Meg Whitman, ses ambitions de rentrer sur le marché de l'impression 3D²³². C'est lors d'une conférence donnée à New-York, en octobre 2014, que le groupe américain a dévoilé un nouveau procédé d'impression 3D dénommé Multi Jet Fusion à destination des professionnels et la création d'un nouvel ordinateur. La technologie utilisée dérive de celle qui est employée pour les imprimantes 2D traditionnelles (« Thermal Inkjet »). C'est l'entité HP Inc, dirigée par Dion Weisler, qui couvrira les activités d'impression (dont l'impression 3D) et tout le secteur grand public.

- **La technologie MJF (Multi Jet Fusion) : quoi de neuf ?**

La nouvelle technologie développée par HP combinera fusion de poudres et dépôt d'encre selon Le Multi Jet Fusion semble être un ultime développement de la technologie Memjet Waterfall, un procédé d'impression 2D récemment dévoilé par HP²³³.

²²⁸ Depuis 2011, le CA est en baisse régulière : 127 MM\$ (2011), 120 MM\$ (2012), 112 MM\$ (2013) et 111,5 MM\$ (2014). Source : HP – Rapport financier 2014.

²²⁹ Le CA de HP, Inc. se répartit de la façon suivante : 60% pour les applications personnelles (PC) et 40% pour l'impression (soit 23 MM\$ en 2014).

²³⁰ Cette scission a été précisée tout récemment :

<http://www8.hp.com/us/en/hp-news/press-release.html?wired=1963685&pageTitle=Hewlett+Packard+Enterprise+Files+Form+10+>

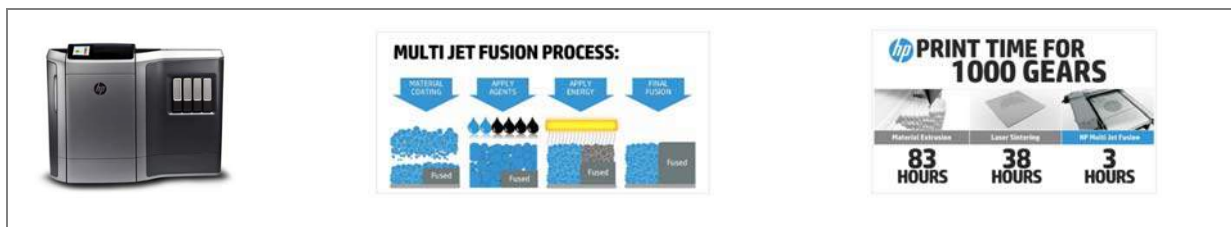
²³¹ Les activités du 2^e trimestre 2015 ont permis de dégager un revenu net de 25,5 MM\$ et un cash-flow de 1,5 MM\$ (Source : HP).

²³² **Des parts de marché sont encore à prendre puisqu'il devrait se vendre 2,3 millions d'imprimantes 3D dans le monde en 2018, contre 108.000 cette année**, a calculé l'institut Gartner.

²³³ <http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/7382/Could-The-Secret-of-HPs-3D-Printing-Venture-Be-Memjet.aspx> (27.03.14).

Avec le Multi Jet Fusion (voir ci-dessous esquisse d'appareil équipé de cette technologie), HP souhaite repousser les limites actuelles de l'impression 3D. Il s'agit d'un procédé plus rapide et plus précis que ceux que propose la concurrence, accompagné de différents produits qui formeront tout un écosystème 3D. Cette stratégie s'apparente à celle qu'a développée MakerBot.

La technologie de Hewlett-Packard a été conçue pour résoudre 3 problèmes majeurs des technologies actuelles, à savoir la vitesse, la précision et le coût. Elle combine fusion de poudres par multiples réactions chimiques et jets d'encre, un domaine largement maîtrisé par HP.



▪ Quels avantages pour les clients ?

1° Le procédé Multi Jet Fusion²³⁴ se positionne en effet comme étant jusqu'à **10 fois plus rapide** que le frittage laser/poudre (SLS) développé par des sociétés comme 3D Systems ou EOS Manufacturing, et jusqu'à **25 fois plus rapide** que les meilleures imprimantes 3D à dépôt de matière fondue (FDM), technologie sur laquelle repose notamment les imprimantes 3D fabriquées par MakerBot. Ce n'est pas encore très significatif, mais le système peut projeter jusqu'à 350 millions de gouttes d'encre par seconde.

2° Le procédé Multi Jet Fusion permettrait d'atteindre **un très haut niveau de qualité** avec une épaisseur de couche de l'ordre de 21 microns, sans que l'on puisse, à ce stade, disposer d'assurances en ce qui concerne la solidité du produit ainsi réalisé. Malgré tout, HP a tenu, pour des raisons promotionnelles, à dévoiler une vidéo montrant le maillon d'une chaîne imprimée en 3D capable de soulever le poids d'une voiture.

3° En terme de consommables, le MJF permettra d'imprimer en différentes **couleurs, textures et élasticités**, l'ensemble pouvant être mélangé.

4° La technologie d'HP devrait également **concurrencer les acteurs traditionnels** de l'impression 3D, en proposant des prix attractifs, tant au niveau des machines que du prix de revient des pièces imprimées. Concrètement, le géant de Palo Alto n'espère commercialiser son imprimante – dont le prix est encore inconnu – que **fin 2016**. Et il cible exclusivement les milieux industriels.

▪ L'ordinateur Sprout



Cet ordinateur d'un nouveau genre se destine avant tout à la création : montage photo ou vidéo, mise en page, CAO...

S'il s'adresse avant tout aux professionnels comme les designers, les usages grand public sont envisageables (jeux, enseignement, loisirs créatifs...), l'appareil fonctionnant sous Windows 8.

Le Sprout est pour le moment commercialisé depuis novembre 2014 aux États-Unis au prix de 1.900 \$ (environ 1.520 €).

Le groupe a aussi annoncé le lancement, mi-2015, d'un ordinateur d'un nouveau genre, baptisé « Sprout »²³⁵ (dénomination qui ne devrait pas être retenue en France). Une première version a été présentée au Consumer Electronics Show de janvier 2015.

Il s'agit d'un ensemble, composé d'un écran tactile, d'un clavier qui est en fait une tablette, d'un projecteur et d'un scanner 3D. Le tout permet de numériser un objet puis de le manipuler virtuellement.

Il sera possible de numériser des objets puis de les manipuler du bout des doigts où avec un stylet en quelques secondes.

L'appareil ne se limite pas à la 3D. On peut, par exemple, l'utiliser pour prendre des photos et faire de l'OCR (reconnaissance optique de texte) pour intégrer du texte dans une présentation sans avoir à le retaper à la main.


A cela s'ajoute même une expérience de jeu vidéo double écran, qui rappelle un peu la Nintendo DS, ainsi que la gestion des tâches classiques que l'on effectue au quotidien avec un PC (navigation Internet, multimédia, etc.).

²³⁴ Pour en savoir plus, voir le document technique mis en ligne par HP en octobre 2014 :

<http://h41367.www4.hp.com/campaigns/ga/3dprinting/4AA5-5472ENW.pdf>

²³⁵ Voir : <http://www8.hp.com/fr/fr/hp-news/press-release.html?id=2010321>

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
L'écosystème 3D Sprout trouve de nouvelles applications, qui seront disponibles dès cet été (Crayola Color Alive, Ideum Origami Apprentice, Mobile5 SizeUp, Mischief for Sprout, Sprout Stop Motion, Sprout Light Stencil et Sprout Video Capture)	http://www8.hp.com/us/en/hp-news/press-release.html?wireId=1961357&pageTitle=New+Applications+Expand+3D+Ecosystem+for+Sprout+by+HP+	24.06.15
Sprout by HP permet de scanner en 3D grâce à de nouvelles applications et des accessoires adaptés	http://www8.hp.com/us/en/hp-news/press-release.html?id=2010321	11.06.15
 <p>HP rend public son partenariat avec le constructeur hollandais Dremel (leader européen de l'outillage électroportatif), en vue d'associer le Sprout d'HP et l'Idea Builder (DIB) de Dremel, de façon à créer un écosystème capable de combiner utilisation du scanner et mise en forme du produit. <i>NB: Dremel, clairement orienté vers le grand public, proposait son DIB à moins de 1.000 \$ fin 2014.</i></p>	https://www.3dprinter.com/hp-announces-partnership-with-dremel-2229088/	19.05.15
HP et la technologie « Multi Jet Fusion »: de nouveaux détails dévoilés sur la stratégie, les capacités, etc.	http://3dprint.com/59206/hp-multi-jet-fusion-update/	20.04.15
HP pourrait-il être un sérieux concurrent dans le monde de l'impression 3D en 2016 ? (tribune de Tasha Keeney, analyste chez ARK Investment Management)	http://ark-invest.com/industrial-innovation/hewlett-packard-serious-3d-printing-competitor-next-year	09.02.15
HP rend public son accord avec Autodesk, qui vise à équiper les futures imprimantes 3D de HP de la plate-forme SPARK mise au point par son partenaire californien – Voir : http://spark.autodesk.com/	http://3dprint.com/28345/hp-autodesk-spark/ http://www.3dprinterworld.com/article/autodesk-and-hp-announce-spark-and-multi-jet-fusion-initiative	03.12.14
Le procédé « Multi Jet Fusion » développé par HP - Quelles perspectives en termes de propriété intellectuelle ?	http://3dprintingindustry.com/2014/11/12/hp-multi-jet-fusion-ip/	12.11.14
La nouvelle imprimante 3D de HP cible clairement les industriels, et non les consommateurs	http://www.computerworld.com/article/2844936/hps-new-3d-printer-is-aimed-at-manufacturing-not-consumers.html	07.11.14
HP souhaite réécrire les règles de l'impression 3D grâce à sa nouvelle technologie « Multi Jet Fusion »	http://www.3ders.org/articles/20141029-hp-wants-to-rewrite-the-rules-of-3d-printing-with-new-multi-jet-fusion-tech.html	29.10.14

Sources :

<http://www.3dnatives.com/hp-impression-3d-multi-jet-fusion/>
<http://www.futura-sciences.com/magazines/high-tech/infos/actu/d/informatique-sprout-pc-clavier-ni-souris-signe-hp-55883/>
http://www.lesechos.fr/29/10/2014/lesechos.fr/0203899293842_hewlett-packard-affiche-enfin-ses-ambitions-dans-l-impression-3d.htm
<http://www.lesimprimantes3d.fr/imprimante-3d-hp-multi-jet-fusion/>
<http://www.priximprimante3d.com/uusi/>
<http://www.zesmallfactory.com/news/hp-transformation-ambitions-impression-3d/>
<http://www.lefigaro.fr/societes/2014/10/06/20005-20141006ARTFIG00011-hewlett-packard-pret-a-se-separer-de-son-activite-pc.php>
http://www.lemonde.fr/economie/article/2014/10/06/la-scission-de-hewlett-packard-va-dans-le-bon-sens_4501340_3234.html

FICHE N° 5 – OPTOMEC



- Créée en 1997
- Siège social à Albuquerque (Nouveau-Mexique)
- David Ramahi, Président du CA
- Michael Barry, Vice-Président en charge du Développement
- Dr. Richard Grylls, DG LENS
- Michael Kardos, Vice-Président en charge du développement international
- <http://www.optomec.com/company/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES



- Optomec fournit des équipements de fabrication additive destinés à la transformation des métaux (LENS) et des circuits imprimés (Aerosol Jet).
- La société réalise la moitié de son CA sur le marché nord-américain et l'autre moitié, à parts égales sur les marchés européen et asiatique.
- Les commandes validées au cours du 1^{er} trimestre 2015 représentent le double du montant enregistré l'année précédente.²³⁶

BREF HISTORIQUE

MISE SUR LE MARCHÉ DE LA 1 ^o IMPRIMANTE 3D LENS, QUI EST DISTINGUÉE PAR LE MAGAZINE INDUSTRY WEEK ("TOP 25 TECHNOLOGIES OF YEAR")	1998
L'entreprise bénéficie d'un contrat DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) de 9 M\$ pour mettre au point une solution de type « Aerosol Jet » dans le secteur de la microélectronique	1999
Les systèmes de type « Aerosol Jet » permettent de travailler avec succès sur des enzymes et des cellules vivantes et contribuent à la fabrication d'antennes, de batteries et de composants passifs	2000
Optomec reçoit le Trophée de l'Excellence en matière d'industrie de défense ("Defense Manufacturing Excellence Award")	2002
Contrat LENS d'un montant de 5M\$ (collaboration avec Boeing, Rolls-Royce, Siemens et l'armée US (Air Force, Army et Navy))	2003
Mise sur le marché de la 3 ^e génération d'imprimantes 3D de type LENS et du 1 ^{er} système « Aerosol Jet » destiné au traitement de composants électroniques	2004
Optomec reçoit le Trophée "IDTechEx Printed Electronics" à titre de récompense de ses réalisations en matière de développement industriel Utilisation réussie de la technologie « Aerosol Jet » dans le cadre de la mise au point de cellules photovoltaïques à hautes performances La mise sur le marché de l'imprimante 3D LENS MR-7 permet d'aborder le traitement de nouveaux matériaux	2007
Les fabricants d'équipement (OEM) et les intégrateurs peuvent désormais implanter la technologie « Aerosol Jet » dans leur propre gamme	2008
Optomec reçoit le Trophée "IDTechEX Academic R&D Award" au titre de ses réalisations en matière de traitement de composants électroniques	2009
Optomec fournit un équipement de fabrication additive à son 100 ^e client	2010
Optomec est distingué par Frost & Sullivan, qui lui décerne le Trophée "2011 Enabling Technology of the Year Award" Optomec et Stratasys collaborent dans le domaine de l'impression 3D, appliquée aux composants électroniques	2011
Optomec fournit un équipement de fabrication additive à son 150 ^e client	2012
Livraison à la Chine du 1 ^{er} équipement permettant la réalisation à grande échelle d'antennes par impression 3D	2013

Source : optomec.com



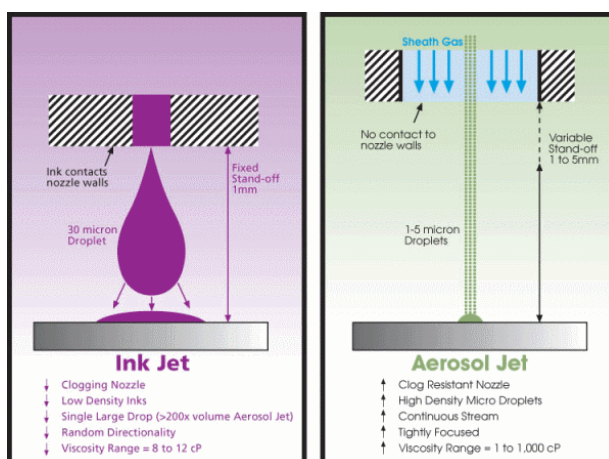
Les imprimantes 3D équipées de la "LENS (Laser Engineered Net Shaping) Technology" ressemblent aux imprimantes à frittage de poudre par laser (SLS), à ceci près qu'elles élaborent les pièces sur un lit de poudre métallique. Cette technologie fonctionne à partir d'un laser très puissant (500W à 4kW), qui permet de solidifier des poudres métalliques dans le but de produire des structures tridimensionnelles. L'imprimante ainsi équipée exploite les données géométriques d'un modèle conçu par ordinateur pour produire la pièce couche par couche. La finition et les contrôles de conformité sont assurés grâce à un programme informatique. Les pièces ainsi fabriquées sont parfaitement fonctionnelles et disposent de propriétés mécaniques presque identiques à celles qui auraient été obtenues par les moyens de fabrication traditionnels. Ces imprimantes servent essentiellement dans les secteurs aéronautique, automobile et médical. (Source : <http://www.optomec.com/3d-printed-metals/lens-technology/>). Si les imprimantes 3D LENS sont plutôt utilisées pour la fabrication et la réparation des composants métalliques, le système « Aerosol Jet » sert essentiellement à la fabrication de composants électroniques à l'échelle industrielle.

²³⁶ <http://www.optomec.com/optomec-reports-over-100-growth-for-q1-2015/> (05.05.15)


COMPARAISON DES TECHNOLOGIES D'IMPRESSION PAR JET D'ENCRE ET PAR AÉROSOL (« AEROSOL JET »),

Cette dernière étant brevetée par Optomec

Source : 3dprintingindustry.com (12.06.15)



DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Optomec négocie un accord de distribution sur les marchés britannique et irlandais, via Semitronics UK, pour ses imprimantes 3D destinées aux composants électroniques	http://3dprintingindustry.com/2015/06/12/optomec-electronics-3d-printers-head-to-uk-ireland/ http://semitronics.co.uk/products/aerosol-jet-equipment/	12.06.15
Membre fondateur d'America Makes (NAMII) en 2012, l'entreprise est devenue « Platinum Member » de cette organisation en novembre 2014, et siège au Conseil d'administration. Dans ce cadre, elle a pu bénéficier en 2014 de trois contrats publics, axés sur la fabrication et la réparation de composants métalliques : <ul style="list-style-type: none"> • Développement d'un « LENS Print Engine » modulable et d'un coût abordable, susceptible d'être intégré aux machines-outils à commande numérique (voir ci-après), • Développement d'une base de données portant sur les paramètres de fonctionnement permettant de fabriquer, par impression 3D, en utilisant le « LENS Print Engine », des pièces dépourvues d'imperfections, • Participation, comme chef de file, au projet « Re-Born in the USA », une initiative d'un budget de 4 M\$, soutenue par l'US Air Force, qui consiste à faire coopérer 23 partenaires dans le but de développer les technologies de l'impression additive permettant la réparation des pièces métalliques utilisées par l'aéronautique. Parmi les partenaires figurent: GE Aviation, Lockheed Martin Missiles & Fire Control, the United Technologies Research Center et Rolls-Royce. Ce noyau est complété par un groupe d'experts représentant EWI, le Connecticut Center for Advanced Technology, TechSolve, le laboratoire de recherche appliquée de la Pennsylvania State University et Concurrent Technologies Corporation. 	http://optics.org/news/5/6/35 http://3dprintingindustry.com/2014/11/17/optomec-upgrades-position-america-makes/	25.06.14 + 17.11.14
Optomec étend son accord de partenariat avec Ceradrop (groupe MGI), afin de développer la Jet Sprint Technology en France	http://techbriefing.net/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=342033	16.04.15
Un 3 ^e trimestre 2014 très favorable pour Optomec grâce à une quantité record de commandes	http://3dprintingindustry.com/2014/11/06/optomec-record-sales-q3/	06.11.14
France: Optomec a conclu un accord avec Multistation SAS, un revendeur breton (Dinard) d'équipement de fabrication industrielle, qui distribuera ses produits et assurera la promotion de la technologie LENS :	http://3dprintingindustry.com/2014/09/22/optomec-teams-multistation-sas-bring-lens-3d-printers-france/	22.09.14
 <p>Fournisseur du secteur de l'impression 3D depuis 1987: http://www.multistation.com/?lang=en (représente aussi SLM Solutions et ARCAM)</p>		

FICHE N° 6 – TRUMPF



- GmbH + Co. KG
- Entreprise fondée en 1923
- PDG : Dr. phil. Nicola Leibinger-Kammüller
- Implantation : Ditzingen (Bade-Wurtemberg)
- + 3 sites de production : (Gerlingen + Hettingen)(BW) + Neukirch (Saxe)
- Effectif: 11.000 collaborateurs (dont 2.512 au siège)
- Le groupe réunit 56 entreprises distinctes (dont une filiale aux Etats-Unis (Connecticut) avec 570 salariés²³⁷ + et une filiale en France (Villepinte)
- <http://www.fr.trumpf.com/fr.html>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES²³⁸



Trumpf s'est spécialisée dans la fabrication de trois types d'équipements :

- les machines-outils destinées à la transformation des tôles,
- les lasers servant à l'usinage de pièces (notamment à travers l'impression 3D),
- les appareils électroniques (en particulier les générateurs à haute ou moyenne fréquence).
- En complément de cette gamme, une division distincte fabrique de l'équipement médical.

Pour mémoire, Trumpf s'est intéressée à l'impression 3D à partir du début des années 2000 (TrumaForm LF 250), mais n'a pas poursuivi ses efforts de manière intensive dans ce domaine, **jusqu'en 2014, date à laquelle elle a opéré un changement stratégique complet, pour redevenir active dans ce domaine**, notamment grâce à son partenariat avec Sisma S.p.A.²³⁹

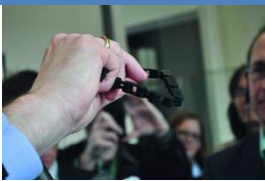
PRINCIPAUX FAITS ET CHIFFRES

	2011/12	2012/13	2013/14
Chiffre d'affaires (M€) (*)	2.328	2.343	2.587
Activité à l'exportation (%)	71,2	74,5	75
Budget R&D (M€)	193,4	211	243,3
Investissements (M€)	152,5	136,1	124,8
Nombre de collaborateurs (au 30 juin)	9.555	9.925	10.914

(*) dont un peu plus de 26% au titre des activités "lasers" et électroniques".

(**) dont 1.500 seraient affectés aux activités R&D.

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
 <p>Un dénominateur commun : l'efficacité dans la production. Deux exemples de produits réalisés grâce à l'impression 3D (dont un, développé en collaboration avec BASF)</p>	http://www.plastverarbeiter.de/51171/individualitaet-ist-trumpf/	30.04.15
<p>La stratégie du groupe TRUMPF en matière de fabrication additive – Interview de Tobias Baur, Directeur du département "Additive Manufacturing" au siège (Ditzingen) et membre de l'association « Additive Manufacturing » de la VDMA²⁴⁰ (75 membres)</p>	http://am.vdma.org/article/-/articleview/4158506	02.04.15
<p>Accord entre Trumpf et l'entreprise italienne SISMA²⁴¹, qui se matérialise par un joint-venture Trumpf-Sisma basée à Piovone Rocchete (Vicence)</p>	http://3dprintingindustry.com/2014/05/12/3d-printing-industrial-trumpf/	12.05.14

²³⁷ Trumpf Inc. : <http://www.additivemanufacturinginsight.com/suppliers/trumpf>

²³⁸ Voir : <http://www.de.trumpf.com/de/uebertrumpf/geschaeftsfelder.html>

²³⁹ Voir Financial Times (06.05.14) : <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/5e67ebd8-d51f-11e3-ade0-00144feabdc0.html#axzz3eiqvkgrj>

²⁴⁰ Verband Deutscher Maschinen-und Anlagenbau (German Engineering Association)

²⁴¹ SISMA S.p.A. est un des leaders italiens de la transformation des métaux (CA : 33 M€), en particulier grâce à des lasers (plus de 1.000 vendus en 2013). Il a décidé de cibler les marchés de la joaillerie, de la mode et de l'appareillage dentaire.

FICHE N° 7 – EOS



- Electro Optical Systems (EOS)
- Forme juridique : GmbH
- Date de création : 1989
- Siège social à Krailling en Allemagne depuis juillet 2014
- Dr. Hans J. Langer (Fondateur et PdG) + Dr. Adrian Keppler (Directeur Ventes & Marketing)
- 28 implantations dans le monde entier²⁴² (2015), notamment en Finlande, France, Italie, Suède et Royaume-Uni, ainsi qu'aux Etats-Unis et à Singapour
- En 2013, la société comptait environ 500 collaborateurs (dont 300 implantés au siège social)
- Un tiers du personnel du siège est affecté à la R&D et à l'ingénierie

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

EOS est le leader de la technologie et du marché pour des solutions d'e-Manufacturing destinées à des applications industrielles (voir infra la gamme des appareils destinés à la transformation des métaux). La société propose des systèmes de frittage laser qui utilisent plastique, le métal et le sable. Ceux-ci assurent la majeure partie des ventes réalisées par l'entreprise. En 2012, la société comptait environ 1.100 systèmes installés dans le monde (et à peu près 1.500 actuellement).



QUELQUES FAITS ET CHIFFRES



- En 2009, l'entreprise EOS a conclu plusieurs partenariats importants, notamment avec Victrex (UK), dans le domaine des matériaux laser avancés, et avec l'Université des Sciences Appliquées de Munich (programme de partenariat avec le centre d'entrepreneuriat de Strascheg près de Munich).
- En 2009, EOS et l'entreprise texane Advanced Laser Materials (ALM), fournisseur de matériaux destinés au prototypage rapide, ont signé un accord de partenariat stratégique. EOS a pris possession de 51% des parts d'ALM. Les deux sociétés poursuivront ensemble le développement des matériaux plastiques destinés à la production par frittage laser, parmi lesquels le FR-106, un retardateur de flamme utilisable en prototypage rapide, aux applications dans le secteur aéronautique. EOS, pour sa part, voit dans cette opération une façon d'étoffer la gamme de matières utilisables avec ses machines.
- En 2011, l'entreprise ALM, partenaire stratégique d'EOS, acquiert une participation majoritaire dans INTEGRA (spécialiste des services sur les systèmes de frittage laser).
- En 2009, EOS et TRUMPF (société allemande de haute technologie spécialisée dans les machines-outils / voir fiche) ont également signé un accord avec les sociétés MTT Technologies au Royaume-Uni et en Allemagne, les faisant bénéficier d'une licence non exclusive sur certains brevets de frittage laser de TRUMPF et EOS. Cet accord remplace un précédent signé avec MCP (devenu MTT), qui a développé des solutions de production dédiées notamment aux secteurs médicaux et dentaires, mais aussi dans l'industrie, faisant intervenir la technologie de frittage de poudre métallique SLM.
- En novembre 2014, EOS a présenté au salon EuroMold ses derniers systèmes de fabrication additive EOS P 396, EOS M 400, EOS M 290. L'EOS M 290 est un système de fabrication additive métallique plus récente qui fonctionne des métaux légers à l'acier inoxydable et des superalliages. Il est alimenté par un laser à fibre

²⁴² Présente également par ses bureaux (Allemagne, France, Italie, Finlande, Suède et Royaume-Uni) ou en tant que distributeur aux Etats-Unis, Asie (Chine, Taiwan, Japon, Inde), en Europe, en Russie, en Australie et en Israël. En 2013, EOS élargit sa présence mondiale avec l'ouverture d'un nouveau bureau et centre technique à Shanghai.

de 400 watts, et sa zone de construction est capable de fonctionner dans de l'azote de protection ainsi que dans des atmosphères d'argon.

- EOS a inauguré, en juillet 2014, un nouveau Centre de technologie et d'accueil de la clientèle, où se trouve désormais le siège social. Avec une superficie de 17.000 m², ce bâtiment est en mesure d'accueillir 300 employés. Dans le passé, l'entreprise avait presque exclusivement orienté son activité vers le secteur du prototypage rapide, mais, aujourd'hui, la fabrication additive permet de produire en série des applications industrielles. Ce nouveau bâtiment procure à EOS plus d'espace pour se développer, lui permettant ainsi de s'adapter en permanence aux nouvelles conditions du marché et à de nouveaux segments de clientèle.
- En 2011, l'entreprise affichait un chiffre d'affaires d'environ 113 M€. Celui-ci serait passé à 200 M€ pour l'année fiscale 2013/2014.

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
EOS participe à la convention RapidTech (Erfurt), qui réunit 80 fabricants majeurs (originaires de 8 pays européens et des Etats-Unis) d'équipements de fabrication additive	http://3druck.com/pressemeldungen/highlights-fuer-die-morgige-rapid-tech-und-fabcon-3-d-2435003/	09.06.15
 <p>Grâce à du matériel fourni par EOS, MTU Aero Engines (Munich/9.000 collaborateurs) réalise en série des pièces destinées au dispositif de propulsion de l'Airbus A320neo (cf infra) <i>NB : EOS coopère avec GE Aviation depuis l'été 2014.</i></p>	http://3druck.com/pressemeldungen/mtu-produziert-serienbauteile-fuer-airbus-triebwerke-mit-eos-systemen-0434069/	07.05.15
Glynn Flechter, ancien dirigeant de GF Machining Solutions Americas LLC, devient directeur de la filiale EOS OF NORTH AMERICA INC. et prend parallèlement la responsabilité de deux filiales spécialisées : Advanced Laser Materials (ALM) (fourniture de polymères) et Integra (prestations de services en matière de prototypage et de technologie AM).	http://3druck.com/drucker-und-produkte/eos/eos-ernennt-neuen-geschaeftsfuehrer-fuer-nord-amerika-5331785/	24.03.15
EOS annonce sa participation au TCT Trade Show de Francfort (24-27 novembre 2015), en lieu et place d'Euromold (qui se tiendra à Düsseldorf)	http://3dprintingindustry.com/2015/02/24/eos-leaves-euromold-3d-printing-show-in-favor-of-tct/	24.02.15
 <p>EOS et MTU annoncent leur coopération dans le domaine du contrôle qualité</p>	http://3druck.com/pressemeldungen/eos-und-mtu-schliessen-partnerschaft-zur-qualitaetskontrolle-3829155/	21.01.15
EOS fournit le fabricant texan d'hélicoptères BELL (groupe Textron) via la société de prototypage Harvest, dans la perspective d'une rationalisation de la production de certaines pièces	http://www.3ders.org/articles/20141214-eos-3d-printers-create-flight-ready-helicopter-parts-for-bell-helicopters.html	14.12.14
Smit Röntgen (groupe Philips), fabricant de pièces pour l'imagerie médicale, va pouvoir lancer, grâce à une imprimante 3D (M 280) spécialement adaptée à cet usage par EOS, une production de masse de pièces en tungstène	http://3dprintingindustry.com/2014/11/26/smit-rontgen-eos-production-3d-printed-tungsten/	26.11.14
Le groupe suisse BIBUS intègre les imprimantes 3D d'EOS dans son portefeuille d'activités de services, complétant ainsi une gamme déjà composée des appareils fabriqués par l'américain Z Corporation	http://3druck.com/lieferanten-haendler/bibus-5123950/	07.10.14
Joaillerie : coopération entre EOS et l'entreprise britannique Cooksongold, spécialisée dans la transformation de métaux précieux	http://3druck.com/drucker-und-produkte/precious-m-080-von-eos-und-cooksongold-0923715/	17.09.14
Transformation de la céramique : le PDG d'EOS investit dans Lithoz, spin-off de l'Université Technique de Vienne qui a déposé un brevet portant sur la technologie LCM (Lithography-based Ceramic Manufacturing)	http://www.3ders.org/articles/20140902-langer-eos-ceo-invests-in-lithoz-high-performance-ceramic-3d-printing.html	02.09.14

FAITS	SOURCE(S)	DATE
EOS GmbH, qui fête ses 25 ans d'existence, aménage son siège en créant un nouveau pôle (17.000 m2) dédié aux développements technologiques et à l'assistance aux clients	http://3druck.com/hersteller/eos-gmbh-feiert-25-jaehriges-bestehen-und-zieht-im-neuen-technologie-und-kundenzentrum-hauptsitz-krailing-ein-3721014/	21.07.14
	Le nouveau système EOSINT P 396 offre des économies de coûts de production jusqu'à 30 % et a des améliorations supplémentaires qui le rendent parfaitement adapté pour l'utilisation finale dans la fabrication frittage laser des matières plastiques	12.13
3D MicroPrint: création d'un nouveau joint-venture entre EOS et 3D-Micromac AG (Chemnitz)	http://3druck.com/hersteller/3d-microprint-neues-joint-venture-von-eos-und-3d-micromac-2113753/	26.12.13

Sources : <http://www.eosystems.com/profile.html>

<http://www.eos.info/en>

<http://www.rapidreadytech.com/2014/11/eos-to-feature-latest-additive-manufacturing-systems-at-euromold-2014/>

<http://www.industrial-lasers.com/articles/2013/05/concept-laser-eos-and-trumpf-extend-their-patent-license-agree.html>

FICHE N° 8 – EXONE



- Entreprise créée en 2005 (spin-off de Extrude Hone Corporation – Famille Rhoades)
- Siège à Gersthofen en Allemagne + 7 Centres d'assistance à la production (PSC) dans le reste du monde²⁴³
- Principaux dirigeants: Hans Sack (Pdt), Rainer Hoehschmann (DG et Directeur du Développement), Rick Lucas (Chief Technology Officer), David Burns (Directeur Commercial)
- Budget R&D : 8,2 M\$ (2014), 5,1 M\$ (2013), 1,9 M\$ (2012)(Source: ExOne)
- Effectif: 304 salariés (254 à temps plein) dans l'ensemble des sites (fin 2014)
- Entreprise inscrite au NASDAQ
- <http://www.exone.com/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

ExOne a développé une gamme d'appareils adaptés au prototypage et à la production (technique de projection de liant), ainsi qu'à des fonctions de recherche ou éducatives (voir infra).

Ces activités l'ont conduite à se spécialiser dans les systèmes d'impression 3D fonctionnant par utilisation de sable, domaine dans lequel elle a acquis une position de leader à l'échelle internationale (gamme S-Max, commercialisée depuis 2010).

ExOne fournit également toute une gamme de matériaux et de liants, ainsi que des services en matière d'ingénierie, de fabrication et de formation.

S PRINT (IMPRIMANTE DE PRODUCTION)	M FLEX « PÉDAGOGIQUE »	X1 LAB
		

BREF HISTORIQUE

Extrude Hone (ExOne) est devenu en 1996 l'exploitant exclusif du procédé d'impression 3D développé par le Massachusetts Institute of Technology (MIT) pour les pièces métalliques et l'outillage. Depuis cette époque, l'entreprise a bénéficié de plus de 14 M\$ de contrats de recherche négociés avec différentes organisations publiques, telles que le Bureau de Recherches Maritimes (Office of Naval Research), la Fondation nationale pour la Science (National Science Foundation) et l'Institut National de Normalisation et de Technologie (National Institute of Standards and Technology) dans le cadre du développement et de la commercialisation de procédés, de matériaux et d'équipements destinés à des applications industrielles, commerciales et de défense.

La spécialisation développée par ExOne trouve son origine en 1999 quand un groupe d'ingénieurs d'une start-up d'Ausbourg (Generis) développe un prototype d'imprimante 3D permettant de réaliser des moules et des noyaux de sable. Le premier système d'impression de ce type a été vendu à BMW AG en 2001.

²⁴³ Cinq centres de ce type ont été implantés aux Etats-Unis (Pennsylvanie, Michigan, Etat de Washington, Texas et Nevada), ainsi que deux autres, respectivement en Italie et au Japon, en plus des installations existantes en Allemagne. Les centres US viennent de bénéficier de la certification ISO 9001:2008.

QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

Activités :

- A l'été 2014, ExOne a ajouté à son portefeuille de produits, Inconel 625, le premier alliage métallique à forte densité utilisable pour la fabrication additive industrielle, en utilisant sa technologie de liant renommée à base de nickel. Inconel 625 est couramment utilisé pour la réalisation de composants dans les secteurs de l'aéronautique, de la chimie et de l'énergie, notamment pour fabriquer des aubes de turbine à gaz, pour la filtration et la séparation, les échanges de chaleur et certains procédés de moulage.
- Exmal (Materials Application Laboratory), laboratoire d'application de matériaux d'ExOne, travaille au développement de plusieurs métaux - dont le titane - qui a donné d'excellents résultats dans la phase de recherche et les tests préliminaires. L'entreprise attend beaucoup de ces nouveaux matériaux, utilisés dans le cadre de la conception de produits innovants adaptés à l'impression 3D.
- ExOne collabore avec la société britannique 3Dealise, à qui elle a vendu une imprimante à sable S-Max, en vue de produire des moules destinés à la fabrication de pièces métalliques de grande taille.


Données financières :

CA (M\$)	2014	2013	2012
Equipement d'impression 3D	22,8	24,85	15,66
Autres produits, matériaux et services (liés à l'impression 3D)	21,1	14,63	13
Total	43,9	39,48	28,66

NB : Géographiquement, la ventilation du CA 2014 est la suivante : Etats-Unis (48%), Allemagne (41,3%), Japon (10,5 %). Source : Rapport financier 2014.

- ExOne aurait commercialisé 29 équipements en 2013 (13 en 2012 et 5 en 2011).
- L'année 2013 ayant connu une forte progression, la société a investi dans plusieurs projets de commercialisation et de développement technologique, tout en élargissant sa capacité de production. Pour autant, certains signes de fragilité financière ont alerté les analystes²⁴⁴.

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
ExOne renouvelle les techniques de fabrication d'outillage nécessitant l'emploi de matériaux solubles dans l'eau, en les complétant par un traitement de surface anti-porosité (« Water Wash-out Tooling »)	http://3dprint.com/78127/exone-water-wash-out-tooling/	01.07.15
 <p>ExOne développe la S-Max pour permettre la réalisation de moules de grande taille servant ensuite à l'élaboration de pièces métalliques. Chacun de ces équipements se vend à un prix moyen de 1,4 M\$.</p>	http://3dprinting.com/3dprinters/s-max-industrial-sand-casting-3d-printer-by-exone/	01.04.15
ExOne nomme John A. Baliotti (ancien de Sikorski Aircraft) Directeur du Marketing et du développement commercial	http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/exone-appoints-john-a.-baliotti-as-director-of-marketing-and-business/	01.04.15

²⁴⁴ ExOne fait face à des difficultés en matière de reporting financier – L'opinion de Zachs Equity Research (27.03.15): <http://finance.yahoo.com/news/3d-printing-firm-exone-faces-173005762.html>

FAITS	SOURCE(S)	DATE
	<p>ExOne annonce le lancement d'Exerial, sa plus grande chaîne de fabrication additive, destinée à la production en série de pièces industrielles :</p> <p>http://www.3ders.org/articles/20150305-exone-announces-largest-3d-printing-system-exerial-for-industrial-series-production.html</p>	05.03.15
<p>ExOne annonce la mise sur le marché de six nouveaux matériaux (à base d'acier, d'aluminium, de cobalt, de chrome et de tungstène) destinés à l'impression 3D</p>	<p>http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/exone-announces-six-new-materials-for-industrial-3d-printing/</p>	19.02.15
 <p>Modelage architectural du béton: ExOne fournit au britannique 3Dealise et au néerlandais Bruil une nouvelle technologie (S-Max) permettant de réaliser des moules adaptés.</p>	<p>http://www.3ders.org/articles/20150217-3dealise-exone-and-bruil-introduce-freeform-3d-printed-architectural-concrete.html</p>	17.02.15
<p>Les cinq établissements d'ExOne aux Etats-Unis bénéficient de la certification ISO 9001:2008</p>	<p>http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/all-exone-north-american-service-centres-now-iso-certified/</p>	10.02.15
 <p>La plus grande imprimante à sable existant sur le marché, produite par ExOne, permet à 3Dealise de redonner vie à un véhicule de collection de 1912, dont le cylindre était endommagé. C'est la plus grosse pièce réalisée à ce stade par cette entreprise, en utilisant cette technologie.</p>	<p>http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/3dealise-produces-first-prototypes-on-world%27s-largest-3d-printer/ http://www.3ders.org/articles/20141112-world-largest-3d-sand-printer-gives-1912-brush-car-a-new-lease-of-life.html</p>	12 et 18.11.14
<p>Développement du réseau commercial d'ExOne en Europe : Kuttner (France), Hasmak (Turquie) et BL Metal (Balkans) sont les nouveaux distributeurs de l'équipement fabriqué par ExOne.</p>	<p>http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/exone-appoints-sales-representatives-europe/</p>	15.10.14
<p>ExOne introduit sur le marché un alliage particulier (Inconel Alloy 625) particulièrement résistant à la corrosion et à l'oxydation et adapté pour être utilisé avec certains des appareils de sa gamme (M-Flex et X1-Lab).</p>	<p>http://www.3ders.org/articles/20140505-exone-introduces-new-metal-3d-printing-material-inconel-alloy-625.html</p>	05.05.14
<p>ExOne investit près de 10 M\$ pour acquérir MWT (Allemagne) et Machin-A-Mation (US), dans le but d'élargir sa gamme de services "post-impression 3D" – MWT (Gesellschaft für Industrielle Mikrowellentechnik mbH) est un pionnier de l'utilisation des micro-ondes dans le domaine industriel ("MWT"). Machin-A-Mation est un revendeur spécialisé dans le matériel industriel, basé dans le Michigan.</p>	<p>http://www.3ders.org/articles/20140307-exone-makes-two-acquisitions-to-broaden-post-print-processing.html</p>	07.03.14

Sources :

- <http://www.tctmagazine.com/tctblogs/rose-brookes-blog/market-roundup-materialise-enters-the-fold/>
- <http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/exone-announces-completion-of-new-european-headquarters/>
- <http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/exone-unveils-3d-printer-for-education-and-research/>
- <http://www.exone.com/>
- <http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/inconel-alloy-625-exones-newest-metal-3d-printing-material/>
- <http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/3dealise-produces-first-prototypes-on-world%27s-largest-3d-printer/>
- <http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/inconel-alloy-625-exones-newest-metal-3d-printing-material/>

FICHE N° 9 – VOXELJET



- Création : 1999
- Forme juridique : AG (depuis août 2013)
- Siège social à Augsburg (Bavière)
- Ingo Ederer (CEO) ; Rudi Franz, Directeur financier (CFO); Daniel Günther, Directeur R&D
- Effectif : 41 (au 31.03.15) (pour mémoire : 26, en mars 2014)
- Entreprise cotée en Bourse (NYSE) depuis octobre 2013 (VJET)
- <http://www.voxeljet.de/en/company/profile/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

- La société a été créée (comme ExOne, dont le parcours est assez similaire) pour valoriser des procédés issus de la recherche menée par le MIT et développer des procédés de fabrication additive applicables aux plastiques et à l'élaboration de composants industriels de grande taille (d'où, dans ce cas également, l'utilisation du sable à des fins de moulage).
- Les clients de Voxeljet sont des constructeurs automobiles importants (et leurs fournisseurs), les industriels de la fonderie, ainsi que des entreprises innovantes dans le domaine culturel (industrie du film et du divertissement).
- Panorama de la gamme à usage industriel :



BREF HISTORIQUE²⁴⁵

La phase « start-up » (1995-2000)

1995	Premiers tests en matière d'impression 3D réalisés par une équipe de 4 chercheurs de l'Université Technique de Munich
1996	Participation au 1 ^{er} « Munich Business plan contest »
1998	Premier brevet déposé. Réalisation des premiers moules en sable
1999	Fondation de Voxeljet (05 mai), qui implante ensuite son siège à Augsburg (Souabe) (4 collaborateurs)

La dimension industrielle (2001...)

2000	Premiers succès : Voxeljet participe à un projet piloté par le Land de Bavière et arrive en 4 ^e position (sur 1.261 candidats) du challenge national « START UP ». Elle en retire une dotation en cash et la possibilité de bénéficier du soutien d'experts de chez McKinsey pendant un an
2002	Commercialisation des premières imprimantes et premières commandes de BMW AG et Daimler AG pour des imprimantes à sable
2003	Bayem Kapital, Franz Industriebeteiligungen AG et Startkapital Fonds Augsburg investissent conjointement dans l'entreprise pour soutenir sa croissance
2005	Certification ISO 9001:2008 et première commercialisation du système First VX800. L'acquéreur, Alphaform AG, est une société innovante, spécialisée dans la fabrication de petites séries et de produits de niche.
2007	Le premier appareil de type VX500 est vendu à l'Université de Rostock
2008	Voxeljet reçoit un des Prix Bavarois de l'Innovation pour ses imprimantes 3D

²⁴⁵ Source: <http://www.voxeljet.de/en/company/company-history/>

2009	10 ^e anniversaire: consolidation des activités nationales et internationales
2010	Transfert du siège sur le Business Park de Friedberg, qui permet à Voxeljet de bénéficier de locaux plus grands et plus fonctionnels. La même année, l'entreprise est inscrite au « Top 100 » des acteurs économiques les plus innovants du pays
2011	Voxeljet dévoile la VX4000, qui permet d'élaborer des objets de grande taille (4x2x1 m), la VX1000, qui combine hautes performances et plateau de grande dimension, ainsi qu'un nouveau liant (Polypor Type C), qui complète une gamme existante. La même année, l'entreprise fait connaître, lors du GIFA, sa technologie d'impression 3D en continu
2012	Lancement du modèle VXC800 (impression 3D en continu), qui représente une nouvelle génération d'appareils, et du modèle VX200, un appareil très compact, qui permet de réaliser des objets de petite taille. La même année, Voxeljet vend sa 1 ^{re} VX1000 au britannique Propshop (voir infra), ce qui lui permet de prendre pied dans l'industrie cinématographique pour y commercialiser des produits de grande taille. C'est le 5 ^e équipement Voxeljet implanté au Royaume-Uni.
2013	Voxeljet GmbH, devenue Voxeljet AG (août), se fait enregistrer (octobre) à la Bourse de New-York (NYSE). Valeur estimée: 64,5 M\$.
2014	Voxeljet renouvelle (avril) l'opération boursière auprès du NYSE. Valeur estimée : 41,4 M\$.

QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

Activités :

- L'entreprise a commercialisé 14 équipements en 2014 (contre 9 en 2013). L'ensemble du parc en exploitation dépasserait les 50 unités.
- La moitié du revenu de l'entreprise provient de la prestation de services.

Données financières²⁴⁶ :

- Le CA de Voxeljet a notablement progressé au cours des deux derniers exercices clos (2012/2013 et 2013/2014), pour atteindre des montants respectifs de 9,85 M€ et **17,6 M€**.
- Voxeljet table sur une croissance de 50% en 2015 (CA prévisionnel : **23/24 M€**).
- Si les exercices 2010/2011 et 2011/2012 ont été profitables, l'entreprise enregistre, depuis cette époque, des pertes dont le montant s'amplifie chaque année (438.000 € en 2012/2013 ; **4,66 M€** en 2013/2014).
- La société a enregistré, au 1^{er} trimestre 2015, une croissance de son chiffre d'affaires, qui s'est établi à 5,59 M€, soit une hausse de 104,1% par rapport aux résultats du 1^{er} trimestre 2014. La marge brute, cependant, est tombée à 33,6% contre 39,4% l'an dernier.
- Six mois après son introduction à la bourse de New-York, la valeur de l'action (30 \$) était retombée à ce plancher (début mars 2014) et elle a encore baissé depuis, après avoir connu une embellie à la mi-novembre 2014 (69 \$).
- Il est à noter, néanmoins, que les dépenses de R & D ont presque doublé passant de 848.000 € à 1,56 M€ entre le 1^{er} trimestre 2014 à le 1^{er} trimestre 2015²⁴⁷.
-

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Présentation des résultats financiers du 1 ^{er} trimestre 2015	http://3dprint.com/64883/voxeljet-vjet-earnings/	13.05.15
Présentation des résultats financiers du 4 ^e trimestre 2014	http://3dprint.com/54101/voxeljet-4th-quarter-earnings/	27.03.15
Voxeljet s'associe à Altair, Click2Cast et HBM nCode afin d'innover dans le secteur de la réalisation de moules	http://3dprint.com/53634/voxeljet-mold-making-partners/	26.03.15
Voxeljet's table sur le marché US et espère une croissance forte en 2015	http://3dprintingindustry.com/2015/02/17/voxeljets-us-plant-go-driving-revenue-growth-2015/	17.02.15

²⁴⁶ Source : The Rapid Prototyping Industry – http://www.additive3d.com/ind_22.htm

²⁴⁷ <http://3dprint.com/64883/voxeljet-vjet-earnings/>

FAITS	SOURCE(S)	DATE
VoxelJet ex prime une grande confiance dans les perspectives de croissance pour 2015	http://3dprint.com/38573/vjet-voxeljet-2015-guidance/	20.01.15
Voxeljet préconise l'emploi de liants comportant du phénol pour améliorer l'impression 3D réalisée à partir de sable, ainsi que les moules en céramique	http://3dprintingindustry.com/2014/11/26/voxeljet-phenolic-direct-binding-sand-printing-ceramic/	26.11.14
Des résultats financiers décevants au 3 ^e trimestre 2014, avec abaissement des perspectives de CA pour l'année entière	http://3dprintingindustry.com/2014/11/14/voxeljet-exone-q3-2015-3d-printing-results/	14.11.14
 <p>Acquisition de l'entreprise britannique Propshop, spécialisée dans l'industrie cinématographique et de spectacle (et utilisatrice de matériel Voxeljet), qui devient une filiale du groupe, sous la dénomination Voxeljet UK. James Enright, dirigeant fondateur de Propshop, devient VP « Marchés de consommation » de Voxeljet.</p>	http://3dprintingindustry.com/2014/10/02/voxeljet-acquires-3d-printing-prop-makers-propshop/ http://www.3ders.org/articles/20141002-german-3d-printer-maker-voxeljet-ag-acquires-uk-propshop-modelmakers.html	02.10.14
Application des techniques de fabrication additive à la réalisation de pièces en matériaux composites	http://3dprintingindustry.com/2014/08/19/voxeljet-already-using-3d-printing-make-parts-composite-materials/	19.08.14
 <p>Début de la mise en place du bureau de Canton (Michigan), pleinement opérationnel depuis janvier 2015. David Tait, ancien fondateur de Laserform, prend la direction générale de cet établissement, ainsi que la responsabilité du marketing et des ventes sur l'ensemble du territoire nord-américain</p>	http://3dprintingindustry.com/2014/06/12/said-done-voxeljet-hiring-ahead-opening-first-3d-printing-service-us/	12.06.14

Sources :

<http://www.voxeljet.de/en/company/company-history/>

<http://www.tctmagazine.com/tctblogs/rose-brookes-blog/market-roundup-materialise-enters-the-fold/>

FICHE N° 10 – SLM SOLUTIONS



- Allemagne (Lübeck)
- SLM Solutions Group AG, nouvelle dénomination (depuis 2011) de MTT Technologies GmbH²⁴⁸
- Dr. Markus Rechlin (PDG); Uwe Bögershausen (Directeur financier); Hans J. Ihde (Directeur exécutif); Dr. Dieter Schwarze (Responsable scientifique); Henner Schöneborn (Directeur des Ventes)
- Structure du capital : actionnaires familiaux (28%), fonds d'investissement allemands (28%), Massachusetts Mutual Life Insurance Company (4,2%), divers : 40,20% - Introduite en bourse à Francfort.
- Effectif : 80 (Lübeck)
- Implantations : SLM Solutions NA, Inc. (Novi/Michigan)(Mark Hoefing, VP exécutif)
- Chiffre d'affaires (M€) :

2011	2012	2013	2014 (9 mois)
11,9	17,5	21,6	18,8

- www.slm-solutions.com

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

- SLM Solutions GmbH est principalement un fabricant d'équipement de fusion sélective par laser destiné au traitement des métaux (« SLM® Technology ») et de transformation sous vide des polyuréthanes.
- L'entreprise commercialise également des alliages de métal incorporant du bismuth, ainsi que différents consommables, tels que les poudres métalliques servant à la fusion sélective.
- Pionnier du prototypage, SLM Solutions se concentre aujourd'hui sur le développement, la fabrication et la vente de systèmes innovants de fabrication additive.
- Ses clients appartiennent aux secteurs de l'énergie, de l'aéronautique, du médical, de l'électronique grand public et de l'éducation.
- En 2014, SLM a reçu des commandes pour 62 machines, soit une hausse de 138% par rapport à 2013, année pendant laquelle l'entreprise n'avait commercialisé que 26 machines.
- Elle a développé une relation commerciale avec des leaders industriels de taille mondiale, tels que GE, Siemens, BMW, Alstom et la NASA.

PRINCIPAUX ÉQUIPEMENTS COMMERCIALISÉS



²⁴⁸ MTT Technologies résulte d'un processus particulièrement long et complexe : l'origine de l'entreprise remonte à la société des mines de bismuth d'Aramayo (Bolivie), créée au XIX^e siècle (1863-1865). Cotée en bourse à Londres en 1906, cette entreprise devient Mining & Chemical Products Ltd. (MCP) en 1929. Le gouvernement bolivien ayant décidé de faire valoir ses droits sur les mines, en 1952, la société évolue en prenant le contrôle de HEK GmbH (Lübeck) en 1957, puis en s'intéressant au prototypage à partir de 1970.

RAPPEL HISTORIQUE

1957	HEK GmbH (base à Lübeck) rejoint le groupe MCP
1969	Fondation de Metalspecialities Inc., USA.
1970	Introduction de l'outillage de prototypage
1974	Ouverture de la filiale française
1986	Ouverture d'une nouvelle usine à Wellingborough (Northamptonshire) et fondation d'une société spécialisée dans le secteur médical : "HEK Medizintechnik"
1987	MCP introduit la technique de la coulée sous vide sur le marché européen
1990/92	Ouverture des filiales à Milan, aux Etats-Unis et à Madrid
1997	Ouverture de MCP Technology à Minsk
1998	Une nouvelle usine au R. Uni traite les matériaux nécessitant un haut degré de pureté. La même année, ouverture de l'« Euro-Tech-Center for „Rapid Prototyping“ » à Kaarst (Düsseldorf)
2000	Mise sur le marché de la technologie SLM®
2006	MCP est la 1 ^{ère} entreprise qui élabore des pièces en aluminium et en titane à l'aide de matériel SLM®
2007	Fondation de MCP HEK Tooling GmbH dans le but de promouvoir la technologie SLM®
2008	Une partie du groupe MCP devient MTT Technologies Group et se spécialise dans la fabrication additive
2010	MTT Technologies Group, y compris les établissements de Lübeck et de Stone (UK) conviennent de scinder leurs activités commerciales
2011	MTT Technologies GmbH (Lübeck) est rebaptisé SLM Solutions GmbH
2014	Renforcement de la présence de SLM Solutions en Amérique du Nord : participation à deux événements (Additive Disruption Summit - San Francisco et 6th annual Laser Additive Manufacturing Workshop (LAM®) – Houston) (mars 2014) + doublement de la surface de la filiale US (SLM Solutions NA), basée à Novi (Michigan), avec recrutement de personnel supplémentaire et mise en place d'un show-room

Activités prévues: Février 2016: Participation notifiée, en tant que "Gold Sponsor", à la manifestation "STRATEGIES FOR THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION" (Düsseldorf); voir : <http://inside3dprinting.de/berlin2015/sponsors/>

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Aéronefs commerciaux sans pilotes (<i>Commercial Unmanned Aircraft</i>) : coopération avec l'entreprise texane Aero Kinetics dans le domaine des systèmes VTOL (Multi-rotor Vertical Takeoff and Land)	http://additivemanufacturing.com/2015/06/16/aero-kinetics-joins-with-slm-solutions-to-bring-3d-metal-printing-to-commercial-unmanned-aircraft/	16.06.15
Salon du Bourget 2015 (Paris Air Show 2015) : SLM Solutions présente des solutions très élaborées en matière de fabrication additive, notamment le modèle d'imprimante « universelle » SLM 280HL, ainsi que ses contributions à la fabrication d'engins destinés à l'exploration lunaire (Asimov R3C)	http://www.stage.slm-solutions.com/index.php?news-recent_en (1)	10.06.15
Participation à Tire Technology EXPO 2015 (Cologne) : Présentation d'applications de fabrication additive destinées à la fabrication et la finition des pneumatiques.		Février 2015
EuroMold 2014: Forte demande pour la technologie de SLM Solutions en matière de fabrication additive	http://www.stage.slm-solutions.com/index.php?news-recent_en (2)	16.12.14
4th Aviation Forum 2014 (conférence + mini-exposition à Hambourg): SLM Solutions présente ses solutions au Salon de l'Aviation	http://www.stage.slm-solutions.com/index.php?news-recent_en (3)	08.12.14
SLM Solutions développe sa présence en Amérique du Nord: doublement de la surface des locaux de la filiale US + aménagement d'un show-room	http://www.stage.slm-solutions.com/index.php?news-recent_en (4)	05.12.14
EuroMold 2014: SLM Solutions présente sa nouvelle génération d'imprimantes	http://www.stage.slm-solutions.com/index.php?news-recent_en (5)	24.11.15
TCT LIVE (Birmingham): SLM Solutions présente des systèmes de fabrication additive innovants au service de la conception et de la fabrication de produits industriels	http://www.stage.slm-solutions.com/index.php?news-recent_en (6)	29.09.14

FICHE N° 11 – CONCEPT LASER



- Société fondée en 2000 – Forme juridique : GmbH
- Siège social à Lichtenfels (Bavière)
- Fait partie de Hofmann Innovation Group²⁴⁹ (fondé en 1958), spécialisé à l'origine dans la transformation du plastique
- Frank Herzog (PDG), Daniel Hund (Dir. Marketing)
- Effectif : 103
- Représentation commerciale implantée dans 30 pays
- Filiale aux Etats-Unis : Concept Laser, Inc. (Dallas)²⁵⁰
- Chiffre d'affaires (M€) :

2013

38

- www.concept-laser.de

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

- Fabrication de lasers industriels destinés à la réalisation de composants à partir de poudres métalliques, via la technologie LaserCUSING® fonctionnant par agrégation couche par couche.
- Production de poudres adaptées à ce type de fabrication (acier, aluminium, inox, titane, bronze, etc.).
- Secteurs couverts : aéronautique (collaboration avec le DLR²⁵¹), automobile et sports automobiles (coopération avec BMW et Daimler), santé (implants, prothèses, orthodontie / collaboration avec le groupe Dentaurum²⁵²), joaillerie, moulage et outillage.
- Le CA de Concept Laser a connu une forte croissance ces dernières années (+50%/an au moins) : la société a ainsi traité 110 commandes de machines en 2014 contre 84 en 2013²⁵³.
- Le parc de machines installées serait de l'ordre de 300, dont 200 en Europe²⁵⁴.
- 10% des bénéfices sont réinvestis dans la R&D, qui mobilise 40 des 103 salariés, dans un centre dédié de plus de 600 m².
- Concept Laser a été finaliste du German Innovation Award (réalisation de composants en titane pour l'Airbus A350XWB) et a bénéficié, en 2014, du label « Bayern Best 50 », qui salue les meilleures entreprises du Land.
- En 2016, Concept Laser prévoit de développer les techniques de contrôle qualité en temps réel (QMmeltpool 3D)²⁵⁵
- Concept Laser joue un rôle actif dans un réseau spécialisé dans les technologies de fusion : le Beam Melting Network :

²⁴⁹ Ce groupe de 500 salariés (CA 2013 : 100 M€) comporte deux divisions principales : Hofmann Tool Manufacturing (créé en 1958 ; 260 salariés) et Hofmann

Industrial Prototyping (créé en 1990 ; 230 salariés). Le siège de Lichtenfels dispose de bâtiments de 17.000 m². Trois représentations ont été créées hors d'Allemagne : Espagne (1997), puis Turquie et Chine (2007).

²⁵⁰ Cette filiale, inaugurée le 01.08.2014, dispose désormais d'un show-room indépendant et d'un site Internet propre : <http://www.conceptlaserinc.com>

²⁵¹ Le DLR (Cologne) est le Centre fédéral de recherche pour les industries aéronautique et aérospatiale.

Voir : <http://www.dlr.de/dlr/en/desktopdefault.aspx/tabid-10002/>

²⁵² Le groupe familial Dentaurum GmbH & Co. KG (650 salariés, 10 filiales), fondé en 1886 et présent dans 130 pays, dispose d'une expertise de référence internationale dans le secteur dentaire (implantologie, prothèses, orthodontie), pour lequel il fabrique toute une gamme d'alliages spéciaux.

²⁵³ Source (02.03.15) : <http://www.metal-am.com/news/003175.html>

²⁵⁴ Source : <http://3dprintingindustry.com/2014/08/05/executive-interview-frank-herzog/> (05.08.14)

²⁵⁵ <http://www.concept-laser.de/en/news.html?det=79>



Beam Melting Network : association de 7 entreprises et de 3 centres de recherche, créée en juillet 2010 avec le soutien (pendant 3 ans) du Ministère fédéral des Affaires économiques et de l'Energie (BMWI) et pilotée par l'IWU (Institute for Machine Tools and Forming Technology) faisant partie du réseau de la Fraunhofer Gesellschaft (voir ci-contre) :

<http://www.strahlschmelzen.de/index.php/en/>



Ce centre, dont les travaux concernent l'industrie automobile et celle des machines-outils, est spécialisé dans le développement de systèmes de production intelligents, ainsi que de l'optimisation des processus de fabrication de pièces destinées à ces industries, en particulier via la fabrication additive. Implanté sur 4 sites (Chemnitz, Dresde, Augsburg et Zittau), il regroupe 620 collaborateurs hautement qualifiés et bénéficie d'un budget annuel de 37,2 M€) :

<http://www.iwu.fraunhofer.de/english/index.htm>

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Participation à Rapid.Tech (10-11 juin) avec présentation des nouveaux outils en matière de contrôle de la qualité	http://3druck.com/pressemeldungen/concept-laser-neues-fuer-die-qualitaetsueberwachung-der-additiven-fertigung-0934817/	01.06.15
Une imprimante de type X Line 1000R implantée au Marshall Space Center de la NASA (Alabama) en vue de la fabrication de pièces de fusées (NB : il n'y aurait que 12 appareils de ce type en fonctionnement dans le monde, actuellement)	http://3dprintingindustry.com/2015/05/20/inside-nasas-metal-3d-printing-operations-at-the-marshall-space-center-in-alabama/	20.05.15
Concept Laser annonce la mise en place d'un système d'impression additive de type M2CUSING M2 au sein de l'entreprise Faustson Tool d'Arvada (Colorado), qui a déjà produit des pièces pour la NASA (télescope Kepler) et coopère avec Ball Industries dans le cadre de la fabrication de pièces destinées à l'avion de combat US F-35 Lightning II Joint Strike Fighter.	http://www.prototypetoday.com/concept-laser/faustson-tool-announces-addition-of-concept-laser-m2-laser-cusing-machine	Mai 2015
Nouvel équipement "M2 CUSING" : Cette nouvelle machine est équipée d'un dispositif de filtrage innovant, qui permet de quadrupler la surface traitée, qui peut ainsi atteindre 20 m².	http://www.concept-laser.de/en/news.html?det=70	Mai 2015
Renforcement du management implanté aux Etats-Unis: Depuis le 01.02.15, Barry Resetco a pris en charge l'équipe responsable du marché nord-américain, notamment en vue de l'installation et de l'entretien de toute la gamme LaserCUSING sur les territoires américain et canadien.	http://www.concept-laser.de/en/news.html?det=72	Mai 2015
Haut niveau de performance de la X line 2000 R : Le plus grand modèle fabriqué par Concept Laser est destiné à l'aéronautique et à l'automobile, qui ont besoin de pièces de grande taille.	http://www.concept-laser.de/en/news.html?det=77	Avril 2015
	<p>Royaume-Uni : le plus ancien bureau de prototypage rapide du pays, LPE (Laser prototypes Europe), se dote d'une machine de type Mlab LaserCUSING</p> <p>http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/lpe-adds-metal-sintering-to-rapid-prototyping-services/</p>	15.04.15
Concept Laser fête ses 15 ans d'existence, en constatant un bond de 75% de ses ventes au cours de l'exercice 2014	http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/concept-laser-marks-15-year-anniversary-with-75%25-sales-rise/	27.02.15
Australie : La Monash University et son spin-off Amaero Engineering présentent, à l'occasion d'un show à Avalon (Victoria), des modèles expérimentaux de moteurs d'avion, fabriquées avec la X-Line 1000 R de Concept Laser (NB : ces réalisations ont été demandées par la société française Microturbo, en 2013, en vue de l'équipement du Falcon 20).	http://www.computerworld.com/article/2890313/researchers-make-a-3d-printed-jet-engine.html	27.02.15
Applications dentaires : développement de la coopération avec l'espagnol Fresdental Innovación y Manufacturas S.L. (Alicante)	http://additivemanufacturing.com/2015/01/29/conceptlaser-digitization-in-dental-technology/	29.01.15
Concept Laser propose des solutions innovantes en vue de la réparation d'affections de la colonne vertébrale	<p>http://additivemanufacturing.com/2014/12/16/concept-laser-creative-geometry-solutions-for-spinal-column-reconstruction/</p> <p>http://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing/additive-manufacturing-for-spinal-implants-from-concept-laser/</p>	16.12.14

FICHE N° 12 – REALIZER



- Société fondée en 2004
- Forme juridique : GmbH
- Siège social à Borcheln (Paderborn) (Rhénanie du Nord-Westphalie)
- Chiffre d'affaires (M€):

2012	2013	2014 (9 mois)
4,15	4,17	

- www.realizer.com

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

- Fabrication d'imprimantes 3D fonctionnant selon la technologie SLM, ainsi que des accessoires correspondants et de logiciels spécialisés (ex. RDESIGNER) :



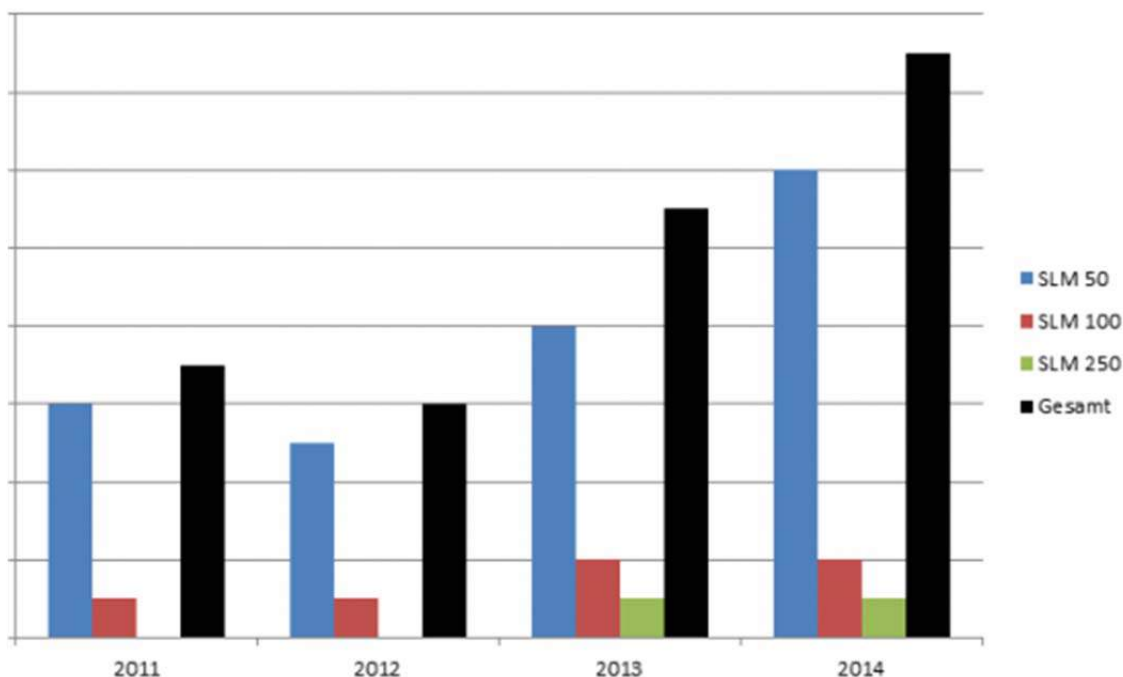
NB : Les deux premiers modèles présentés ont connu un beau succès au 3^e trimestre 2014.

- La dernière née :

	<p>SLM 125</p> <p>Présentée pour la 1^{ère} fois au Salon Euromold de novembre 2014, cette machine peut réaliser des pièces de petite taille (ex. pour le secteur dentaire). Elle dispose d'un dispositif unique de récupération de poudre. Cet appareil est normalement commercialisé depuis mai 2015, au prix unitaire de 250.000 €.</p>	
--	---	--

- ReaLizer a fait savoir qu'elle avait battu des records en termes de CA en 2014 et qu'elle avait déjà presque atteint ce niveau au 2^e trimestre 2015²⁵⁶ (voir ci-après le tableau comparatif des ventes par modèle au cours des trois derniers exercices) :

²⁵⁶ Voir : <http://www.realizer.com/startseite/aktuelles-messen/news/realizer-schafft-umsatzrekord>



NB : « Gesamt » = « Total »

BREF RAPPEL HISTORIQUE

- Initialement, deux chercheurs (Dr. Matthias Fockele et Dr. Dieter Schwarze) ont fondé F&S Stereolithographietechnik GmbH en 1990.
- Les développements de cette entreprise dans le domaine de la fusion sélective par laser, en liaison avec l'ILT (Institut de Technologie des Lasers Dr. Wilhelm Meiners et Dr. Konrad Wissenbach) d'Aix-la-Chapelle, ont conduit ses fondateurs à se spécialiser dans ce domaine.
- Les premiers brevets ont été déposés en 1997 et la première machine a été fabriquée en 1999.
- F&S a été ensuite transformée en ReaLizer en 2004.
- En 2012, ReaLizer fait partie des entreprises citées par le rapport Prognos-IGD Fraunhofer²⁵⁷, qui évalue les perspectives de marché de l'impression 3D pour les applications industrielles.

Réseau de partenaires



NB : Parmi ceux-ci, figure l'UTBM de Belfort-Montbéliard

²⁵⁷ Ce rapport, publié en janvier 2013, est accessible via : https://www.igf.fraunhofer.de/sites/default/files/3D_Maerkte_Prognos_IGD_MC.pdf (voir p. 40).

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
<p>Realizer dévoile son nouvel équipement: l'imprimante 3D SLM 125 (NB : disponible depuis mai 2015, elle est commercialisée à un prix moyen de 250.000 €)</p>	<p>http://3dprint.com/28157/realizer-metal-printer-slm125/ http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/realizer-launches-latest-slm-additive-manufacturing-system/</p>	02.12.14
<p>Euromold 2014 : présentation du nouvel équipement de l'ILT Fraunhofer</p> 	<p>http://www.tctmagazine.com/euromold-news/fraunhofer-institute-for-laser-technology-to-present-slm-concept/</p>	18.11.14
	<p>Royaume-Uni: collaboration avec Croft Additive Manufacturing (CAM) en vue du développement de filtres spéciaux permettant d'importantes économies d'énergie</p> <p>http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/croft-additive-manufacturing/</p>	02.09.14

NB: Realizer est cité parmi "les 4 fabricants allemands qui comptent" dans un article récent de Wirtschaftswoche « Imprime toi-même ton propre monde ! » publié par Thomas Kuhn: « Avec 40% de part de marché, le plus important fournisseur est EOS Electro Optical Systems (Krailing). Trois autres entreprises se partagent un quart du marché : Concept Laser (Lichtenfels), Realizer (Borchen) et SLM Solutions (Lübeck). »

Voir : <http://www.wiwo.de/technologie/forschung/produktion-zwischen-nachbildung-und-faelschung/5965922-6.html/%22>

FICHE N° 13 – GROUPE GORGÉ



- Groupe créé en 1990
- Siège social situé à Paris
- 1.370 collaborateurs
- Groupe présent dans 10 pays
- <http://www.groupe-gorge.com/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

Le Groupe est fournisseur de plusieurs fabricants d'imprimantes 3D internationales.

Le pôle Impression 3D offre donc des solutions complètes et innovantes d'impression 3D à ses clients industriels, y compris ceux du monde dentaire et biomédical.

Le Groupe Gorgé a développé une technologie innovante, la technologie MOVINGLight®. Cette technologie fait l'objet d'un dépôt de brevet.

QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

- En 2013, le Groupe Gorgé s'est lancé dans le domaine de l'impression 3D à la faveur d'une acquisition : la société Phidias développée par le Docteur André-Luc Allanic, renommée Prodways en fin d'année 2013. Prodways développe une gamme complète de machines de productions appelées « ProMakers », basée sur la technologie MOVINGLight®.



- Prodways Group propose également une solution d'accompagnement et de financement, « Prodways Entrepreneurs », dédiée aux industriels souhaitant orienter leur production vers l'impression 3D (joaillerie, aéronautique, biomédical, prototypage...) et aux acteurs de la chaîne de valeur (scanner, matières, logiciels...) avec pour ambition d'encourager et de soutenir la création d'une véritable filière d'excellence du 3D Printing en Europe.
- Le pôle Impression 3D du Groupe Gorgé s'est doté de solutions innovantes en matériaux en rachetant en 2014 la société DeltaMed, une des seules sociétés au monde développant des résines photosensibles pour les applications de fabrication additive. Ce rachat permet aujourd'hui au Groupe de détenir un portefeuille d'une trentaine de résines pour des applications différentes, en plus de ses propres résines.
- Le Groupe Gorgé a récemment confirmé son positionnement sur le marché de l'impression 3D en annonçant l'acquisition d'Initial, le leader français indépendant de la fabrication de pièces par impression 3D, et de Norge Systems, une start-up anglaise spécialisée dans la conception d'imprimantes 3D utilisant le frittage laser de poudres plastiques. Avec ces deux acquisitions, Gorgé entend affirmer rapidement une position de leadership et ambitionne de devenir le troisième acteur au monde à proposer une offre multi-technologies et l'ensemble des services d'impression 3D à ses clients.

- En février 2015, le groupe a annoncé chiffre d'affaires annuel 2014 soit 223,3 M€ (+4,1% par rapport à celui de l'année précédente). L'ensemble des pôles affiche de la croissance sur l'exercice.
- Le chiffre d'affaires du pôle impression 3 D pourrait se rapprocher de 20 M€ en 2015, soit un quadruplement du chiffre d'affaires réalisé en 2014. A moyen terme, le groupe vise sur ce pôle une marge opérationnelle à plus de 20 %.
- Le pôle Impression 3D, affiche au 1er trimestre 2015 un dynamisme exceptionnel tant sur le plan de la croissance du chiffre d'affaires (multiplié par 15) que des prises de commandes, avec un carnet de commandes multiplié par 5 par rapport à la même période (31 mars 2014). Ce pôle est celui qui affiche la croissance la plus forte du groupe.
- Le Groupe Gorgé lève 25 M€ (dont 10 M€ auprès du groupe Fimalac et 15 M€ apportés par le Groupe Gorgé) pour renforcer sa filiale d'impression 3D, Prodways (juin 2015).
- Le groupe Gorgé a ouvert une filiale en mars 2015 aux Etats-Unis.
- Le Groupe est coté sur NYSE Euronext à Paris et sur le marché américain OTC (hors Bourse) sous la forme d'ADR (American Depositary Receipt).
- Le Groupe Gorgé a remporté le Prix de l'ETI (Entreprise de taille intermédiaire) de l'année 2014.

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Groupe Gorgé : Prodways Entrepreneurs ²⁵⁸ investit dans Usine IO ! La plateforme de prototypage Usine IO accueille le fonds French Tech Accélération (Bpifrance) et Prodways Entrepreneurs (Groupe Gorgé) dans son capital. Usine IO est un espace d'innovation technologique situé dans le 13ème arrondissement de Paris qui met à la disposition d'inventeurs, d'entrepreneurs, de PME et de grandes entreprises des ressources machines, un pôle d'expertise technique et de mise en relation afin de concevoir, prototyper et préparer l'industrialisation d'objets.	http://www.boursier.com/actions/actualites/news/groupe-gorge-prodways-entrepreneurs-investit-dans-usine-io-632235.html	10.06.15
Le Groupe Gorgé lève 25 M€ (dont 10 M€ auprès du groupe Fimalac et 15 M€ apportés par le Groupe Gorgé) pour renforcer sa filiale d'impression 3D, Prodways	http://3dprintingmagazine.net/prodways-raises-e-25-million-from-the-fimalac-group-and-groupe-gorge/	03.06.15
Prodways Becomes Major 3D Printing Player with Two Acquisitions	http://3dprintingindustry.com/2015/03/26/prodways-becomes-major-3d-printing-player-with-two-acquisitions/	26.03.15
Bilan de la participation de Prodways à Euromold + Groupe Gorgé : plus de 1 ME de revenus récoltés par Prodways à Euromold	http://www.prodways.com/wp-content/uploads/2014/12/2014-Decembre-Prodways-fait-un-bilan-exceptionnel-de-sa-participation-%C3%A0-Euromold.pdf http://www.boursier.com/actions/actualites/news/groupe-gorge-plus-de-1-me-de-revenus-recoltes-par-prodways-a-euromold-606492.html	04.12.14
Groupe Gorgé : Baumert a le vent en poupe et va vendre des équipements pour la centrale de Tchernobyl et en Chine	http://www.boursier.com/actions/actualites/news/groupe-gorge-baumert-a-le-vent-en-poupe-598851.html	15.10.14

Sources :

<http://www.groupe-gorge.com/>

http://www.groupe-gorge.com/wp-content/uploads/2015/04/CP_RA2014_GroupeGorge_FR.pdf

²⁵⁸ Créé en juin 2014 : <http://www.industrie.com/emballage/tous-secteurs/groupe-gorge-cree-prodways-entrepreneurs.26550>

FICHE N° 14 – GROUPE PHENIX SYSTEMS



- Création : 2000 (François Reymondet et Patrick Teulet)
- Forme juridique : SA (capital : 1 150 023 €)
- Siège à Riom (Puy-de-Dôme)
- Effectif : 80
- Fait partie de 3D Systems depuis 2013
- Principaux dirigeants : Abraham Reichental (PCA), M Ziad Abou Jaoude (DG), Andrew Johnson (co-gérant de 3D Systems France)
- 3 filiales (dont une aux Etats-Unis, créée en 2011)
- <http://www.phenix-systems.com/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

Phenix Systems a pour activité la conception, la fabrication, et la commercialisation des équipements de fabrication rapide par ajout de matière, couche par couche. La réalisation des pièces est directement effectuée à partir de leur représentation en trois dimensions, issue de logiciels de CAO (conception assistée par ordinateur). Chaque section représentative de la pièce est réalisée par frittage laser en phase solide, avec ou sans consolidation instantanée au point de fusion en fonction des matériaux utilisés.

Panorama des équipements actuellement commercialisés (*)

PXL (L=2,40 m ; l=2,20 m ; H=2,40 m)	PXM (**) (L=1,20 m ; l=1,50m ; H=1,95 m)	PXS (**) (L=1,20 m ; l=0,77 m ; H=1,95 m)	PX BOX (***) (L=0,85 m ; l=0,75 m ; H=1,75 m)
			

(*) Machines à laser invisible. (**) Existe aussi en version « Dental », adaptée à la fabrication de prothèses. (***) Sert au reconditionnement des poudres métalliques.

Phenix Systems travaille pour les secteurs et clients suivants : horlogerie (Cartier, Rolex, Swatch), aéronautique (JAE, GE-Aviation, Saturne Technology...), fabrication de pneumatiques (Michelin, Bridgestone, Continental, Simaform...), dentaire et implantologie médicale (Norwood Medical, 3rd dimension), recherche (Ecole des Mines Paris Tech, l'Université de Provence, de Tolède, d'Adelaide - Australie - CEA Grenoble...)

QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

- En 2011, la société a été introduite au New York Stock Exchange (NYSE) et Alternext Paris.
- La création et le lancement aux Etats-Unis de la filiale AMT basée à Chicago (CA : 4,7 M€) ont été réalisés en 2011.
- La majorité (80%) du capital de Phenix Systems a été rachetée par l'américain 3D Systems à l'été 2013 (valorisation : 15 M€).
- Le CA consolidé de l'exercice 2014 s'établit à 26,37 M€²⁵⁹, en croissance de 159% par rapport à 2013, avec des résultats en forte amélioration. Le résultat d'exploitation est largement bénéficiaire à 6,85 M€ (contre une perte de 0,86 M€ en 2013), d'où un bénéfice de 4,94 M€ (contre une perte de 0,35 M€ en 2013).²⁶⁰
- Phenix Systems avait livré environ 170 équipements en 2014.

Sources :

<http://www.lesnumeriques.com/imprimante-3d/phenix-systems-fabricant-impression-3d-francais-devient-americain-n31848.html>

<http://www.phenix-systems.com/Journée technique Via-Méca – 28 octobre 2014>

²⁵⁹ Pour mémoire, le CA 2010 s'établissait à 5,9 M€.

²⁶⁰ Source : Bilan financier 2014 :

http://www.phenix-systems.com/sites/www.phenix-systems.com/files/phe_-_rapport_financier_annuel_2014.pdf

FICHE N° 15 – BEAM



- Créée en 2012
- BeAM emploie 8 personnes (15 recrutements prévus à fin 2015)
- Siège à 67400 Illkirch-Graffenstaden
- Emmanuel Laubriat (CEO)
- <http://www.beam-machines.fr/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

BeAm est une des sociétés dérivées d'Irepa Laser, le centre de ressources technologique en Alsace (Critt), expert en traitement, assemblage et usinage des matériaux par laser. La société utilise depuis plus de 15 ans l'un des développements d'Irepa Laser, le procédé Clad (Construction laser additive directe). Le principe consiste à injecter des poudres métalliques par une buse et les fondre par laser pour créer ou réparer des pièces, voire ajouter des fonctionnalités à des pièces existantes. Ce procédé permet de réduire de manière importante les coûts et les temps de réparation.

Grâce à ses 4 modèles d'imprimantes 3D métalliques qu'elle loue à Irepa Laser, BeAm avait, en mars 2015, participé à la réparation de plus de 700 turbines d'avion dites d'importance critiques (elles tournent à 30.000 tours/minute), de marque Pratt&Whitney pour la société américaine Chromalloy, spécialisée dans l'optimisation et la prolongation de la durée de vie des moteurs à combustion. Avec le procédé Clad, BeAM travaille avec les secteurs de l'industrie aéronautique et spatiale, mais aussi dans le secteur de la défense, du nucléaire ou celui de l'appareillage médical. La société s'appuie sur le savoir-faire du centre de transfert de technologie Irepa Laser, avec lequel elle a développé plusieurs projets de recherche de niveau européen (Amaze, Mica Clip, Falafel)²⁶¹.

En plus de la vente pour les industriels des modèles d'imprimantes, la société se charge aussi de les accompagner, de l'étude de faisabilité à la formation sur la machine pour réduire leurs risques industriels.



QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

- En avril 2014, environ 1.500 clients avaient déjà été démarchés.
- Parallèlement, BeAm adhère au GIFAS, le groupe des industries aéronautiques et spatiales.
- En avril 2014, la société envisageait de devenir le n°1 de la conception et de la fabrication de machines destinées à la fabrication additive par laser avec 5 à 7 M€ de chiffre d'affaires d'ici à quatre ans, soit la vente de huit à dix machines par an. (Le CA 2014 s'est établi à 0,3 M€.)

²⁶¹ Voir : <http://www.beam-machines.fr/uk/innovation/3d-printing-innovation.html>

- BeAM a procédé à une levée de fonds d'1 M€²⁶² pour structurer sa démarche commerciale à l'international, d'acquérir ou de louer de nouveaux locaux et de disposer de ses propres machines. Avec cette levée de fonds, BeAM a choisi de se faire financer par un groupe de personnalités représentatives des milieux industriels français²⁶³, qui font également partie du Conseil d'administration de la société.
- Début 2015, BeAM annonçait une seconde levée de fonds.
- BeAM annonce, en mars 2015, un partenariat majeur avec Fives (et en particulier Fives Machining), groupe d'ingénierie industrielle français, qui conçoit et réalise des machines, des équipements de procédés et des lignes de production pour de grands industriels mondiaux.

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
	Participation au Salon du Bourget (SIAE) 2015: Safran confirme son intérêt pour l'impression 3D appliquée aux métaux et commande un des appareils fabriqués par BeAM.	15.06.15
	Adhésion de BeAM au GIFAS	04.04.14
	Participation à l'exposition "Laser and New Manufacturing Techniques" (Lyon)	27-28.11.13

Sources :

<http://www.beam-machines.fr/l-entreprise.html>

http://www.beam-machines.fr/images/presse/LES%20ECHOS_7%20et%208%20mai%202014_2.pdf

http://www.beam-machines.fr/images/presse/UsineN_18%20avril_2014_2.pdf

http://www.beam-machines.fr/images/presse/art_lalsace_30.04.14.pdf

http://www.beam-machines.fr/images/presse/article_mach-pro_17.05.14.pdf

<http://www.tracesecritesnews.fr/actualite/l-alsacien-beam-vise-le-leadership-mondial-de-l-impression-3d-49164>

<http://www.cao.fr/actu/6068/BeAM-start-up-innovante-dans-l-impression-3D-metallique-annonce-un-partenariat-avec-Fives.html>

²⁶² Voir : <http://www.maddyness.com/finance/levee-de-fonds/2014/12/02/beam-machines/> (02.12.14)

²⁶³ Ces 5 personnalités sont : Emeric d'Arcimoles (Commissaire Général du Salon International de l'Aéronautique et de l'Espace – Paris Le Bourget), Frédéric Sanchez (Prix EY de l'Entrepreneur de l'année 2014 pour l'Île-de-France et président du directoire du groupe Fives), Hervé Guillou (Président-directeur général de DCNS, groupe industriel français spécialisé dans l'industrie navale militaire, l'énergie nucléaire et les infrastructures marines), Maurice Berenger (CEO de Protip Medical, membre du board de Defymed et membre d'Endotools Therapeutics) et Philippe Berenger (Ambassadeur des industries Française sur la zone ASEA en 2014, président du cercle de l'industrie et membre du CA d'EDF).

FICHE N° 16 – 3 A



- Créée en 2011
- Siège à Nogent (Haute-Marne), au sein du Pôle Technologique de Haute-Champagne
- Philippe Vannerot (fondateur)
- Effectif : 8
- Entreprise certifiée ISO 9001 et ISO 13485, certification ISO 9100 en cours
- www.applicationsadditivesavancees.fr/

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

3A est pionnière en matière de production de pièces en alliages de titane en fabrication additive avec le procédé de fusion sur lit de poudre par faisceau d'électrons. 3A s'appuie sur ses compétences dans la fabrication additive de pièces métalliques pour accompagner ses clients dans la conception et l'optimisation de leurs produits.

L'entreprise a comme clients des entreprises des secteurs de l'aéronautique et du spatial (Snecma, filiale du groupe Safran, et Dassault Aviation, société pour laquelle elle est qualifiée en rang 1 pour la production en série de pièces avion), de l'énergie, du médical, et d'autres industries mécaniques.


3A participe aux activités de l'Association Française de Fabrication Additive et travaille notamment avec l'UTT (Université Technologique de Troyes), l'INP-Grenoble et l'INSA Strasbourg de manière privilégiée sur différents sujets de développement (matériaux, conception, dispositifs médicaux). La société est également partie prenante dans différents pôles de compétitivité, tels qu'AsTech, ViaMeca, EMC2 et Materialia.

QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

- Depuis sa création, 3A connaît une croissance annuelle à deux chiffres de son chiffre d'affaires (685.000 € au 31 janvier 2014, plus d'1 M€ prévu au 31 janvier 2015).
- Elle réalise plus de 70 % de son chiffre d'affaires dans le secteur aéronautique et spatial.
- En juin 2015, 3A devient le 1^{er} sous-traitant de sa catégorie à produire en série pour Dassault Aviation des pièces cellules pour avion avec un procédé d'impression 3D métallique (partenariat officialisé lors du SIAE du Bourget 2015).

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
3A partenaire de Dassault Aviation pour l'exploitation en série de l'impression 3D métallique	http://www.applicationsadditivesavancees.fr/images/cp1_v4_3a%20bourget.pdf	11.06.15
Philippe Vannerot révolutionne la production	http://www.industrie-techno.com/philippe-vannerot-revolutionne-la-production.36400?utm_content=buffer177e9&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer	18.02.15
Les 50 qui font l'innovation en France	http://www.industrie-techno.com/les-50-qui-font-l-innovation-en-france.36115	18.02.15

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Depuis la Haute-Marne, la fabrication additive de 3A investit le secteur aéronautique (« une production de petite série mais qui devrait atteindre 1.300 pièces par an à l'horizon 2016. »)	http://businessandsuccess-champagne-ardenne.fr/depuis-la-haute-marne-la-fabrication-additive-de-3a-investit-laeronautique/	01.12.14
 <p>Le Prix a récompensé un prototype de tubulure d'échappement réalisée en TA6V sur une machine type A1 et d'une dimension de 200 x 200 x 180mm.</p>	3A récompensée – en Suède - par le trophée de la meilleure pièce fonctionnelle EBM http://www.applicationsadditivesavancees.fr/images/cp_3a%20trophes%20meilleure%20piece%20fonctionnelle%20.pdf	26.09.14
Retour sur les Assises Européennes de la Fabrication Additive	http://www.media-paris-saclay.fr/retour-sur-les-assises-europeennes-de-la-fabrication-additive/	30.06.14
Nogent - Pôle technologique - Vitrine et tremplin pour les savoir-faire haut-marnais (dossier CCI Champagne-Ardenne)	http://www.champagne-ardenne.cci.fr/static/pdf/developpement-entreprise/se-developper/Pole-Technologique-Sud-Champagne.pdf	1° trim. 2014
Le Bourget : une Rafale de bonnes nouvelles	http://www.jhm.fr/articles-economie/7553-le-bourget-une-rafale-de-bonnes-nouvelles	25.06.13
Audit de 3A par le BSI, organisme notifié de certification britannique : obtention prochaine du certificat pour les référentiels ISO 9001 : 2008 et ISO 13 485 : 2004	http://www.jhm.fr/articles-economie/4002-certification-3a-progresse-vite	17.01.13
3A dope la fabrication métallique	http://www.industrie-techno.com/3a-dope-la-fabrication-metallique.13401	25.06.12
Présentation-Inauguration Machine EBM Prototypage Rapide (INP Grenoble / Chaire Innovation)	http://entreprise-innovation.grenoble-inp.fr/chaire-innovation-f2i/presentation-inauguration-machine-ebm-prototypage-rapide-08-04-2013-529314.kjsp	08.04.13
3A, pionnier de la fabrication rapide	http://www.usinenouvelle.com/article/3a-pionnier-de-la-fabrication-rapide.N171182	28.03.12

Sources :

<http://www.applicationsadditivesavancees.fr/index.php/fr/>

Le scanning laser 3D facilite la production d'outillages pour les composants médicaux : <https://www.nikonmetrology.com/content/.../3/.../Case+3A+FR.pdf>

FICHE N° 17 – SCULPTEO



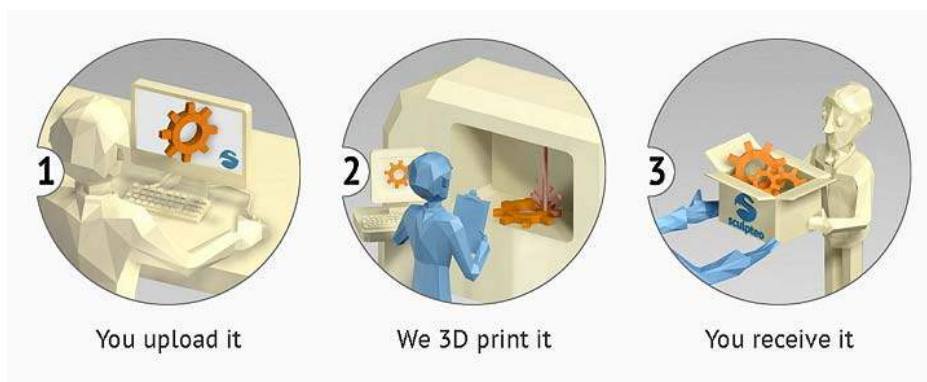
- Fondée en 2009
- Siège à Villejuif (Val de Marne)
- Clément Moreau cofondateur et CEO ; Eric Carreel, cofondateur ; Arthur Cassaignau
- Emploi 50 salariés entre Paris et San Francisco (bureau)
- www.sculpteo.com/

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

Sculpteo est le service d'impression 3D en ligne le plus connu en France. Cette technologie rentre dans les processus classiques de fabrication utilisés par les industriels. Les particuliers peuvent également accéder à cette technologie via le moteur d'impression « Sculpteo 3D Printing Cloud Engine » (innovation primée au salon CES - Consumer Electronics Show - de Las Vegas en 2012), qui offre tous les outils de conception de fichiers 3D.



Sculpteo propose jusqu'à 48 matériaux différents, du plastique (ABS, PLA) à l'argent massif, en passant par la résine, la cire, ou encore la céramique. Parmi les produits phares de Sculpteo, il y a ses fameuses coques pour i-phones (ci-contre). L'entreprise dispose de quatre machines dont trois imprimantes de l'allemand EOS, qui utilisent le frittage laser, et elle a récemment complété son parc avec des imprimantes de type Projet 660, fabriquées par 3D Systems.



L'offre de services de Sculpteo en trois phases:
1 - Vous recevez notre application, que vous renseignez en fonction de la tâche à accomplir (spécifications), avant de nous la renvoyer.
2 - Nous réalisons le produit dans un délai déterminé (par exemple, 3 jours ouvrables, dans le cas de petits objets en plastique blanc).
3 - Vous réceptionnez votre produit fini, livré dans la quantité et selon les spécifications souhaitées.

QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

- Eric Carreel, le cofondateur et président de la société, est aussi à l'origine de l'entreprise d'objets connectés Withings (balance, tensiomètre,...). Il a indiqué, en mai 2014, se repositionner en direction des professionnels (entreprises, bijoutiers, architectes,...) après avoir ciblé les particuliers, et ouvrir une nouvelle usine, à Villejuif (Val-de-Marne), pour augmenter ses capacités de production d'objets imprimés en 3D.
- Sculpteo souhaite ouvrir une usine aux États-Unis, en plus de son bureau à San Francisco. En effet, l'entreprise commercialise sur ce marché 25 % des pièces qu'elle produit.
- Sculpteo a multiplié les partenariats, avec de grandes enseignes qui commercialisent des objets réalisés en impression 3D : Amazon, eBay, Auchan, Intermarché, La Poste et Orange.

- Pour pouvoir se recentrer sur le marché des entreprises, Sculpteo a recherché de nouvelles capacités financières. Dans ce cadre, la société a annoncé, en avril 2015, une levée de fonds de 5 M€ auprès de XAnge Private Equity²⁶⁴ (1) et de Creadev, la société d'investissement de la famille Mulliez (Auchan). Les fonds doivent permettre à Sculpteo de renforcer son dispositif industriel, d'accélérer sa croissance et le déploiement de son offre au niveau mondial, qui a pour ambition de devenir une «usine en ligne». XAnge Private Equity avait déjà investi 1 M€ dans l'entreprise fin 2012. Les trois cofondateurs conservent 50 % du capital.
- Sculpteo souhaite doubler ses effectifs en 2016.
La société a annoncé, en avril 2015, une levée de fonds de 5 millions d'euros auprès de XAnge Private Equity (1) et de Creadev, la société d'investissement de la famille Mulliez (Auchan). Les fonds doivent permettre à Sculpteo de renforcer son dispositif industriel, d'accélérer sa croissance et le déploiement de son offre au niveau mondial, qui a pour ambition de devenir une «usine en ligne». XAnge Private Equity avait déjà investi 1 million dans l'entreprise fin 2012. Les trois cofondateurs conservent 50% du capital.
- Sculpteo souhaite doubler ses effectifs en 2016.


(1) XAnge Private Equity (filiale de la Banque postale) prend des participations minoritaires mais significatives dans des sociétés non cotées en France et en Europe.

DÉVELOPPEMENTS RÉCENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)


FAITS	SOURCE(S)	DATE
"Buy a 3D Printer or Use a Service Bureau? – Sculpteo Runs the Numbers" (Sculpteo fait les/ses calculs) – Réactualisation de l'étude permettant d'établir les coûts occasionnés par l'impression 3D, pour tous les types d'applications (professionnelles et personnelles)	http://3dprintingmagazine.net/buy-a-3d-printer-or-use-a-service-bureau-sculpteo-runs-the-numbers/	26.06.15
Sculpteo publie son nouveau rapport consacré à la situation de l'impression 3D ("State of 3D Printing")	http://3dprint.com/64558/sculpteo-state-of-3d-printing/	13.05.15
Une grande nouvelle pour les développeurs: Sculpteo lance l'API (Application Program Interface) ²⁶⁵	http://3dprint.com/63648/sculpteo-launches-api/	07.05.15
Interview de Clément Moreau: Quel avenir pour l'impression 3D ? Quelles perspectives pour l'entreprise ?	http://3dprint.com/59654/clement-moreau-interview/	27.04.15
Impression 3D : Sculpteo lève 5 M€ http://www.latribune.fr/technos-medias/innovation-et-start-up/impression-3d-sculpteo-leve-5-millions-d-euros-465698.html	http://www.lefigaro.fr/secteur/high-tech/2015/04/02/32001-20150402ARTFIG00043-impression-3d-sculpteo-leve-5-millions-d-euros.php	02.04.15
Le fabricant nantais d'appareils de télésurveillance Kiwatch demande à Sculpteo de créer des coques personnalisées	http://3dprint.com/50200/kiwatch-sculpteo-camera-case/	11.03.15
Sculpteo "booste" sa politique commerciale en offrant de substantiels rabais aux clients les moins pressés (option: "Economy Plan"/Voir : http://www.sculpteo.com/en/services/)	http://3dprint.com/49019/sculpteo-economy-plan/	05.03.15
La place de marché Threading (d'origine bulgare) passe un accord avec Sculpteo pour développer l'offre de matériels et de services 3D	http://3dprint.com/48020/threading-sculpteo-sign-pact/	02.03.15
ŠKODA France imprime sa Fabia ! - Avec Shiva.com et Sculpteo, ŠKODA France offre la possibilité exclusive d'imprimer en 3D la voiture de ses rêves, en version miniature et personnalisée	http://www.sculpteo.com/media/press/2015/02/17/CP_PRINT_SCULPTEO.pdf	17.02.15
Sculpteo : De nouvelles imprimantes 3D à haute résolution mises à la disposition de tous	http://3dprint.com/43889/sculpteo-high-resolution/	11.02.15

²⁶⁴ XAnge Private Equity (filiale de la Banque postale) prend des participations minoritaires mais significatives dans des sociétés non cotées en France et en Europe.

²⁶⁵ Une description électronique de la manière dont les applications nécessaires au processus de fabrication vont fonctionner et interagir les unes par rapport aux autres.

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Le simulateur FinalProof est présenté au Consumer Electronic Show (CES) 2015 (FinalProof permet de détecter d'éventuels défauts que le processus d'impression 3D pourrait occasionner)	http://www.sculpteo.com/blog/2015/01/06/introducing-finalproof/	06.01.15
 <p data-bbox="411 342 683 465">Horlogerie de luxe: le designer toulousain A.L.B. (Atelier Le Brézéquet) charge Sculpteo d'imprimer en 3D des montres d'exception</p>	http://3dprint.com/11057/alb-3d-printed-watches/	04.08.14
Impression 3D : Sculpteo fait le deuil de la révolution grand public	http://www.latribune.fr/technos-medias/20140521trib000831157/limpression-3d-sculpteo-fait-le-deuil-de-la-revolution-grand-public.html	22.05.14

Un exemple d'application dans le monde des loisirs : <http://www.sculpteo.com/en/s/cynosurex/>

	<p>L'airsoft est un jeu utilisant des répliques d'armes à feu propulsant des billes en plastique de 6 ou 8 mm et d'une masse variant entre 0,10 gramme et 0,43 gramme. La puissance peut varier entre 0,1 et 2 joules selon la réplique et la température ambiante (pour réplique à gaz ou à CO²). Pour la propulsion les répliques peuvent utiliser de l'air comprimé, un gaz ou CO² pressurisé, des batteries, ou, pour les répliques dites "spring", un simple ressort (rechargement et armement manuel). Il n'est pas obligatoire d'obtenir un port d'arme pour se procurer une réplique d'airsoft sauf si celle-ci développe une puissance supérieure à 2 joules. Ces répliques d'arme étaient à l'origine conçues pour la collection ou le tir sur cible. Des passionnés ont alors eu l'idée d'en utiliser dans une activité sportive en équipe dont l'un des principaux enjeux est l'élimination de l'équipe adverse, comme au paintball, mais en moins violent).</p> <p>Ci-contre un « scifi gun prop » (pistolet de science-fiction), dont les pièces peuvent être fabriquées en impression 3D.</p>
---	--

Sources:

<http://www.sculpteo.com/fr/>

<http://www.priximprimante3d.com/assistance/>

FICHE N° 18 – POLYSHAPE



- Fondée en 2007
- Siège à Saint-Pierre du Perray (Essonne) + centre de développement à Salon-de-Provence (13) + unité commerciale à Marmande (47)
- Appartient au groupe Upperside SA (Bruno Thévenet / Philippe Véran)²⁶⁶
- Stéphane Abed (fondateur et CEO) ; Frédéric Impellizzeri, Responsable du développement industriel ; Elizabeth Rey, Directrice commerciale
- Effectif : 30 collaborateurs (fin 2014)
- Certifications : ISO 9001:2008 ; EN ISO 9100 ; EN ISO 13485 :2003 ; EN AS 9100:2010
- <http://www.poly-shape.com/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

Poly-Shape est spécialiste de la fabrication additive par fusion laser sélective, un procédé innovant qui bouscule la fabrication dite « classique ». Le procédé consiste à reconstituer la matière en soudant grâce à un laser des particules métalliques par couches successives. A partir d'une image 3 D, Poly-Shape réalise une pièce unique sans outil spécifique, dans des temps plus courts et avec des propriétés mécaniques supérieures à des pièces réalisées par fonderie. Ce procédé permet la fabrication de formes impossibles en usinage, moulage, forge ou fonderie, et sans programmation d'un parcours machine. Il est ainsi possible, par exemple, d'intégrer des canaux de refroidissement à une empreinte d'injection plastique, ce qui accélère le refroidissement du plastique. Le principe est le même qu'en stéréolithographie, mais Poly-Shape l'applique à des matériaux inexploités jusqu'alors : aluminium; titane; cuivre...

Selon Stéphane Abed, président de Poly-Shape, l'entreprise dispose « du « parc machines le plus large et le plus grand d'Europe avec des machines parfois uniques au monde²⁶⁷ », de façon à pouvoir exploiter 5 procédés différents de fabrication additive. Pour compléter la chaîne de production, Poly-Shape dispose d'un laboratoire d'analyse qui étudie la résistance des matériaux utilisés, le bon fonctionnement des procédés et la conformité des pièces avant de les fournir à ses entreprises clientes. En 2015, l'entreprise devrait créer un bureau d'études pour réaliser des fichiers numériques adaptés sur demande des clients ; ceci devrait raccourcir le délai entre la demande et la fabrication.

Poly-Shape a comme clients des entreprises appartenant des secteurs très variés comme l'aéronautique, le spatial, l'automobile, le médical, l'énergie. L'entreprise a collaboré avec des groupes tels que Daher, Dassault Aviation (le drone de combat Neuron a fait appel à la fabrication additive de Polyshape²⁶⁸), Thalès, Airbus Helicopter, des écuries de Formule 1, Biotech international.

QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

- L'entreprise a ouvert, en novembre 2014, son second site de production (22 machines installées sur 1000 m²) dans la ZI de Gandonne près de Salon-de-Provence. Cette implantation permet à Poly-Shape de se rapprocher géographiquement de ses principaux clients dans le secteur de l'aéronautique (base aérienne 701) et de son partenaire historique et actionnaire majoritaire (50,1%) Biotech international (groupe Upperside).

²⁶⁶ La société, qui appartient à ses deux dirigeants fondateurs, Bruno THEVENET et Philippe VERAN, fait partie du groupe Upperside. Cette holding est présente dans plus de 60 pays, comptant plus de 400 collaborateurs pour un chiffre d'affaires, toutes activités confondues, de 45 M€ (décembre 2014).

Voir : <http://www.poly-shape.com/protocoles/communiqu%C3%A9-3AF.pdf>

²⁶⁷ Dont une X-Line 1000r fournie par Concept Laser.

²⁶⁸ Voir : <http://souspression.canalblog.com/archives/2013/07/16/27564118.html> (juillet 2013)

- 7 M€ ont été investis dans l'unité de Salon-de-Provence (dont 1 M€ dans la reconfiguration des lieux et 6 M€ dans l'acquisition de nouveaux équipements de conception et fabrication rapide pour les petites séries de pièces métalliques et polymères destinées à l'aéronautique, au spatial, à l'automobile (Formule 1), principalement, ainsi que le médical (implantologie dentaire).
- Poly-Shape vient d'ouvrir début 2015 un bureau commercial dans la pépinière et hôtel d'entreprises Euréka Marmande (communauté d'agglomération Val de Garonne dans le Lot-et-Garonne), spécialisée dans la plasturgie et les matériaux composites. L'entreprise envisage ensuite d'ouvrir un site de production dans la région.
- Fin 2013, le chiffre d'affaires de Poly-Shape était de 2,2 M€. En 2014, l'entreprise, qui prévoyait un CA de 3,3 M€, a finalement dépassé ce chiffre (4 M€), soit près de cinq fois plus qu'en 2012. Sa croissance lui permet d'envisager un chiffre d'affaires de 6 M€ en 2015.
- 70 % de l'activité est destinée à l'exportation.

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Prodways et Poly-Shape allient leur savoir-faire pour soutenir le concours Cup of IoT lancé par Dassault Systèmes, dans le but d'« imaginer un objet ou un service connecté et innovant »	http://www.prodways.com/prodways-et-polyshape-allient-leur-savoir-faire-pour-soutenir-le-concours-cup-iot-de-dassault-systemes/www.madein3d.me/cupofiot/	20.01.15
	Poly-Shape, l'espoir industriel qu'Euréka, pépinière du Lot-et-Garonne (Marmande Sud-Samazan), a su trouver...pour son inauguration http://objectifaquitaine.latribune.fr/business/2015-01-07/poly-shape-l-espoir-industriel-qu-eureka-a-su-trouver.html	07.01.15
Poly-Shape reçoit le prix PME 3AF : Organisé par l'Association Aéronautique et Astronautique de France, ce prix récompense une PME membre de la 3AF qui s'est particulièrement distinguée par une démarche technique ou technologique innovante ou par une contribution significative, technique, commerciale ou autre, au rayonnement de l'industrie aéronautique ou spatiale française.	http://www.poly-shape.com/protocoles/communiqu%C3%A9-3AF.pdf	08.12.14
Poly-Shape imprime son futur à Salon-de-Provence	http://www.usinenouvelle.com/article/poly-shape-imprime-son-futur-a-salon-de-provence.N296844 http://www.poly-shape.com/protocoles/inauguration-polyshape-2014.pdf	13.11.14
Poly-Shape, la petite entreprise qui parle aux grands	http://www.3dnatives.com/poly-shape-petite-parle-grands/	21.05.14

FICHE N° 19 – CRESILAS



- Fondée en 1993
- Siège situé à Marcoussis (Essonne)
- Philip Hoarau (CEO)
- Emploie 30 personnes réparties sur trois sites²⁶⁹
- <https://www.cresilas.fr/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

De l'idée à l'objet

Pas de limites pour réaliser ce que vous avez imaginé



- Cresilas est le pionnier et le spécialiste de l'impression 3D en France. La société s'est spécialisée dans la fabrication de maquettes, de prototypes et de tous types d'objets par l'utilisation du prototypage rapide (impression 3D professionnelle).
- Cresilas compte parmi ses principaux clients, dans des secteurs très variés (joaillerie, médical, automobile, aéronautique, etc.), la plupart des grands groupes industriels français, mais également des PME des bureaux d'études, des architectes, des artistes, sans oublier les particuliers, notamment les étudiants.
- En juin, 2013, Cresilas revendiquait 800 clients.
- Cresilas est équipée de 53 machines d'impression 3D industrielles. Tous les sites de la société, parfaitement autonomes, sont équipés de moyens de prototypage rapide.

L'impression 3D se décline en plusieurs procédés ayant chacun leur domaine d'application propre (validation de forme, de design, pièces prototypes ou de série (e-manufacturing)). Ces technologies consistent à fusionner ou déposer de la matière pour obtenir une pièce dans un délai très court et sans outillage. A partir d'un fichier 3D, Cresilas utilise de nombreux procédés de Prototypage Rapide : la stéréolithographie, le frittage de poudre, le dépôt de fil par extrusion, le Direct Composite Manufacturing, l'impression par jet de cire, la duplication sous vide, l'injection basse pression (RIM)

QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

- Le pôle aéronautique et e-manufacturing de Cresilas, basé à Marmande, a fait l'acquisition de la machine d'impression 3D industrielle VoxelJet VX1000 (700.000€). Une première en France. Cette acquisition va permettre à la société de proposer la technologie VoxelJet d'agglomération de poudre de PMMA (polyméthacrylate de méthyle acrylique) par jets de liant (technologie 3DP)²⁷⁰.
- La société a acheté une nouvelle machine de frittage de poudre EOS P396 dernière génération, unique exemplaire en France. Cet outil vient renforcer la capacité de production de Cresilas dans le secteur aéronautique. Cela lui permettra également d'augmenter sa capacité de sous-traitance et son savoir-faire.
- Cresilas aura ainsi investi plus de 3 M€ en deux ans pour la production de pièces de qualité professionnelle imprimées en 3D.
- Cresilas a réalisé en 2014 un chiffre d'affaires de 5,33 M€.

²⁶⁹ A savoir, le siège à Marcoussis (20 salariés) + Marmande (Lot-et-Garonne) + Fesches le Châtel (Doubs). Tous les sites, parfaitement autonomes, sont équipés de moyens de prototypage rapide.

²⁷⁰ Voir : <https://www.cresilas.fr/actualites/news/?id=104>

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Les promesses de l'impression 3D – Le rôle pilote de Cresilas	https://www.cresilas.fr/actualites/news/?id=107 www.innovationreview.eu	08.12.14
Cresilas : le crédo du futur	http://www.sudouest.fr/2014/11/04/cresilas-le-credo-du-futur-1725740-4941.php	06.11.14
Cresilas présent au salon 3D print / Interview de Philip Hoarau, PdG	https://www.youtube.com/watch?v=-2B4iO570CM	18.09.14
COMPUTEX 2014 (Taiwan) : Entre objets connectés et impression 3D	https://www.cresilas.fr/actualites/news/?id=92	03-07.06.14
Salon 3DPrint (Lyon) – Participation de Cresilas, aux côtés de Materialise ou des fabricants spécialisés dans la fabrication additive de pièces métalliques comme 3A, Fusia ou Poly-Shape	http://www.zesmallfactory.com/news/436-le-salon-3dprint-ouvre-ses-portes-demain-a-lyon/	16.06.14
Cresilas : un des pionniers français de l'impression 3D	http://www.scoop.it/t/univers-usinage-robotise/p/4020771582/2014/05/05/cresilas-un-des-pionniers-francais-de-l-impression-3d-ze-small-factory	05.05.14
Cresilas imprime sa réussite	http://www.aquieco.com/fr/revue-de-presse/47_cresilas_imprime_sa_reussite-a8020.html	24.03.14
NovAqt - Le résumé de la journée de l'innovation – Le témoignage d'Elisabeth Rey, responsable de la filiale Sud-Ouest de Cresilas : <i>"Oui, la construction additive peut être à l'origine d'une nouvelle révolution industrielle notamment grâce aux petites imprimantes 3D et aux fichiers open source accessibles aux particuliers",[...] avant de préciser que, pour l'instant, cette technologie sert surtout à la fabrication d'objets figuratifs. "Mais demain pourquoi pas se servir d'une impression 3D pour réaliser une petite pièce détachée qui permettra de réparer un appareil en panne...", imagine Elisabeth Rey. Dans l'industrie, l'impression 3D offre l'avantage de produire plus vite, just in time et sans perte de matière. »</i>	http://business.lesechos.fr/directions-generales/innovation/innovation-sociale/en-direct-de-novaqt-57639.php	05.12.13
Présentation de l'entreprise Cresilas	http://www.3dnatives.com/annuaire-impression-3d/listes/cresilas http://www.societe.com/societe/cresilas-392420790.html	14.08.13
Cresilas : Le prix de l'impression 3D s'est effondré	http://pro.01net.com/editorial/597575/cresilas-le-prix-de-l-impression-3d-s-est-effondre/	13.06.13

FICHE N° 20 – RENISHAW



- Entreprise créée en 1973
- Forme juridique : PLC
- Siège à New Mills (Gloucestershire)
- Forte implantation internationale²⁷¹ : 70 bureaux dans 32 pays [dont la France – Vente, assistance, R&D et fabrication à Champs s/Marne (77) et Chassieu (69)]
- Sir David R McMurtry (Fondateur et PDG) ; John Deer (cofondateur et VP) ; Allen Roberts (Directeur financier)
- Effectif : 3.500 collaborateurs (dont 1.180 hors du Royaume-Uni)
- Accord avec Rolls-Royce pour une reprise intégrale de la propriété des brevets d'origine (1987)
- Certification ISO 9001 (+ certification ISO 13485 pour la partie médicale)
- www.renishaw.com

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

Renishaw est un leader mondial établi dans les technologies d'ingénierie, avec une forte tradition d'innovation dans le développement de produits et de fabrication. Depuis sa création, la société a fourni des produits de pointe qui augmentent la productivité des processus et améliorent la qualité des produits, tout en fournissant des solutions d'automatisation rentables.

Renishaw est présent dans 6 domaines d'activité :

- métrologie industrielle (palpeurs et logiciels dédiés),
- appareils de mesure par laser (pour les mines, la marine, les dispositifs mobiles, etc.),
- codeurs de position (magnétiques, optiques, etc.),
- solutions médicales (logiciels de CAO/FAO dentaire, solutions stéréotactiques de neurochirurgie),
- spectroscopie,
- ... et la fabrication additive (fusion laser et moulage sous vide), domaine dans lequel l'entreprise est devenue leader national : Renishaw a mis au point une machine de fabrication additive à usage industriel. Appelée provisoirement « EVO Project », c'est le premier système de fabrication additive conçu et fabriqué en interne par Renishaw. Il reflète les 40 années d'expérience que la société a acquises à l'échelle mondiale en construisant des équipements de haute qualité pour des entreprises manufacturières exigeantes. Renishaw est le seul fabricant britannique d'une machine de fabrication additive à base de métaux qui imprime des pièces métalliques.

Les clients de Renishaw sont issus des secteurs d'activité suivants : aérospatial, agriculture, automobile, produits de grande consommation, construction, médecine, génération d'électricité, mines et carrières.

QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

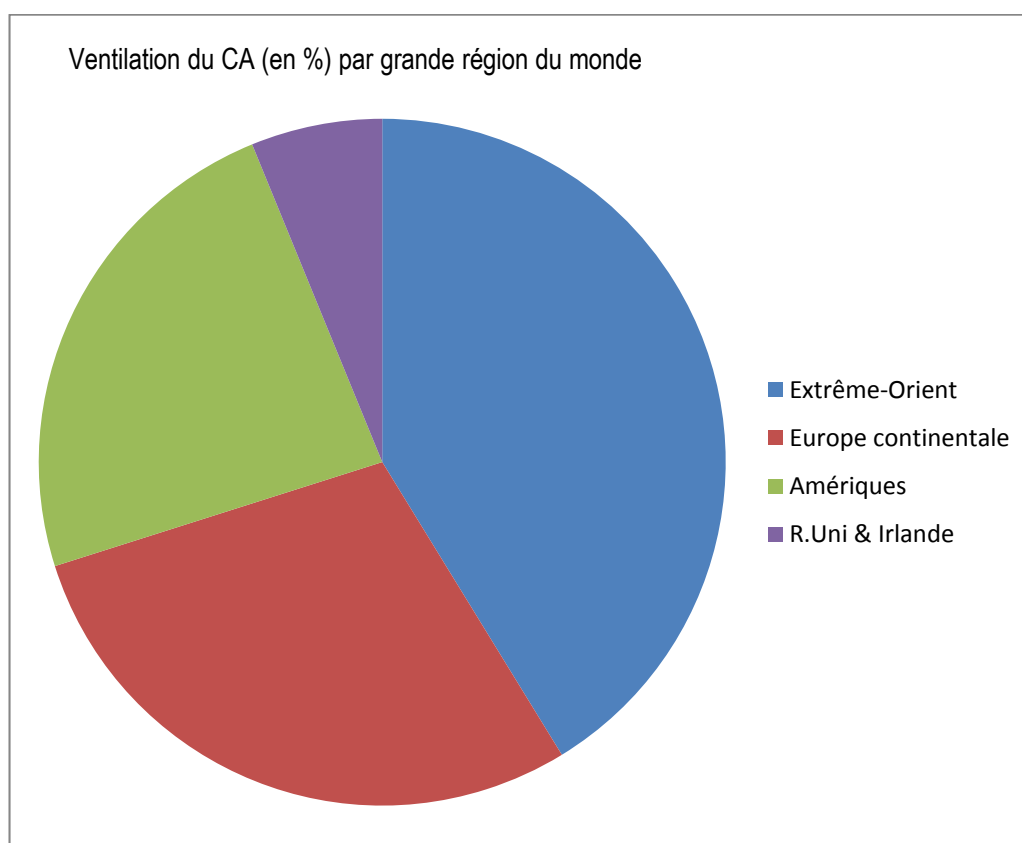
- L'entreprise Renishaw a été introduite en bourse à Londres en 1983. Le produit de l'augmentation de capital en numéraire est de 5,9 M£ (8 M€).
- L'entreprise a réalisé un CA de 347 M£ en 2012/2013 et 355,5 M£ (soit plus de 470 M€) en 2013/2014²⁷². Les activités de métrologie représentent près de 92% du total (le reste provenant des activités dans le secteur dentaire).
- Dans cette entreprise, l'équivalent de 15 à 18 % du CA annuel est généralement consacré à la R&D et à l'ingénierie.

²⁷¹ Renishaw dispose notamment d'installations de montage situées à proximité de Dublin (Irlande) et à Pune (Inde). La 1ère usine à l'étranger a été créée en Irlande en 1981 et la 1ère succursale commerciale a été ouverte aux Etats-Unis la même année. Hors du Royaume-Uni et de l'Irlande, les activités de fabrication sont concentrées en Allemagne et en France, pour l'Europe, ainsi qu'aux Etats-Unis et en Inde, s'agissant du reste du monde.

²⁷² Pour mémoire, le CA 2010/2011 s'établissait à 288,8 M£. Ceci reflète une progression de 23% en 3 ans (Source : comptes annuels 2014).

En 2013, Renishaw a ainsi consacré 15 % de son chiffre d'affaires à la R&D. Au cours du dernier exercice financier, Renishaw a consacré 56,8 M£ aux activités d'ingénierie et de R&D. L'essentiel de ces activités est assuré au Royaume-Uni, principalement dans le Gloucestershire.

- En 2010, Renishaw a racheté la division MTT Technologies Ltd (Metall Technik Tauber), située en Grande-Bretagne et spécialisée dans les fabrications à base de métal.
En 2011, Renishaw a racheté l'ancienne usine Bosch à Miskin, près de Cardiff (Sud du Pays de Galles). La fabrication a commencé en mai 2012.
En 2013, Renishaw a pris une participation majoritaire dans LaserBearbeitungsCenter GmbH.
Les unités basées en Allemagne (Pliezhausen) et à Shanghai ont fait l'objet d'importantes extensions en 2014.
- Renishaw a une très grande activité à l'international (93% du CA est réalisé hors du Royaume-Uni) :



- L'entreprise a remporté de nombreux prix, dont 15 Queen's Awards (plus haute récompense accordée par le gouvernement britannique à une entreprise implantée au Royaume-Uni) reconnaissant les réussites technologiques, à l'exportation et innovantes. Le premier Queen's Award a été obtenu en 1979, le dernier en 2014.
- En 2012, l'usine de Woodchester remporte le prix de la « Meilleure usine électronique et électrique ».
- Le premier programme de parrainage d'étudiants a eu lieu en 1984. L'entreprise forme chaque année une centaine d'apprentis.

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Renishaw announces Clive Martell as Head of Global Additive Manufacturing	https://www.the3dprintingassociation.com/news/post/renishaw-announces-clive-martell-as-head-of-global-additive-manufacturing-	10.07.15
Renishaw Unveils EVO 3D Printing System at EuroMold 2014	http://3dprintingindustry.com/2014/11/26/renishaw-unveils-evo-3d-printing-system-euromold-2014/	26.11.14
Cardiff University Purchases Renishaw AM250 for Metal 3D Printing	http://3dprintingindustry.com/2014/11/04/cardiff-university-renishaw-am250-metal-3d-printing/	04.11.14
Renishaw Earns Vital TÜV SÜD Certification for AM250 SLM 3D Printer	http://3dprintingindustry.com/2014/10/30/renishaw-certification-3d-printer/	30.10.14
Prestigious Award Nomination For UK Additive Manufacturing Talent	http://3dprintingindustry.com/2014/10/01/prestigious-award-nomination-uk-additive-manufacturing-talent/	01.10.14
UK's Only Metal 3D Printing Firm Opens Facility in India	http://3dprintingindustry.com/2014/08/28/uks-metal-3d-printing-firm-opens-facility-india/	28.08.14
David Cameron visite le site de Woodchester	http://www.renishaw.com/media/pdf/en/0283969cb657465599cf6bf40d08dd00.pdf	Mai 2014
Renishaw's AM 250 Metal 3D Printer Driving Record Revenues	http://3dprintingindustry.com/2014/07/28/renishaws-250-metal-3d-printer-driving-record-revenues/	28.07.14
Acquisition d'Advanced Consulting & Engineering (ACE), Inc. (USA), qui distribuait les produits Renishaw depuis 2011	http://www.renishaw.com/media/pdf/en/0283969cb657465599cf6bf40d08dd00.pdf	Mars 2014

UNE « SUCCESS STORY »



L'entreprise Renishaw a travaillé en collaboration avec l'une des principales entreprises britanniques de conception et de fabrication de vélos Empire Cycles pour créer le premier cadre de vélo métallique imprimé en 3D.

Grace à la fabrication additive, Empire Cycles a conçu un VTT lui permettant de créer un cadre en titane qui soit à la fois robuste et léger, en faisant appel à une optimisation topologique.

Ce nouveau cadre est près de 33 % plus léger que l'original

Source : <http://www.renishaw.fr/fr/Notre-entreprise-6432>

FICHE N° 21 – MATERIALISE



- Entreprise créée en 1990.
- Siège à Louvain, avec un réseau d'implantations dans le monde entier²⁷³
- Wilfried Vancrean (CEO) ; Frederic Merckx (Dir. Financier); Tim Van den Bogaert (Logiciels); Bart Van Der Schueren (Business Development Manager); Johan Pauwels (logiciels destinés à l'impression 3D)²⁷⁴
- Effectif global : 1.100 collaborateurs à plein temps (dont 50 % sont titulaires d'un doctorat)
- 62 brevets ont été accordés et 101 sont en attente
- Entreprise certifiée ISO 9001 et leur production médicale certifiée ISO 13485
- <http://www.materialise.com/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES



- Trois compétences principales : l'impression 3D, le développement de logiciels et l'ingénierie.
- 1,4 M de prototypes, pièces de production et produits de consommation ont été imprimés grâce à la 3D en 2013.
- L'entreprise dispose de 8.000 licences de logiciels et 146.000 dispositifs médicaux personnalisés produits en 2013.
- Materialise a commencé ses activités en tant que spécialiste du prototypage rapide et de la fabrication additive, et est progressivement devenu le leader du marché de l'impression 3D et de logiciels CAO.
- Grâce à sa connaissance approfondie des technologies, ainsi que des difficultés que rencontrent les industriels dans le domaine du prototypage rapide et de la fabrication additive, l'équipe de développement de logiciels la plus grande dans le secteur reste à la pointe des tendances avec des solutions révolutionnaires qui permettent de réduire les coûts et d'accroître l'efficacité de l'impression 3D. De tels logiciels permettent d'alimenter de nouvelles innovations dans la recherche biomédicale. Materialise travaille ainsi étroitement avec des chirurgiens pour la planification et l'exécution d'interventions chirurgicales compliquées. L'idée consiste à trouver des solutions médicales pour élaborer des prothèses (pieds) et faire ainsi renaître des sourires sur le visage de patients handicapés.

La société Materialise permet également aux particuliers, grâce à un service en ligne facile à utiliser, de créer un objet personnalisé en 3D. L'entreprise a mis au défi certains des meilleurs designers du monde d'utiliser cette technologie dans la création d'une gamme primée des objets imprimés en 3D disponibles à la vente en ligne et dans différents magasins à travers le monde entier.

Materialise fait appel à un éventail de technologies révolutionnaires, notamment le frittage laser, le dépôt de fil par fusion, la stéréolithographie ainsi que les technologies PolyJet et ColorJet. Materialise dispose d'une usine entièrement équipée pour la coulée sous vide.

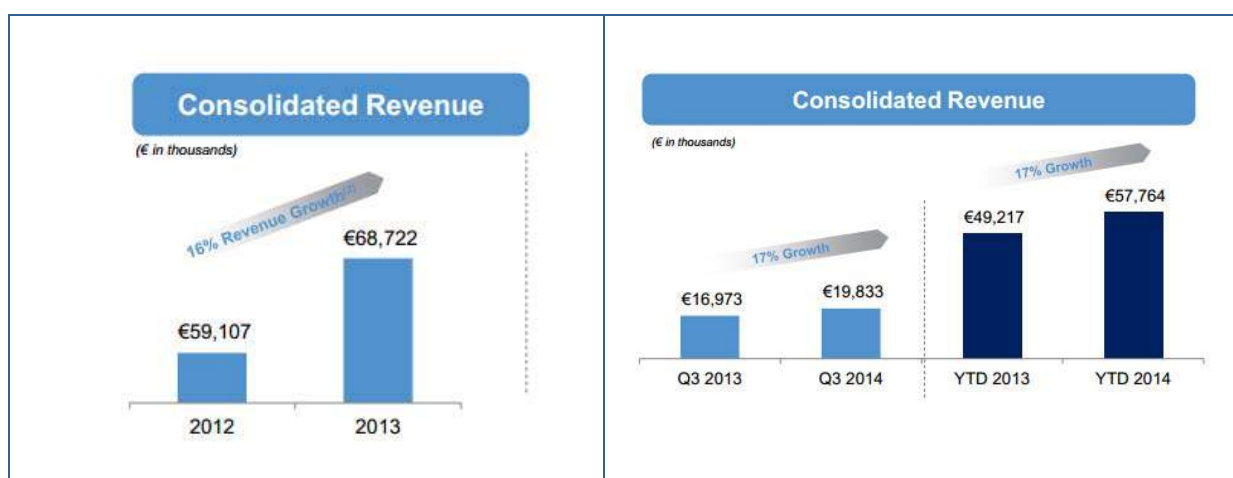
Elle aide les sociétés issues d'un nombre croissant de secteurs, tels que: l'automobile, les machines et les équipements industriels, l'aéronautique, l'électronique grand public, les biens de consommation et même la mode.

²⁷³ D'autres succursales se trouvent en Europe : Autriche, Belgique, République Tchèque, France, Allemagne, Italie, Pologne, Espagne, Suède, Ukraine, Royaume-Uni, ainsi que dans des pays plus lointains : Etats-Unis (New York), Canada, Colombie, Malaisie, Chine, Japon.

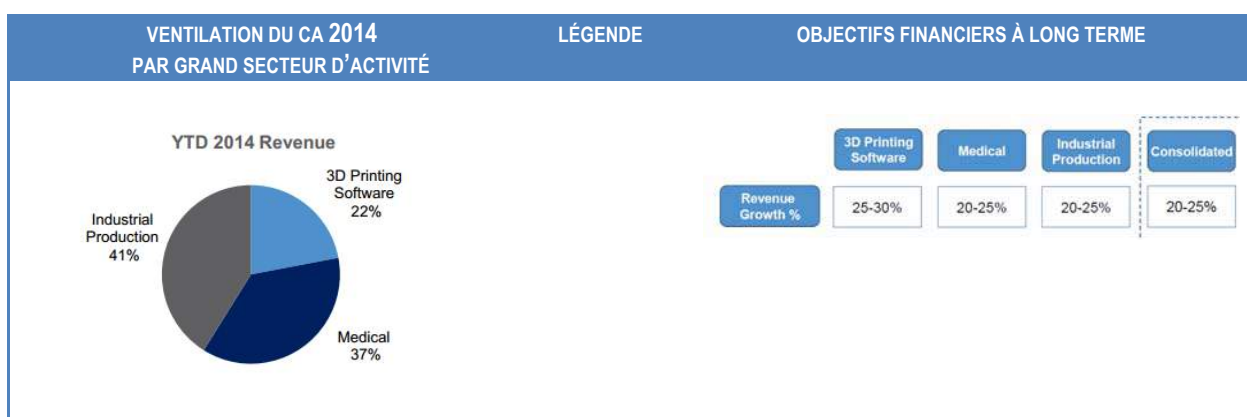
²⁷⁴ Présentation destinée aux investisseurs (juin 2015) : <http://phx.corporate-ir.net/External.File?item=UGFyZW50SUQ9NTgyOTcwfENoaWxkSUQ9Mjg5NDk4fFR5cGU9MQ==&t=1>

QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

- Materialise a, depuis sa création, fourni quelques 8.000 licences de logiciels d'impression 3D à plus de 4.000 clients, y compris à de grandes entreprises telles que Ford Motor, Boeing et Airbus.
- L'entreprise a décidé publiquement de suivre le parcours de ses concurrents, géants de l'impression 3D, Voxeljet, Exone, 3D Systems et Stratasys... L'intégration de la société à ce qui devient un sous-groupe d'actions des technologies croissantes représente aussi un attrait pour les investisseurs.
- Materialise a acquis l'entreprise Ortho View en octobre 2014²⁷⁵ pour 8.47 M £ soit 11.30 M€.
- L'entreprise a déclaré qu'elle prévoit d'utiliser le produit de son offre pour augmenter le volume de ses opérations et a reconnu que le montant final de son introduction en bourse aux Etats Unis n'atteint pas tout à fait 125 M\$.
- Les principaux souscripteurs de cette introduction en bourse sont le Crédit Suisse et Piper Jaffray (banque d'investissement américaine). Aucun tarif n'a été divulgué.
- Materialise connaît **une croissance continue depuis 24 ans**. Les revenus de l'entreprise ont ainsi augmenté de 16% pour atteindre 68.7 M€ en 2013 (contre 59,1 M€ en 2012). Cette progression se poursuit toujours (croissance de 17% entre 2013 et 2014) :

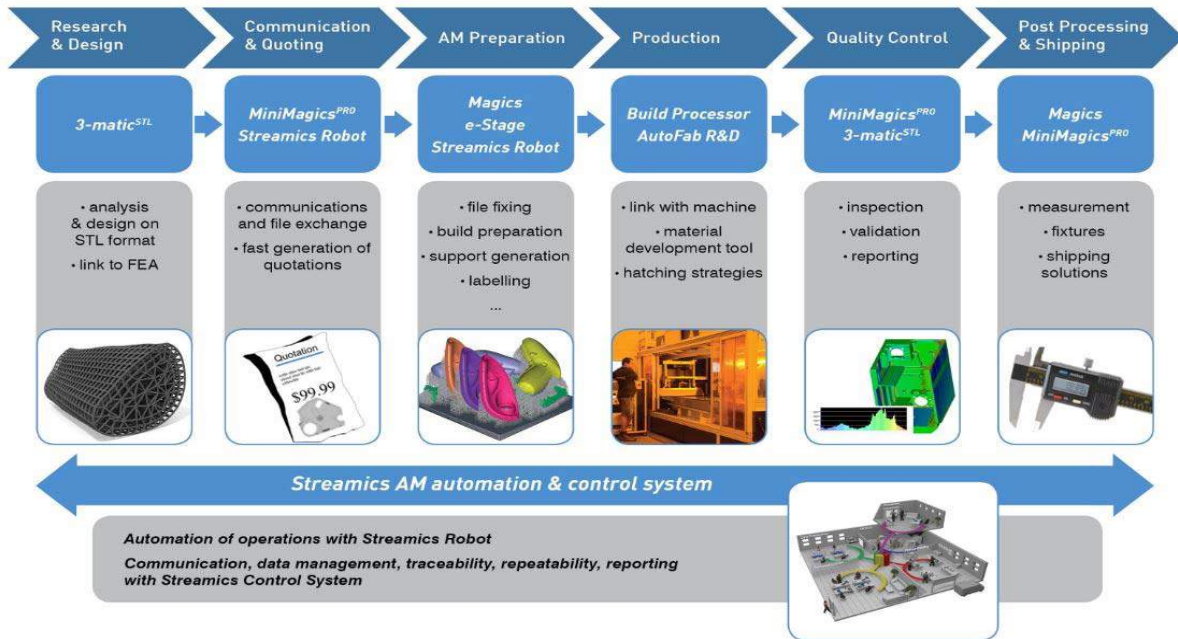


- Les revenus issus des activités implantées en Asie ont augmenté de 35% en 2014.
- En termes d'activité et d'objectifs à long terme, la situation est la suivante :





²⁷⁵ <http://www.materialise.com/press/materialise-acquires-orthoview-the-market-leader-in-orthopedic-digital-pre-operative-planning>

- Expertise de l'entreprise dans l'ensemble de l'additive manufacturing et le processus de l'impression 3D



DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Materialise et l'Hôpital de Fuwai coopèrent en vue de la mise en place du 1er centre chinois d'impression 3D spécialisé dans le domaine cardiovasculaire	http://www.3ders.org/articles/20150625-materialise-fu-wai-hospital-collaborate-on-china-first-cardiovascular-3d-printing-center.html	25.06.15
Materialise se développe en Chine : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Participation à la visite d'Etat de LL.MM. le Roi et la Reine des Belges à Beijing ▪ Interview de Mme Kim François, DG de la filiale de Materialise à Shanghai (le bureau initial a été transformé en filiale en décembre 2014) 	http://www.3dp-times.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=6&id=138 https://www.linkedin.com/pulse/cover-story-february-2015-issue-3d-printing-times-angela-zheng	25.06.15 13.02.15
	De l'esquisse au produit imprimé: Materialise lance un service de stylisme pour les conceptions susceptibles d'être imprimées en 3D http://www.tctmagazine.com/prsnlz/materialise-introduces-3d-modeller-service-for-3d-printing/	18.06.15
Materialise développe sa plate-forme en ligne "i.materialise" grâce à un accord stratégique de coopération avec Golden Laser (Wuhan)	http://investors.materialise.com/phoenix.zhtml?c=253045&p=iroj-newsArticle&ID=2062102	24.06.15
Materialise s'apprête à lancer une imprimante 3D qui pourra travailler le bois fritté, un matériau qui peut s'utiliser avec des filaments PLA. <i>La phase de test inclut la mise en concurrence de plusieurs designers (juin 2015), afin de n'en retenir que cinq, dont les créations seront réalisées gratuitement par impression 3D.</i>	http://3dprintingindustry.com/2015/06/04/materialise-to-launch-laser-sintered-wood-3d-printing/	04.06.15
Materialise lance la dernière édition de sa série de logiciels destinés aux professionnels de la biomédecine (Mimics Innovation Suite)	http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/materialise-launches-latest-edition-of-mimics-innovation-suite/	28.05.15
Materialise et le créateur finlandais KAYIWA lancent DINO, une collection de vêtements créés par impression 3D	http://investors.materialise.com/phoenix.zhtml?c=253045&p=iroj-newsArticle&ID=2063349	20.05.15
Materialise noue un partenariat avec le californien Trimble en vue de développer des logiciels permettant de « faciliter la vie des makers », grâce à une version adaptée du software SketchUp 3D et l'expérience acquise par Materialise via sa propre plate-forme IdeasWorthMaking.com	http://investors.materialise.com/phoenix.zhtml?c=253045&p=iroj-newsArticle&ID=2063387 http://investors.materialise.com/phoenix.zhtml?c=253045&p=iroj-newsArticle&ID=2044178	15.05.15 (annonce préalable : 24.04.15)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Materialise World Conference à Bruxelles: bilan de 25 ans d'expérience + quelques contributions des participants [NB : cette manifestation (100 intervenants et plus de 1.000 participants) a été sponsorisée par d'autres fabricants d'équipement 3D, tels que HP, EOS ou Concept Laser]	http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/live-blog-materialise-world-conference/ http://investors.materialise.com/phoenix.zhtml?c=253045&p=irol-newsArticle&ID=2039243	23.04.15
Lunetterie: Materialise and le studio de design Hoet lancent une collection "Made in Belgium" de lunettes réalisée par impression 3D	http://investors.materialise.com/phoenix.zhtml?c=253045&p=irol-newsArticle&ID=2044181	23.04.15
Materialise finalise le processus de certification (EN9100 et EASA 21G) pour ce qui concerne les pièces en plastique fabriquées par impression 3D pour le compte de l'industrie aérospatiale	http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/materialise-achieves-certification-for-3d-printing-end-use-parts-aerospace-industry/	13.04.15
Secteur médical: Materialise rend public son partenariat avec le promoteur US d'innovations Kapstone Medical (Caroline du Nord)	http://investors.materialise.com/phoenix.zhtml?c=253045&p=irol-newsArticle&ID=2044200	25.03.15
Materialise élargit la gamme de ses solutions électroniques en se portant acquéreur de la plate-forme CENAT (Gand), spécialisée dans le contrôle des processus d'impression additive	http://investors.materialise.com/phoenix.zhtml?c=253045&p=irol-newsArticle&ID=2025182	12.03.15
Materialise élargit son offre de services dans le domaine de l'impression 3D appliquée aux métaux	http://investors.materialise.com/phoenix.zhtml?c=253045&p=irol-newsArticle&ID=2027121	03.03.15
Mise au point de processeurs permettant de simplifier les opérations d'impression 3D: Materialise collabore avec le néerlandais FELIXrobotics BV en vue de l'amélioration des imprimantes 3D produites par ce dernier	http://www.tctmagazine.com/software/materialise-develops-build-processor-for-felix-3d-printers/	14.01.15
 <p>Materialise associe ses compétences en matière de création de logiciels à celles du néerlandais Leapfrog pour mettre au point un nouvel outil technique destiné aux imprimantes 3D de bureau</p>	http://www.tctmagazine.com/ces-2015/materialise-join-forces-with-leapfrog-to-launch-de/	08.01.15
La "Solution Hospitalière" développée par Materialise devrait aider les professionnels de la médecine, notamment les radiologues, à mieux apprécier les besoins de leurs patients	http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/materialise-promotes-personalised-healthcare-with-hospital-solution/	02.12.14

Sources :

<http://www.materialise.com/>

<http://investors.stratasys.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=912146>

FICHE N° 22 – ARCAM



- Entreprise créée en 1997
- Forme juridique : AB
- Siège à Mölndal (près de Göteborg, en Suède), avec un réseau d'implantations dans le monde entier²⁷⁶
- Magnus René CEO
- Effectif du groupe : 220 salariés
- Dépôt de plus de 25 types / famille de brevet pour sa technologie EBM. Compte plus de 50 brevets délivrés dans le monde²⁷⁷
- Fonctionne sous la norme ISO 9001 : 2008
- Arcam est inscrite au NASDAQ OMX en Suède
- Site : <http://www.arcam.com/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

La société Arcam propose une technologie de fabrication additive originale : l'Electron Beam Melting (EBM) ou la fusion par faisceau d'électrons²⁷⁸. Elle dispose de 100 machines dans le monde.

Le premier modèle de production, l'EBM S12, a été lancé à EuroMold à Francfort à la fin de 2002.

Utilisées aussi bien par l'industrie aéronautique que médicale, la défense ou les centres de recherche, les machines Arcam affichent une haute productivité. Leur vitesse de fabrication est de 80 cm³/h et le processus se déroule sous vide, ce qui garantit l'intégrité matière des pièces fabriquées.

La technologie EBM Arcam est notamment utilisée pour la production d'implants orthopédiques qui sont certifiés par la Commission européenne (marquage CE) et la FDA (Food and Drug Administration, service du gouvernement américain responsable de la pharmacovigilance).

Le procédé est aussi utilisé en production aéronautique (composants de moteurs et fuselage).

Les principaux équipements fabriqués par ARCAM figurent ci-après, avec, pour chaque machine, le type principal d'utilisation pour lequel le modèle a été conçu :

Q 10 – PRODUCTION INDUSTRIELLE D'IMPLANTS ORTHOPÉDIQUES	Q 20 – PIÈCES AÉRONAUTIQUES (EX. PALES DE TURBINES)	2 X – TRANSFORMATION D'ALLIAGES DE TITANE
		

²⁷⁶ Présente également aux Etats-Unis, en Italie, en Chine, et en Grande-Bretagne.


²⁷⁷ Brevet : Distribution de poudre dans la fabrication d'additif. Procédé de protection de sécurité et appareil pour dispositif de fabrication d'additif.

²⁷⁸ <http://www.arcam.com/technology/electron-beam-melting/>

QUELQUES FAITS ET CHIFFRES

- Le CA 2014 a atteint 41,2 M\$, soit une augmentation de 70% par rapport à 2013. Au cours de l'année 2014, Arcam a vendu 42 équipements et a ainsi pu réaliser un profit de 6,9 M\$ (2,3 M\$ en 2013). Une partie notable de cette hausse résulte très probablement de l'acquisition de deux entreprises au cours du printemps 2014 : un fournisseur canadien de poudres métalliques et un fabricant US d'implants médicaux (cf infra).
- La division Advanced Powders & Coatings (AP&C)²⁷⁹ [groupe Raymor Industries (Canada)], fabrique des poudres métalliques de haute qualité, en particulier à base de titane. Quant à DiSanto Technology, Inc.²⁸⁰, il s'agit pour l'essentiel d'un fabricant d'implants orthopédiques réalisés en métal ou en plastique pour une grande variété d'applications.
- En 2014, également, ARCAM a filialisé son agent au Royaume-Uni et renforcé sa plate-forme commerciale implantée en Chine.

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Les imprimantes 3D pour métaux d'ARCAM utilisées en Sicile pour la fabrication d'implants orthopédiques en titane: La compagnie Mt Ortho, implantée au pied de l'Etna, a commencé ses activités en distribuant des prothèses. Souhaitant les fabriquer elle-même, elle s'est équipée de deux imprimantes EBM Q10 d'ARCAM pour élaborer ses implants en titane.	http://3dprintingindustry.com/2015/07/16/two-arcam-q10-3d-printing-titanium-implants-etna-volcano-sicily/	16.07.15
La filiale canadienne d'ARCAM, AP&C, élargit ses capacités de production dans le secteur des poudres à base de titane	http://3druck.com/3d-druckmaterialien/arcam-tochter-apc-erweitert-herstellungskapazitaeten-fuer-titanpulver-3134190/	11.05.15
 <p>Rolls-Royce²⁸¹ s'apprête à tester en vol une pièce en titane de grande taille réalisée grâce à la technologie EBM d'ARCAM: Cette structure d'un diamètre d'1,50 m et de 50 cm d'épaisseur est destinée au moteur Trent XWB-97. Ce projet a été réalisé grâce à la collaboration de l'Université de Sheffield et du Manufacturing Technology Centre du Royaume-Uni.</p>	http://3dprintingindustry.com/2015/02/19/rolls-royce-to-fly-largest-3d-printed-part-ever-flown/	19.02.15
Arcam fait état d'une année 2014 particulièrement profitable en termes financiers	http://3dprint.com/42647/arcam-ab-stock-arcam-st/	05.02.15
Forte hausse des profits pour ARCAM au 3 ^e trimestre 2014 (près de 3,2 M\$ réalisés au cours de cette période, alors, qu'à la même période, en 2013, l'entreprise était à peine à l'équilibre) (NB : le CA du 1 ^{er} semestre 2014 a été environ de 12 M€, avec des profits de l'ordre de 400.000 € et 11 équipements vendus)	http://3dprintingindustry.com/2014/10/17/metal-3d-printer-manufacturer-arcam-reports-strong-earnings-q3/ http://3druck.com/hersteller/arcam-steigert-umsatz-um-125-im-dritten-quartal-2014-3325158/	17.10.14

²⁷⁹ Fournisseur stratégique d'Arcam depuis 2006, AP&C, basé près de Montréal, est un fournisseur expérimenté des industries aéronautique et biomédical, présent dans 20 pays. La transaction a porté sur un montant de 35 MCAN\$ (soit près de 25 M€).

Voir : <http://advancedpowders.com/company/> et <http://3dprintingindustry.com/2013/12/19/arcam-ab-acquires-materials-division-raymor/>

²⁸⁰ DiSanto Technology (CA : 12 M\$; 100 employés) (2014) était un partenaire stratégique d'Arcam depuis février 2013. Basé à Shelton (Connecticut), DST, certifié ISO 9001 et ISO 13485, poursuit ses activités en tant que filiale distincte, intégrée au groupe ARCAM. Voir: <http://disanto.com/index.php/about-us/press/>

²⁸¹ Rolls-Royce participe à de nombreux projets publics américains et britanniques dans le domaine de la fabrication additive appliquée à l'aéronautique. En novembre 2014, la société a reçu 140.000 £ du National Aerospace Technology Exploitation Programme pour un projet conjoint avec Sigma Components (Avingtrans plc) portant sur la fabrication de raccords et de tubes spéciaux. La même année, le gouvernement britannique a investi 154 M£ dans 4 projets de R&D consacrés à la fabrication additive. L'un d'entre eux, piloté par Rolls-Royce, avait pour but "d'explorer les nouvelles technologies et les formes de recherche appliquée susceptibles de permettre au Royaume-Uni de rester compétitif à l'échelle mondiale, grâce à la création d'aéronefs plus légers, moins nuisibles pour l'environnement et moins gourmands en carburant, ceci visant à réduire les émissions de CO² de 75% d'ici à 2050, en prenant comme référence les niveaux atteints en 2000."

FAITS	SOURCE(S)	DATE
AP&C, filiale canadienne d'ARCAM, reçoit la certification AS9100, qui lui permet de développer ses services au profit de l'industrie aérospatiale	http://3dprintingindustry.com/2014/10/09/arcam-apc-aerospace/	09.10.14
Arcam consolide ses positions dans le domaine de l'impression 3D appliquée au domaine médical, grâce à l'acquisition de DiSanto	http://3dprintingindustry.com/2014/09/04/arcam-solidifies-medical-3d-printing-position-acquisition-disanto/ http://3dprint.com/13821/arcam-disanto-3d-print-implant/	04.09.14
Arcam se lance dans la bataille au moment où la fabrication additive appliquée à la transformation des métaux rentre dans une nouvelle phase	http://3dprintingindustry.com/2014/07/21/arcam-leading-charge-metal-based-enters-new-growth-phase/	21.07.14
La commande d'imprimantes 3D passée par l'avionneur britannique GKN « booste » le cours de l'action ARCAM à la Bourse de Stockholm	http://www.handelsblatt.com/finanzen/maerkte/aktien/3d-drucker-hersteller-bestellung-befluegelt-arcam/10032856.html	12.06.14
Arcam introduit un superalliage à base de nickel dans les équipements qu'il destine à l'impression 3D	http://3dprintingindustry.com/2014/06/09/arcam-introduces-nickel-based-superalloy-additive-manufacturing/	09.06.14

Sources :

<http://www.arcam.com/company/about-arcam/>

Participation à des événements professionnels : <http://www.arcam.com/company/company-news/>

FICHE N° 23 – TIERTIME



- Dénomination complète: Beijing TierTime Technology Co., Ltd.
- Entreprise créée en 2003
- Siège social: Beijing (district de Huairou)
- Divisions aux Etats-Unis (New-York et Californie)
- Représentation en France : A4 est partenaire de TierTime en France et commercialise ces imprimantes au travers du site spécialisé <http://www.imprim-3d.fr/>, ainsi que de son site dédié à l'éducation <http://www.a4.fr/>
- Principaux dirigeants : Allen Guo, PDG
- <http://www.tiertime.com/en/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

- TierTime se présente comme le plus grande entreprise d'Asie²⁸² (et la troisième au niveau mondial) capable d'apporter des solutions techniques à ses clients en matière d'impression additive.
- Sa gamme de produits est la suivante :
 - ⇒ Equipement de bureau / Série Desktop UP²⁸³ : UP mini, UP Plus 2 et UP Box: <http://www.tiertime.com/EN/Products/Desktop/>
 - ⇒ Equipement à usage industriel: Inspire S, D et A: <http://www.tiertime.com/EN/Products/Industrial/>
 - ⇒ Scanners 3D
 - ⇒ Consommables : filaments UP Fila PLA et ABS : http://www.tiertime.com/EN/Products/Software_Consumables/

GAMME « GRAND PUBLIC »			APPAREILS À USAGE INDUSTRIEL		
UP Mini	UP Plus 2	UP Box	Série S (220/250)	Série D (255/290)	Série A (370/450)
					

- Selon TierTime, ses produits peuvent trouver des débouchés dans des domaines aussi variés que le design, l'éducation, les loisirs, l'architecture, le secteur médical ou les applications industrielles (ex. automobile).

BREF HISTORIQUE


Tiertime a été constituée à partir de la Beijing Yinhua Laser Rapid Prototyping and Mould Technology Co., Ltd., entreprise créée par le Pr. Yan Yongnian (Tsinghua), qui est considéré comme le pionnier de l'impression 3D en Chine. En un peu plus de vingt ans, l'entreprise s'est hissée parmi les grands fabricants mondiaux de matériel de ce type.

²⁸² Autres informations disponibles: <http://www.ipsos.fr/comprendre-et-maitriser-son-marche/2015-05-27-marche-l-impression-3d-en-chine> (27.05.15)

²⁸³ La série UP a été distinguée, en 2013, comme en 2014, par le magazine "Make », qui a estimé que c'était le type d'équipement le plus facile à utiliser, dans sa catégorie : http://www.chinadaily.com.cn/m/beijing/zhongguancun/2013-12/03/content_17261253.htm

Octobre 2006	Commercialisation internationale de la première imprimante 3D à usage industriel
Décembre 2009	Mise au point de la première imprimante 3D de bureau
Octobre 2010	Commercialisation internationale des séries 3D (à usage industriel) et de la UP Plus
Février 2012	Lancement de la UP Plus sur le marché chinois
Mai 2012	Commercialisation internationale de l'imprimante UP mini
Octobre 2012	Make Magazine gratifie TierTime de la qualité de "Best Overall Experience 3D Printer" (parmi 15 fabricants)
Mai 2013	Lancement de la UP Plus 2
Juin 2013	Partenariat exclusif avec Microsoft Windows – La série UP peut fonctionner en utilisant Microsoft Windows 8.1
Octobre 2013	Commercialisation de l'imprimante UP mini sur le marché chinois
Novembre 2013	Make Magazine distingue la UP Plus 2 et la UP mini en leur accordant le label "Best in Class: Just Hit Print", (parmi 23 fabricants)



DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
 <p>Partenariat avec l'industrie aérospatiale chinoise dans le but de développer une imprimante 3D anti-gravité²⁸⁴ comparable à la "Zero-G Printer" mise au point dans le cadre du projet US "Made in Space"²⁸⁵, the UP Plus 2.</p>	http://www.3ders.org/articles/20150604-chinese-aerospace-institution-teams-with-tier-time-to-build-3d-printer-for-space.html http://www.pnwswire.com/news-releases/tier-times-made-in-space-challenging-3d-printing-in-microgravity-environments-300094096.html	04.06.15
<p>Un mammoth imprimé en 3D à Taiwan : Le Taiwan National Science & Technology Museum (NSTM) vient d'imprimer en 3D une reproduction fidèle, à échelle réduite, d'un mammoth de l'âge de glace grâce à une machine UP Plus 2 de TierTime. L'objectif était de permettre au plus large public d'appréhender au mieux cet animal disparu il y a environ 10.000 ans, lors d'une exposition consacrée à la préhistoire.</p>	http://www.industrie-techno.com/un-mammoth-imprime-en-3d-a-taiwan.38744	04.06.15
<p>France - L'impression 3D passe au bloc²⁸⁶: l'expérience du chirurgien Clément Ernoult dans le cadre d'interventions sur le « massif facial » réalisées en utilisant une imprimante 3D UP Plus 2 de TierTime (A4 Technologie)</p>	http://www.industrie-techno.com/l-impression-3d-passe-au-bloc.36928	06.03.15
<p>Quant 3D (filiale de OK International, elle-même filiale de Dover Group/cf infra) présente, sur le stand de son partenaire TierTime, l'imprimante 3D à usage industriel Q1000 à l'occasion du salon RAPID 2015 (Long Beach)</p>	http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/quant-3d-to-launch-q1000-industrial-3d-printer-at-rapid/	14.04.15
<p>L'impression 3D dans la vie quotidienne – Interviews du PDG, Allen Guo, à l'occasion du salon TCT Asia de Shanghai (mars) : « <i>Le public veut apprendre à connaître les imprimantes 3D et savoir ce que l'on peut fabriquer avec ces appareils. Ils en sont dingues (crazy) !</i> »</p>	http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/tier-time-on-3d-printing-for-everyday-life/ http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/tct-at-tct-asia-support-for-3d-printing-industry-is-good-news/	09.04.15 19.03.15
<p>L'équipe de Think3D, intéressée par la distribution des produits de la marque en Inde, visite les locaux de TierTime à Beijing</p>	http://www.think3d.in/visit-to-beijing-tier-time-up-brand-3d-printers/	19.10.14
<p>L'impression 3D entre chez Mister Minit (225 boutiques en France, 1.000 en Europe) : ce leader du service immédiat aux particuliers, ajoute l'impression 3D à sa large palette de services (réparation de chaussures, duplication de clés, imprimerie, gravure, tampons, changement de piles et de bracelets de montres, photos d'identité et réparation de smartphones)...La boutique du centre commercial Créteil Soleil (Val-de-Marne) vient de s'équiper d'une imprimante 3D UP Plus2 de TierTime fournie par A4 Technologie. Elle propose aux clients de réaliser l'objet de son choix à partir d'une bibliothèque virtuelle d'objets 3D ou en apportant son propre fichier.</p>	http://www.industrie-techno.com/l-impression-3d-entre-chez-mister-minit.33336	09.10.14

²⁸⁴ Cette annonce est intervenue au moment où la Chine souhaite massivement promouvoir les technologies de fabrication additive dans de nombreux secteurs industriels, dans le cadre du plan stratégique "Made in China 2025" récemment initié par le gouvernement central. La dynamique visant à mettre au point des solutions d'impression 3D dans un environnement non soumis à la gravité s'inscrit apparemment de façon logique dans la démarche des fabricants chinois de ces types d'équipement, dont TierTime constitue l'un des fleurons. (Source : www.3ders.org) (04.06.15)

²⁸⁵ Initiée mi-2013, la collaboration entre la NASA et [Made in Space Inc.](http://www.madeinspace.us/) (Mountain View – Californie) avait pour but la mise en place d'une imprimante 3D à l'intérieur de la Station Spatiale Internationale (ISS) à l'été 2014. Cette expérimentation "Zero G" était destinée à permettre la fabrication de pièces dans l'espace : <http://www.3ders.org/articles/20130603-nasa-and-made-in-space-to-send-first-3d-printer-into-space.html>. Cette imprimante est opérationnelle, en situation, depuis septembre 2014 : <http://www.madeinspace.us/>. Dans le cadre de ces activités d'impression 3D « hors sol terrestre », un projet distinct de mise au point d'une imprimante destinée à imprimer des nutriments pour les cosmonautes, projet géré par la société SMRC (Austin – Texas) a été validé à la même époque et subventionné par la NASA à hauteur de 125.000 \$.

²⁸⁶ « La chirurgie utilise l'impression 3D depuis près de vingt ans, notamment dans le domaine maxillo-facial dans de multiples applications telles que la reconstruction post-traumatique ou après chirurgie oncologique, harmonisation du visage, malformations cranio-faciales ainsi qu'en implantologie. Mais avec l'arrivée d'imprimantes 3D de table, faciles à utiliser par n'importe qui et très abordables, les chirurgiens peuvent à présent réaliser des modèles osseux de manière fiable, économique et rapide, sans passer par un circuit long et onéreux de sous-traitance. » (Jean-François Preveraud – Usine Nouvelle)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
	<p>Lancement de la « Up Box »: Ce nouvel équipement, disponible à partir de novembre 2014 dans le monde entier (à un prix de référence US de 1.899 \$), est distribué par les partenaires habituels de TierTime, y compris Amazon.com.</p>	<p>http://www.tenlinks.com/news/tiertime-launches-up-box-desktop-3d-printer/ http://www.3ders.org/articles/20140919-beijing-tiertime-launches-up-box-3d-printer.html</p>
<p>A l'occasion de la 3^e Digital Content Business Convention (30 mai - Beijing), TierTime présente une imprimante 3D à usage familial - Cette imprimante domestique, de la taille d'une machine à café, est vendue à un prix très abordable (6.000 ¥, soit 968 \$).</p>	<p>http://www.chinadaily.com.cn/beijing/2014-05/09/content_17550664.htm</p>	<p>09.05.14</p>
	 <p>Le groupe nord-américain Dover Group²⁸⁷ annonce un partenariat stratégique avec TierTime, afin d'assurer la distribution internationale des imprimantes 3D du fabricant chinois. Ce partenariat fait suite à la coopération nouée début 2014 entre OK International et Delta Micro Factory (PP3DP), des filiales respectives de ces deux groupes.</p>	<p>http://www.3ders.org/articles/20140109-dover-group-announces-strategic-investment-in-beijing-tiertimes-up-3d-printer-maker.html http://www.3ders.org/articles/20140325-ok-international-invests-in-pp3dp-to-co-develop-3d-printers.html</p>

²⁸⁷ Dover Group (Downers Grove, Illinois) est un acteur industriel global qui intervient dans 5 domaines: énergie, technologies de communication, impression et systèmes d'identification, solutions hydrauliques et équipement de restauration. Il réalise un CA de 8 MM\$ et emploie 35.000 salariés dans le monde entier.

FICHE N° 24 – XYZ PRINTING



- Entreprise créée en 2013 (Wei International Technology) (Kinpo Group)²⁸⁸
- Capital initial : 20 M US\$²⁸⁹
- Simon Chen (PdG)
- Bureaux en Corée, au Japon, en Chine, en Europe et aux USA
- 30 brevets en attente de validation (2013)
- http://us.xyzprinting.com/us_en/

CONTEXTE

<p>La maison-mère: New Kinpo Group</p> <p>New Kinpo constitue l'un des trois principaux sous-ensembles de Kinpo Group. Ce dernier, créé en 1973, est l'un des principaux acteurs de l'industrie électronique taïwanaise. Il dispose de 23 filiales, dont 7 sociétés cotées en bourse. Avec ses 120.000 salariés, il réalise un CA de l'ordre de 30 MM\$.</p> <p>Simon Shen a été nommé DG de New Kinpo en août 2008. Sous sa direction, l'entreprise veut développer la création de nouveaux produits, la réduction des coûts, la productivité et la qualité, ainsi que la logistique, dans 6 domaines d'activité principaux: l'électronique grand public, les périphériques d'ordinateurs, les communications, l'optoélectronique, la gestion de l'énergie et l'électronique embarquée pour le secteur automobile.</p> <p>Les activités de R&D disposent d'un budget annuel substantiel qu'exploitent 8.500 ingénieurs de haut niveau.</p>	<p>La "philosophie maison" vue par Simon Chen (13.04.15)</p> <p>http://3dprintingindustry.com/2015/04/13/executive-interview-simon-shen-ceo-of-xyzprintings-new-kinpo-group/</p> <p>« Il y a deux ou trois ans, lorsque j'évoquais la possibilité d'aborder le marché de l'impression 3D, de nombreux interlocuteurs me désapprouvaient, estimant que c'était trop tôt. Ils jugeaient le marché trop limité, trop aléatoire et fortement risqué. Pour eux, 10 ou 30 technologies d'impression 3D étaient en train d'être développées simultanément, et il était difficile de prévoir celle qui prévaudrait. Il fallait bien, pourtant, que quelqu'un se lance, et c'est la raison pour laquelle nous nous sommes décidés à agir. C'est ainsi que nous avons commencé, il y a dix-huit mois, à regrouper des ingénieurs dans le but de développer une imprimante 3D. C'est ainsi que nous avons mis au point la da Vinci FDM, puis la All-in-One da Vinci (qui comporte un scanner intégré) et, maintenant, la Nobel 1.0 ».</p>
---	---

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

1 – Les imprimantes 3D

« DA VINCI 1.0 » : LE MODÈLE « HISTORIQUE »
D'AUTRES MODÈLES DE LA GAMME (*)
(*) LA « NOBEL 1.0 » EST UNE IMPRIMANTE SLA, À HAUT NIVEAU DE RÉOLUTION (25 MICRONS)



To Buy a 3D Printer

da Vinci 2.0



da Vinci 2.1



Nobel 1.0



2 – Les autres produits commercialisés

XYZ fabrique également :

- des robots (humanoïdes), plutôt destinés à des fins d'éducation ou de loisirs,
- un « service robot » de télésurveillance, qui peut être actionné par smartphone ou par tablette,
- la BCX, vêtement « intelligent » destiné aux adeptes de l'aérobic (contrôle des fonctions cardiaques et respiratoires),
- le VeggieCube, un conteneur hydroponique qui permet d'obtenir, chez soi, des légumes frais sans être tributaire du cycle des saisons.

²⁸⁸ Voir : <http://www.3ders.org/articles/20130826-taiwan-kinpo-to-launch-3d-printers-sees-3-year-sales-topping-1-million-units.html> (26.08.13)

²⁸⁹ Voir : <http://www.taipetimes.com/News/biz/archives/2013/08/27/2003570649?sa=X&ved=0CDAQ9QEwDGoVChMllo-Wm5vzqxIVg-sUCh2-WQg7> (27.08.13)

La société propose également un « cloud personnel », qui permet aux utilisateurs de stocker et de partager, en toute sécurité, de gros volumes de données, ainsi que le XYZ Smart EZ Mate, réseau privé permettant d'accéder à certaines données sans avoir à recourir à un PC.

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
XYZprinting et D&H Distribution font connaître l'impression 3D dans les milieux éducatifs et auprès de ceux qui les fournissent	http://3dprintingmagazine.net/xyzprinting-and-dh-distribution-push-3d-printing-into-education-markets/	07.07.15
Chine continentale /Taïwan: Le géant Lenovo ²⁹⁰ fait savoir qu'il va assurer la commercialisation des imprimantes grand public fabriquées par XYZprinting, en intégrant celle-ci dans le cadre de son programme « ShenQi » (litt. L'usine magique).	http://3dprintingindustry.com/2015/06/08/tech-giant-lenovo-announces-distribution-of-xyz-3d-printers-under-shenqi-brand/	08.06.15
 Un scanner portable, à la fois low-cost (300 \$) et de qualité: XYZprinting exploite la technologie d'Intel – notamment sa caméra RealSense 3D - pour proposer aux utilisateurs un produit permettant d'obtenir aisément des images précises, facilement exploitables.	http://3dprintingindustry.com/2015/06/02/xyzprinting-announces-low-cost-handheld-3d-scanner-with-intels-realsense-camera/	02.06.15
 XYZprinting distingué à l'occasion du salon international Computex 2015: la nouvelle imprimante 3D da Vinci Junior a reçu, le 27 mai dernier, le label « Best Choice » dans sa catégorie (prix moyen de vente : 350 \$)	http://www.prnewswire.com/news-releases/xyzprinting-wins-best-choice-award-at-computex-taipei-300092225.html	02.06.15
 XYZ Printing collabore avec le FabLab de San Diego (qui fait partie du réseau mis en place par le MIT) pour susciter un engouement accru du public en faveur de l'impression 3D (prêts d'imprimantes aux étudiants sur une base mensuelle)	http://3dprintingindustry.com/2015/04/15/fablab-san-diego-teams-up-with-xyzprinting-for-free-3d-printing-workshops/	15.04.15
XYZprinting renforce la commercialisation de ses imprimantes low-cost en Europe: Les imprimantes 3D de type da Vinci Jr., da Vinci 1.1 Plus et Nobel 1.0 sont désormais disponibles via Amazon et eu.xyzp. La da Vinci Jr., adaptée aux débutants et aux écoles, est le modèle le moins onéreux (299 £). Le modèle Nobel 1.0 est vendu au prix de 1.299 £. (NB : Aux Etats-Unis, la marque est commercialisée via Amazon et BestBuy.com.)	http://inside3dprinting.com/taiwans-xyzprinting-expanding-sale-of-its-low-cost-3d-printers-into-europe/	23.03.15
XYZprinting fait la preuve de son savoir-faire en présentant sa dernière imprimante 3D à usage alimentaire. Fonctionnant selon un principe similaire au dépôt de filament fondu, l'appareil utilise, en lieu et place du plastique, du chocolat fondu, du glaçage ou de la pâte à pâtisserie.	http://www.globaltimes.cn/content/900888.shtml http://www.3ders.org/articles/20141114-taiwan-xyzprinting-launches-its-first-3d-food-printer.html	09.01.15 14.11.14
Au CES Las Vegas, XYZ printing présente sa nouvelle gamme d'imprimantes 3D low-cost	http://www.3dnatives.com/xyzprinting-lowcost-ces-2015/ http://www.3ders.org/articles/20150106-xyzprinting-unveils-affordable-fdm-da-vinci-junior-and-noble-1-sla-3d-printer-at-ces-2015.html?sa=X&ved=0CCMQ9QEwAGoVChMI7u2x06zzxgIVQdYUCh3HWA4	08.01.15

²⁹⁰ Aujourd'hui, 2^{ème} fabricant mondial de PC.

FAITS	SOURCE(S)	DATE
XYZprinting lance la première imprimante 3D intégrée ("Tout-En-Un") avec scanner incorporé, la Da Vinci 1.0 all-in-one (prix aux USA : 799 \$)	http://www.forbes.com/sites/rosatrieu/2014/10/29/taiwans-xyzprinting-launches-worlds-first-all-in-one-3d-printer-plus-scanner/	29.10.14
L'industrie mondiale de l'impression 3D converge sur Taïpeh en juin : ce « computer show » de 5 jours réunit 1.700 exposants (audience prévue : 130.000 visiteurs, dont 38.000 spécialistes des achats)	http://www.taipeitimes.com/News/biz/archives/2014/05/19/2003590678	19.05.14
XYZ Printing s'apprête à lancer 4 ou 5 nouveaux modèles d'imprimantes 3D, tout en commençant la prospection du marché US	http://www.taipeitimes.com/News/biz/archives/2014/03/04/2003584797	04.03.14

FICHE N° 25 – RICOH



- Ricoh Company Ltd
- Entreprise fondée en 1936 (Riken Sensitized Paper)
- Siège social à Tokyo (Ginza)
- Zenji Miura Président et CEO; Olivier Vriesendorp, Directeur du Marketing - Ricoh Europe
- CA 2014/2015 : 2.232 MM¥ (21,4 MM\$)²⁹¹
- Effectif : 110.000 collaborateurs (mars 2015)
- Filiale en France : Ricoh Industrie France S.A.S. (68920 -Wettolsheim)
- <https://www.ricoh.com/>

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES



Ricoh fabrique des produits électroniques (notamment des caméras), ainsi que du matériel de bureau (imprimantes, photocopieurs, fax, outils de stockage de données et projecteurs).

De la fin des années 90 au milieu de la décennie suivante, la société a connu une croissance importante, au point de devenir le plus grand fabricant mondial de copieurs. Pendant cette période, en effet, Ricoh a acquis successivement Savin, Gestetner, Lanier, Rex-Rotary, Monroe, Nashuatec, IKON et, plus récemment, IBM Printing Systems Division, Infoprint Solutions Company.

A l'instar de nombreuses autres entreprises japonaises²⁹², **Ricoh est « dans les starting-blocks » pour ce qui concerne la fabrication – en propre – d'imprimantes 3D.**

En fait, l'entreprise agit sur deux leviers à la fois :

- proposer une gamme de services avancés en matière de prototypage et d'accompagnement des clients: Ricoh utilise pour cela des imprimantes 3D fabriquées par Stratasys et par 3D Systems, qu'elle importe et qu'elle vend (en plus de leur fournir certains composants), ainsi que certaines solutions en matière de fabrication additive, qui sont commercialisées, en complément de leur matériel, par les fabricants américains,
- développer, à l'horizon 2016, à l'intention de fabricants de séries petites ou moyennes, un (des) modèle(s) d'imprimante(s) 3D destinés à réaliser des pièces pour l'industrie automobile ou pour certaines machines, la gamme de prix s'établissant entre 47.000 \$ et 190.000 \$. C'est ainsi que Ricoh a annoncé²⁹³, en septembre dernier, l'ouverture de deux unités "Ricoh Rapid Fab" [localisées à Yokohama et à Atsugi (Kanagawa)], qui seront spécifiquement chargées de la recherche dans ce

²⁹¹ Voir : <https://www.ricoh.com/about/company/data/>

²⁹² Selon Nikkei, une « alliance nationale » s'est nouée entre des acteurs industriels puissants du pays (27 entreprises telles que Panasonic, Nissan ou Kawasaki), des universités et les autorités publiques, dans le but de prendre pied sur le marché mondial, non pas en réalisant des figurines ou des gadgets, mais bel et bien en produisant des pièces complexes à base de titane pour le secteur médical ou l'industrie aéronautique.

Le gouvernement aurait en effet prévu d'investir, en 2014, 36,5 M\$ dans la R&D consacrée à ce domaine, chaque groupe industriel apportant de son côté un complément de financement. L'idée consistait – apparemment - à approfondir les possibilités offertes par les poudres métalliques fondues. Il était prévu que cette recherche aboutisse en 2015, les équipements spécialisés déclinés à partir de cette avancée n'apparaissant sur le marché qu'en 2019 au plus tôt. (<http://www.engadget.com/2014/04/02/japan-3d-printer-alliance/> et « Trying to change the world of manufacturing with 3-D metal printers » (08.02.15) : <http://asia.nikkei.com/Tech-Science/Tech/Trying-to-change-the-world-of-manufacturing-with-3-D-metal-printers>).

²⁹³ http://www.ricoh.com/release/2014/0908_1.html (08.09.14)

domaine. Dans un premier temps, la commercialisation (via Ricoh Japan Corporation) des produits finis sera limitée au marché japonais, en attendant une diffusion internationale, une fois ces premiers pas accomplis.

Cette stratégie permet à Ricoh de prendre la mesure effective du marché (en tirant parti de l'avance acquise par ses concurrents), tout en investissant en vue de proposer une offre alternative, afin de prendre de vitesse ses challengers japonais (Canon ou Seiko Epson).

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
Ricoh signe un accord avec le fabricant néerlandais d'imprimantes 3D Leapfrog, dont il devient le revendeur en Europe (en commençant par le Benelux, l'Allemagne et le Royaume-Uni)	http://3dprint.com/38720/ricoh-as-leapfrog-3d-printer-resellers/	21.01.15
Où en est-on de l'impression 3D au Japon ? Panorama succinct à l'occasion du salon « Inside 3D Printing » de Tokyo (NB : voir le cas de la société ASPECT, l'une des rares « survivantes » des années d'avant la crise)	http://3dprintingindustry.com/2014/09/22/inside-3d-printing-event-big-hit-tokyo-review/	22.09.14
Ricoh rentre dans l'arène de l'impression 3D en revendant des imprimantes fabriquées par d'autres, tout en développant des modèles propres. L'objectif de CA annuel que s'est fixé le groupe dans ce domaine serait de l'ordre de 2,8 MM\$.	http://3dprint.com/14451/ricoh-3d-printers-japan/ http://www.3ders.org/articles/20140908-japan-ricoh-to-enter-3d-printer-market.html http://3dprintingindustry.com/2014/09/22/ricoh-formally-makes-jump-3d-printing-aas-now/	08.09.14
Stratasys révèle que Ricoh Printing Systems America, Inc. (Ricoh) est son fournisseur exclusif des têtes d'impression qui équipent ses modèles d'imprimantes 3D PolyJet	http://wirthconsulting.org/2014/01/03/top-news-for-the-week-of-12302013-ricoh-supplying-3d-print-heads-top-stories-of-2013-more/	03.01.14



FICHE N° 26 - ROKIT



- Siège social à Séoul
- Dirigeant : Seok Hwan You PdG (ancien de GM Daewoo, puis de Tyco International et de Celltrion)
- Effectif : 50 (?) (juin 2014)²⁹⁴
- <http://www.3disonprinter.com/>
- <http://www.rokit.co.kr/>

CONTEXTE : LA PHILOSOPHIE DE L'ENTREPRISE

« ROKIT, Inc. est le principal fabricant d'imprimantes 3D en Corée. C'est également une entreprise innovatrice, qui se préoccupe de formation, de design, de R&D et de transformation de la chaîne logistique. Elle cherche à mettre au point une "3D ECO-Life", dans laquelle l'impression 3D sert à améliorer la vie, les idées et la création de produits à haute valeur ajoutée. ».

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES

ROKIT Inc., qui indique exporter déjà ses équipements dans 30 pays, propose une gamme de produits à vocation mixte (usage bureautique ou « professionnel ») : 3DISON Multi, PRO, H700, AEP (Advanced Engineering Plastics), S, Dental and JJ1230²⁹⁵ :



La gamme 3DISON – Comparaison coût/performances

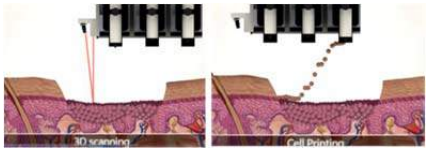


Source : www.3ders.org (avril 2014)

²⁹⁴ Données extraites de l'article suivant (23.06.14) : <http://www.inside3dp.com/asia-poised-to-take-3d-printing-industry/>

²⁹⁵ Cette gamme inclut également la3Dison 'Chocosketch', présentée au dernier CES de Las Vegas en janvier 2015.

DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
	<p>Rokit reçoit des autorités coréennes une dotation de 3 M\$ pour mettre au point un procédé de régénération des cellules de la peau par impression 3D : http://3dprintingindustry.com/2015/07/22/korean-printer-manufacturer-rokit-preps-launch-into-bioprinting/</p>	22.07.15
<p>La prochaine étape du développement de Rokit dans le domaine de l'impression 3D inclut la SLA, mais aussi quelques projets philanthropiques (dont la plate-forme Youniverse, qui mêlera information, sensibilisation...et motivation)</p>	<p>http://3dprintingindustry.com/2015/05/25/rokits-next-stage-for-3d-printing-involves-sla-developed-countries-the-youniverse/</p>	25.05.15
<p>Litige au sommet chez les fabricants coréens d'imprimantes 3D : le PDG de Rokit poursuit un de ses anciens salariés, fondateur de la société concurrente Moment, pour avoir exploité dans ce nouveau cadre, des recherches effectuées pour le compte de Rokit</p>	<p>http://3dprintingindustry.com/2015/04/11/a-rokit-attack-and-a-moment-to-recover-in-the-korean-3d-printing-industry/</p>	11.04.15
<p>Félicitations et coup de pouce du gouvernement pour Rokit, à l'occasion de la visite de plusieurs membres du gouvernement, dont le Ministre de la Stratégie et des Finances publiques, Mr. Choi Kyung-Hwan. (NB : Celui-ci a rappelé le caractère stratégique de ce type d'industrie, en indiquant que le gouvernement réfléchissait à la mise en place d'un site dédiée de R&D, qui pourrait être utilisé par les industriels de ce secteur à des fins d'expérimentation.)</p>	<p>http://3dprintingindustry.com/2015/02/05/south-korea-3d-printing-rokit-gets-government-boost/</p>	05.02.15
<p>Rokit annonce le lancement effectif de trois produits « phase » de la série 3Dison, qui bénéficient de la certification appropriée, aussi bien en Corée, qu'en Europe ou aux-Etats-Unis</p>	<p>http://www.3ders.org/articles/20140414-rokit-unveils-three-new-3d-printers.html</p>	14.04.14
<p>Rokit fait sa promotion auprès des représentants du secteur médical</p>	<p>http://internetmedicine.com/2014/04/02/oo-seok-hwan-ceo-of-rokit-gives-a-heart-to-heart/</p>	02.04.14



Une initiative éducative originale en faveur de la sensibilisation et de l'emploi des jeunes : « Youniverse »
 Afin de rendre l'écosystème de l'impression 3D familier aux jeunes, Rokit a prévu de mettre en place une plate-forme électronique, permettant d'accéder à un contenu dédié à ce sujet, ainsi qu'à un centre de service. Cette plate-forme serait alimentée par des volontaires, de telle sorte qu'ils puissent faire la preuve de leur dynamisme et de leur talent

FICHE N° 27 – SHAREBOT



- Entreprise créée en 2011
- Forme juridique : Sarl
- Siège social à Nibionno, près de Milan
- Arturo Donghi, CEO
- Effectif : 18 salariés (?)
- 50 revendeurs en Italie + 10 dans 8 autres pays européens
- www.sharebot.it

GAMME DE PRODUITS ET SERVICES




- ShareBot a pris le parti de développer un large éventail de technologie, plutôt que de se concentrer sur une seule : du FDM avec les modèles Kiwi, Next Generation ou XXL, de la stéréolithographie avec la Voyager, du DLP avec la J-3D et enfin du SLS avec la SnowWhite.
- Plus récemment, l'entreprise a également lancé la ShareBox 3D, une petite box permettant de surveiller et gérer à distance son imprimante 3D.
- Une imprimante SLS low-cost est attendue pour la fin 2015.

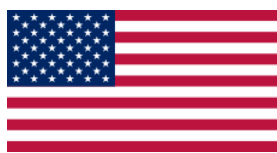
LA NG (« NEXT GENERATION » XXL :
LE FLEURON DE LA GAMME

EXEMPLES DE PRODUITS RÉALISÉS VIA L'ÉQUIPEMENT FABRIQUÉ PAR SHAREBOT



DÉVELOPPEMENTS 2014-2015 (RÉTRO-CHRONOLOGIE)

FAITS	SOURCE(S)	DATE
 <p>Sharebot annonce la livraison prochaine d'imprimantes 3D SLS low-cost: le modèle SnowWhite pourrait être vendu, pendant la phase de lancement, au prix spécial de 17.500 €. (voir ce qui avait été indiqué à ce sujet à l'été 2014) « Progetto SnowWhite, la storia continua ! »</p>	<p>http://3dprintingindustry.com/2015/07/15/it-is-snowing-in-july-as-sharebot-announces-low-cost-sls-3d-printer-deliveries/</p> <p>http://www.zesmallfactory.com/news/sharebot-imprimante-3d-sls-low-cost/</p>	15.07.15
<p>Sharebot commercialise deux nouveaux types de filaments spécialement conçus pour l'impression 3D : Nylforce 550 et Nylon-Carbon</p>	<p>http://3dprint.com/76753/sharebot-new-nylon-filaments/</p>	26.06.15
 <p>Sharebot assure la promotion de ses produits en Allemagne via Fabcon 3D (Erfurt)</p>	<p>http://www.sharebot.it/index.php/eventi/sharebot-de-debutta-fabcon-3-d-erfurt-2/</p>	Juin 2015
<p>Sharebot inaugure sa filiale en Allemagne, Sharebot.de, à travers laquelle l'entreprise veut promouvoir le « Made in Italy ». Le projet a été mené en collaboration avec un important revendeur berlinois d'imprimantes 3D, Dimension Alley. Voir : http://www.sharebot.de/</p>	<p>http://3dprintingindustry.com/2015/05/25/now-sharebot-3d-drucken-manufacturer/</p>	25.05.15
 <p>Sharebot présente Voyager, sa 1^{ère} imprimante 3D de type DLP, ainsi qu'une gamme complète de résines (SHARE) (voir ci-contre des exemples de produits réalisés avec cet équipement)</p>	<p>http://3dprint.com/65666/sharebot-voyager-dlp-resins/</p>	15.05.15
<p>Le point de vue du Laboratoire 3Dnatives - Test de l'imprimante 3D ShareBot Next Generation (prix de vente : 2.220 €).</p>	<p>http://www.3dnatives.com/test-sharebot-next-generation/</p>	26.02.15
<p>Sharebot fait appel au crowdfunding (via Indiegogo) pour financer la Sharebox3D, qui doit aider ses utilisateurs à gérer, à visualiser et à partager leurs fichiers d'impression 3D.</p>	<p>http://3dprint.com/36290/sharebox3d-workflow-app/</p>	09.01.15
 <p>Sharebot et l'organisation caritative OBM initiative s'associent dans le secteur des technologies médicales utilisant l'impression 3D</p>	<p>http://www.3ders.org/articles/20141207-sharebot-and-obm-initiative-partner-up-to-develop-3d-printed-biomedical-technology.html</p>	07.12.14
<p>Deux jours après avoir annoncé la mise sur le marché de son imprimante XXL, Sharebot dévoile son projet SnowWhite, qui doit aboutir à la fabrication d'une imprimante 3D de type SLS dont le prix sera inférieur à 20.000 \$.</p>	<p>http://www.3ders.org/articles/20140829-sharebot-unveils-project-snowwhite-plan-sls-3d-printer.html</p>	29.08.14
<p>L'impression 3D en pleine floraison en Italie – L'américain Formlabs et le lombard Sharebot mettent au point une nouvelle organisation de leur réseau de distribution – Sharebot choisit Pico, spécialisé dans la distribution de solutions électroniques aux entreprises, à l'échelle nationale, et expert en service de proximité (démonstrations, ateliers, etc.).</p>	<p>http://3dprint.com/80948/italy-3d-printer-distribution/</p>	13.07.13



TECHNOLOGIES ADDITIVES – PANORAMA INTERNATIONAL Etats-Unis

CONTEXTE

A la suite des travaux-pilotes de Kojima, Swainson et Kodama menés dans les années 1951 à 1981, la véritable recherche sur la stéréolithographie a été menée parallèlement aux Etats-Unis (et en France²⁹⁶ !). Mais c'est entre 1982 et 1989 que la dynamique s'est accélérée aux USA, avec :

- la création de 3D Systems et de Stratasys (les acteurs « historiques » du secteur), - l'implication accrue des milieux universitaires (en particulier le MIT, qui met au point, en 1993, le procédé 3DP – Three Dimensional Printing), - le lancement du prototypage rapide et l'utilisation de la fabrication additive pour la réalisation de moules.

Cette avance historique a incontestablement servi aux Etats-Unis à s'assurer, depuis cette époque, un leadership international dans ce secteur. Ces dernières années, pourtant, certains observateurs ont fait état d'un fléchissement relatif de l'avance américaine. De fait, la baisse du nombre de fabricants aux Etats-Unis pourrait laisser penser que ce pays perd progressivement sa position privilégiée sur le marché des systèmes d'impression 3D de qualité professionnelle.

Toutefois, cette baisse du nombre de fabricants s'explique plutôt par un phénomène de concentration des entreprises leaders (ex. rachat de MakerBot par Stratasys) et par la volonté de privilégier la recherche d'applications de plus en plus sophistiquées, sources de nouveaux débouchés et d'une plus-value encore plus importante.

LES INSTRUMENTS DE POLITIQUE PUBLIQUE

► La phase-pilote (1998-2010) :

Les autorités américaines ont été sensibilisées assez tôt à l'intérêt que présentaient ces nouvelles technologies et à leur caractère stratégique en termes de compétitivité. Après une première « Roadmap » expérimentale rendue publique en 1998, une feuille de route actualisée a été dévoilée en 2009²⁹⁷, à la suite d'un atelier réunissant les représentants des principaux ministères et agences concernés. La philosophie qui sous-tend cette politique est résumée ci-après :

“One of the keys to ensuring the affordability of AM in relation to conventional manufacturing is the reduction in machine, material and servicing costs. The high costs associated with the industry, again, come from the rapid prototyping legacy where volumes are low and higher margins are acceptable. One train of thought is to produce simpler machines that are cheaper to manufacture, though equally, scale of sales will also drive down costs. Scaleable, continuous flow and faster systems would be advantageous. Additionally, moving away from pointcure / melt systems, which are inherently slow, to line/mask based systems would speed up processing and lower costs. It should be recognized that AM is not a panacea, and the correct identification of appropriate parts that can/could be manufactured is essential. There will be parts that are suitable for AM, parts that are competitive with conventional techniques and some parts that can only be manufactured additively – it is these last two categories that should be pursued, but a robust methodology for identifying these applications should be investigated.

Parallèlement aux efforts mis en œuvre par les entreprises-pilotes, la recherche publique a accru son soutien à ce secteur, via notamment l'action de la National Science Foundation (NSF)²⁹⁸, qui finance environ le quart des projets de recherche

²⁹⁶ Pourtant déposé trois semaines avant celui de Chuck Hill, le fondateur de 3D Systems, le brevet français de MM. Le Méhauté, de Wiite et André n'a pas pu être exploité ensuite à grande échelle en tirant parti de cet avantage... car les frais de maintien de dossier n'ont pas été renouvelés !!!

²⁹⁷ <http://wohlersassociates.com/roadmap2009.pdf>

²⁹⁸ The National Science Foundation (NSF) is an independent federal agency created by Congress in 1950 "to promote the progress of science; to advance the national health, prosperity, and welfare; to secure the national defense..." With an annual budget of \$7.3 billion

publique aux Etats-Unis et encourage les transferts de résultats de recherche universitaire à l'industrie, avec l'objectif de permettre des développements technologiques à long terme. Parallèlement aux efforts mis en œuvre par les entreprises-pilotes, la recherche publique a accru son soutien à ce secteur, via notamment l'action de la National Science Foundation (NSF)²⁹⁹, qui finance environ le quart des projets de recherche publique aux Etats-Unis et encourage les transferts de résultats de recherche universitaire à l'industrie, avec l'objectif de permettre des développements technologiques à long terme.

► Lutter contre la baisse de l'emploi industriel : l'impulsion déterminante du gouvernement Obama

Fin juin 2011, à l'université Carnegie Mellon, le Président B. Obama introduit pour la première fois un nouveau programme national voué à promouvoir les partenariats industriels. Elaboré pour améliorer la compétitivité et l'innovation industrielle du pays, le « partenariat pour une industrie manufacturière de pointe » (AMP pour Advanced Manufacturing Partnership) doit se concentrer sur la conception des technologies de demain et la mise au point de nouvelles méthodes de production. Dotée à l'origine d'un portefeuille de 500 MM\$, cette initiative a pour objectif de faire de l'industrie manufacturière américaine un secteur à nouveau compétitif tout en stimulant la création d'emplois.

Cette initiative fait suite à la publication, en juin 2011, d'un rapport des Conseillers Scientifiques du Président (President's Council of Advisors on Science and Technology³⁰⁰). **Ce rapport dresse un tableau alarmiste de l'industrie manufacturière aux Etats-Unis**, tout particulièrement sur la thématique des biens de haute-technologie.

Le secteur a en effet une importance stratégique pour le pays : il représente plus de 160 MM\$ de valeur ajoutée (soit 12% du PIB des Etats-Unis) et plus de 11% des emplois (soit 11,5 millions). L'industrie manufacturière américaine est historiquement tournée vers l'innovation puisque les deux tiers des dépenses privées de recherche et développement lui bénéficient directement. **Mais le secteur a subi la crise de plein fouet et, dépassé par la Chine et l'Allemagne depuis 2009**, la situation a entraîné une réduction rapide de compétitivité accompagnée d'une disparition massive d'emplois.

- Conscient de la nécessité de relancer l'emploi industriel affecté par la crise économique internationale, le Président Obama a lancé une vaste campagne (« We can't wait ! »)³⁰¹, visant à faire pression sur le Congrès. Elle était assortie d'un plan ambitieux de 447 MM\$ visant à soutenir massivement la création d'emploi dans le courant l'année 2012.
- Concrètement, cela s'est traduit, notamment, en termes de méthode, par le développement de nouveaux partenariats public-privé destinés à faire coopérer entreprises, universités et établissements d'enseignement supérieur³⁰².

► L'accent mis sur la fabrication industrielle de pointe (« Advanced Manufacturing ») (2011-2014)

Sur le plan technique, les autorités américaines, conseillées par le PCAST, ont décidé de se donner les moyens de renforcer l'avantage concurrentiel national que peuvent apporter ces activités.

Il en est résulté un document stratégique³⁰³, dont le titre, dépourvu d'ambiguïté, confirme la volonté publique d'investir massivement dans ce levier de compétitivité.

Entre la parution de ce rapport et l'été 2012, l'Advanced Manufacturing Partnership (AMP)³⁰⁴ a produit, en juillet 2012, une contribution qui sert de référence, ainsi que des recommandations, assez fondamentales, car elles dépassent les enjeux du secteur *stricto sensu* :

(FY 2015), we are the funding source for approximately 24 percent of all federally supported basic research conducted by America's colleges and universities. In many fields such as mathematics, computer science and the social sciences, NSF is the major source of federal backing. Voir : <http://www.nsf.gov/about/>

²⁹⁹ The National Science Foundation (NSF) is an independent federal agency created by Congress in 1950 "to promote the progress of science; to advance the national health, prosperity, and welfare; to secure the national defense..." With an annual budget of \$7.3 billion (FY 2015), we are the funding source for approximately 24 percent of all federally supported basic research conducted by America's colleges and universities. In many fields such as mathematics, computer science and the social sciences, NSF is the major source of federal backing. Voir : <http://www.nsf.gov/about/>

³⁰⁰ Le Président des Etats-Unis peut, en matière de science et de technologie, compter sur les recommandations stratégiques d'une instance *ad hoc*, le PCAST (The United States President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST), mis en place par le Président Bush fin 2001 et reconduit, moyennant actualisation de ses missions, par le Président Obama, en avril 2010. Ses membres représentent chaque grande administration et ils disposent d'une grande latitude pour apporter leurs conseils au chef de l'Etat: http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast_amp_steering_committee_report_final_july_17_2012.pdf

³⁰¹ Initiative "We can't wait" (24.10.2011) : <http://www.theguardian.com/world/2011/oct/24/obama-jobs-campaign-congress>

³⁰² We Can't Wait: Obama Administration Announces New Public-Private Partnership to Support Consortium of Businesses, Universities, and Community Colleges (16.08.2012): <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2012/08/16/we-can-t-wait-obama-administration-announces-new-public-private-partners>

³⁰³ Report to the President on ensuring American leadership in Advanced Manufacturing (juin 2011) : <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-advanced-manufacturing-june2011.pdf>

Saisir l'avantage concurrentiel national dans la fabrication de pointe

Rapport du Comité de partenariat directeur concernant la fabrication de pointe (AM) Juillet 2012

Pour que la fabrication de pointe prenne de l'essor aux États-Unis, il est nécessaire qu'un partenariat puisse être engagé entre les entreprises, les professeurs, les employés mais aussi l'État fédéral les gouvernements locaux.

Le Comité de partenariat directeur concernant la fabrication de pointe (AM) a, en 2012, proposé une stratégie nationale qui permettra à ce secteur de fabrication de pointe de renaître durablement dans l'économie aux États-Unis et d'accroître leur compétitivité. Les mesures proposées permettront à toutes les entreprises de se positionner sur le secteur de l'innovation y compris les petites et moyennes en entreprises souvent exclues de ce secteur.

Cette stratégie nationale comprend 16 recommandations autour de trois piliers : 1) faciliter l'innovation ; 2) sécuriser le vivier de talents, 3) améliorer le climat des affaires.

1) Faciliter l'innovation

- ▶ Établir et de maintenir une stratégie nationale de fabrication de pointe en mettant en place un processus systématique pour identifier et prioriser les technologies transversales critiques.
- ▶ Augmenter financement de la recherche et du développement dans les premières technologies transversales. En plus, d'identifier une «liste de départ» de technologies transversales qui sont essentiels à la fabrication de pointe, le Comité de partenariat directeur propose un processus d'évaluation de financement des technologies de recherche et développement.
- ▶ Mettre en place un réseau national d'instituts de l'innovation de production : Il est proposé la formation de ces instituts par des partenariats public-privé pour favoriser les écosystèmes régionaux dans les technologies de fabrication de pointe. Ces instituts sont un moyen pour intégrer beaucoup des recommandations du Comité.
- ▶ Valorisation accrue de Industrie / Collaboration avec Université de recherche de technologie de pointe : Le Comité directeur AMP recommande un changement dans le traitement des installations obligatoires financées en franchise d'impôt dans les universités qui permettra à ces dernières de travailler plus étroitement avec l'industrie.
- ▶ Favoriser un environnement plus solide pour la commercialisation de technologies de fabrication avancées: Le Comité de partenariat directeur recommande que des mesures soient prises pour associer les fabricants aux universités pour les écosystèmes d'innovation des universités et créer un continuum d'un accès aux capitaux pour permettre un démarrage à grande échelle
- ▶ Mettre en place un portail national de fabrication de pointe: Le Comité de partenariat directeur recommande qu'une base de données consultable des ressources de fabrication soit créée comme un mécanisme clé pour favoriser l'accès des petites et moyennes entreprises à l'infrastructure (enabling)

2) Sécuriser le vivier de talents

- ▶ Corriger les idées fausses publiques à propos de la fabrication: Construire un intérêt pour les carrières dans le secteur manufacturier est un besoin national essentiel. Une campagne de publicité est recommandée par le Comité de partenariat directeur comme une étape importante.
- ▶ Puiser dans le pôle de talents des soldats de retour des théâtres d'opérations militaires : Ces soldats possèdent de nombreuses compétences clés nécessaires pour combler le déficit de talents dans le secteur de la fabrication. Le comité de partenariat directeur fait des recommandations spécifiques sur la façon d'établir un lien entre ces anciens soldats et les offres d'emploi liées au secteur de la fabrication.
- ▶ Investir sur le niveau de la formation des « Community collègue ». Le niveau de ces « community collègue » est le "sweet spot" pour réduire le déficit de compétences dans le secteur de la production. L'idée est d'augmenter les investissements dans ce secteur en suivant les meilleures pratiques des principaux innovateurs.
- ▶ Développer des partenariats pour fournir des compétences en matière de certifications et accréditations : portabilité et modularité du processus d'accréditation dans la fabrication de pointe est essentielle pour permettre une action coordonnée des organisations qui alimentent le réservoir de talents. Le Comité de partenariat directeur soutient la création de qualifications superposées (stackable credentials)
- ▶ Renforcer les programmes de l'Université dans le secteur de la fabrication de pointe: Le Comité de partenariat directeur recommande que les universités apporte une attention au secteur de la fabrication de pointe à travers le développement de modules éducatifs et de cours.
- ▶ Lancement national de bourses d'études et de stages liés à la production. Le Comité de partenariat directeur soutient la création de bourses et de stages nationaux dans la fabrication de pointe afin d'apporter les ressources nécessaires, avec une plus grande reconnaissance nationale aux possibilités de carrière dans le secteur de la fabrication.

³⁰⁴ http://energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/february_2012_webcast_for_industry_0.pdf

Mis sur pied en juin 2011, l'AMP a été renforcé, sous la nouvelle dénomination d'AMP 2.0, en septembre 2013. Il réunit 18 leaders industriels nationaux et le Président du MIT : <http://manufacturing.gov/amp.html>

3) Améliorer le climat des affaires

► Adopter la réforme fiscale: Le Comité de partenariat directeur recommande un ensemble de réformes fiscales spécifiques qui peuvent « level the playing field » pour les fabricants nationaux.

► Rationaliser la politique réglementaire: Le Comité de partenariat directeur recommande un cadre de réglementation plus intelligente relatif à la fabrication de pointe

► Améliorer la politique commerciale: Les politiques commerciales peuvent avoir un impact négatif sur les entreprises de fabrication de pointe aux États-Unis. Le Comité de partenariat directeur recommande des actions concrètes qui peuvent être prises pour améliorer la politique commerciale

► Mettre à jour la politique énergétique: Le secteur manufacturier est un grand consommateur d'énergie, et par voie de conséquence, les politiques énergétiques nationales peuvent avoir un profond impact sur la compétitivité globale. Le Comité de partenariat directeur fait des recommandations de politiques spécifiques concernant les questions énergétiques d'importance dans le secteur de la production.

Avec une attention soutenue, l'alignement des intérêts, et une action coordonnée pour mettre en œuvre les recommandations évoquées, les États-Unis peut et va conduire le monde dans la fabrication de pointe. Déjà aujourd'hui, il y a des exemples de nouvelles technologies de fabrication issues de laboratoires de recherche qui auront un effet transformateur sur la fabrication de pointe qui se fait aux États-Unis. **Ensemble, le gouvernement, l'industrie et le milieu universitaire doivent s'engager à réinventer la base de fabrication nationale pour assurer l'avenir des États-Unis.**

Sur le plan opérationnel, un Institut spécifiquement dédié à l'AM (NAMII), a été créé en août 2012 pour soutenir le développement du secteur. Il a été implanté à Youngstown (Ohio), dans le « TechBelt », qui relie Cleveland à Pittsburgh (voir annexe). Sa dénomination a été complétée, en octobre 2013, par le label « America Makes », dont la valeur de slogan est particulièrement explicite.



America Makes: National Additive Manufacturing Innovation Institute (NAMII):
<https://americamakes.us/>

Tutelle: National Center for Defense Manufacturing & Machining (NCDMM)
Membres/Partenaires: 50 entreprises, 28 universités et laboratoires associés et 16 autres organisations.
Dotation financière fédérale : 50 M\$
Mission : Favoriser l'adoption accélérée des technologies d'AM et d'impression 3D par le secteur manufacturier US, afin de renforcer la compétitivité nationale de ce secteur.
Appels à projets périodiques:
<https://americamakes.us/engage/projects>

► Le renforcement de la stratégie (depuis 2014)

La stratégie globale en faveur de l'industrie manufacturière a été apparemment payante puisque ce secteur aurait, selon la Maison Blanche, (re)créé 700.000 emplois entre 2010 et 2014³⁰⁵.

Fort de ce succès, sans remettre en question ce qui avait été établi précédemment, le Président B. Obama a délibérément souhaité renforcer la compétitivité de l'industrie US, dans une perspective –très combative- de développement des capacités existantes et des compétences mobilisables :

“We also have the chance, right now, to beat other countries in the race for the next wave of high-tech manufacturing jobs. My administration has launched two hubs for high-tech manufacturing in Raleigh and **Youngstown (cf supra)**, where we've connected businesses to research universities that can help America lead the world in advanced technologies. Tonight, I'm announcing we'll launch six more this year.” (Discours du Président B. Obama sur l'état de l'Union – 28.01.2014).

Dans ses discours sur l'état de l'Union de 2013³⁰⁶ et de 2014³⁰⁷, le Président Obama a lui-même appelé à la création d'un réseau national dédié à l'innovation en matière de manufacturing³⁰⁸ (NNMI), afin de faire progresser les technologies et les procédés dans ce domaine-clé. Il a demandé au Congrès d'autoriser, sous forme de partenariat public-privé, l'investissement nécessaire à la création d'un réseau initial de 15 structures de ce type (avec, en perspective, un triplement du nombre de ces structures à l'horizon de dix ans)³⁰⁹.

Ces dispositions ont été validées à travers le « Revitalize American Manufacturing Act”.

► Les dernières accélérations (octobre 2014)

Un nouveau rapport du PCAST a été rendu public en octobre 2014³¹⁰. Sa formulation est très claire : il ne suffit plus de mettre en place; il faut accélérer le processus, en augmentant les moyens disponibles.

C'est ainsi que le Président a décidé, outre le fait d'encourager massivement l'efficacité énergétique pour faire baisser les coûts des industriels : - d'étoffer le réseau NNMI, en le dotant de 4 centres supplémentaires, - **de consacrer 1 MM\$ à la formation des salariés et des techniciens³¹¹**, - **d'augmenter les investissements fédéraux en R&D dans ce secteur, afin de les porter à près de 2MM\$** (soit plus de 34% de plus que la dotation 2011, qui était de 1,4 MM\$).

Sur le plan pratique, le programme national en matière d'AM est géré par un office *ad hoc*, l'AMNPO, qui regroupe des représentants des agences fédérales compétentes, des universités et d'entreprises du secteur, avec deux missions principales :

- Convening and enabling industry-led, private-public partnerships focused on manufacturing innovation and engaging U.S. universities, and
- Designing and implementing an integrated whole of government advanced manufacturing initiative to facilitate collaboration and information sharing across federal agencies.

Grâce à cette coordination des programmes et des ressources budgétaires fédérales, l'AMNPO est en mesure de favoriser les transferts de technologies au sein des entreprises US, tout en les aidant à surmonter les obstacles techniques liés à la montée en puissance de ces technologies. Voir : <http://manufacturing.gov/amnpo.html>

³⁰⁵ Voir les fiches suivantes, qui font état de comparaisons internationales (incluant la France) :

<http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/docs/manufacturingchartsfactsheet.pdf>

³⁰⁶ <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/02/12/remarks-president-state-union-address> (12.02.2013)

³⁰⁷ <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2014/01/28/president-barack-obamas-state-union-address> (28.01.2014)

³⁰⁸ Le NNMI (National Network for Manufacturing Innovation). Sa “philosophie” est présentée en annexe. **Le NIST a demandé un budget de 150 M\$ pour soutenir le NNMI en 2016.**

³⁰⁹ En fait, fin janvier 2015, cinq de ces centres (dont le NAMII) sont opérationnels, et trois autres sont bien avancés dans leur processus de création. Ce dispositif de 8 centres a coûté, à ce stade, 1MM\$ sous forme de partenariat public-privé : <http://manufacturing.gov/docs/Institutes-Summary.pdf>

³¹⁰ http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/amp20_report_final.pdf

³¹¹ President Obama Announces New Actions to Further Strengthen U.S. Manufacturing (27.10.2014): <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2014/10/27/fact-sheet-president-obama-announces-new-actions-further-strengthen-us-m>

In February 2014, the NNMI launched the Digital Manufacturing and Design Innovation Institute, located in Chicago, Ill., and led by UI Labs. This institute includes 73 companies, universities, nonprofits, and research labs working together to address the life cycle of digital data interchanged among myriad design, engineering, manufacturing and maintenance systems, and flowing across a networked supply chain. Voir:

<http://manufacturing.gov/nnmiandnist.html>

Annexes

1 – Etat de New-York : la mobilisation réussie de tous les acteurs en faveur de l'innovation via le 3D (« Join the revolution ! »)



Le 25 septembre 2014, le Gouverneur Andrew M. Cuomo a annoncé un plan en faveur de l'innovation, doté d'un budget de 55 M\$. Sur cette enveloppe, **10 M\$** vont être consacrés à un **Engineering Innovation Hub** piloté par **SUNY (State University of NY)**. Cette structure, implantée sur **2.000 m²**, devrait permettre de créer **200 emplois à plein temps** et de former, sur une période de **10 ans**, quelque **300 ingénieurs spécialisés dans les secteurs de l'Advanced Manufacturing et de l'impression 3D** :

<http://www.newpaltz.edu/3d/index.php#cuomo>

Ce projet vient conforter le travail déjà réalisé par SUNY New Paltz qui, en mai 2013, a lancé, en collaboration avec MakerBot, la « **Hudson Valley 3D Printing Initiative** », qui a permis de regrouper les compétences en un lieu unique, équipé d'un parc de machines 3D ultra-moderne, et enrichi de nombreux partenariats industriels : <http://www.hudsonvalley3dprinting.com/>

Ces recherches ont, par exemple, abouti à la mise au point réussie d'une prothèse de main pour un enfant handicapé, habitant de l'Etat : <http://www.newpaltz.edu/3d/news.html>

Ce laboratoire a d'ailleurs reçu, de la part du Sénateur J. Bonacic, un financement complémentaire de 850.000 \$ en septembre 2014 : <http://www.nysenate.gov/press-release/senator-john-bonacic-secures-state-funding-suny-new-paltz-funds-will-support-growing-0>

Témoignages :

* "The Hudson Valley Advanced Manufacturing Center at SUNY New Paltz is the home of this exciting program. The 3D Printing Initiative has grown considerably in the last year. This capital funding allows the College to provide much needed space and strategically locate resources in a high-traffic area where more students, faculty and staff would have greater access." (Sénateur J. Bonacic)

* "SUNY New Paltz has once again set **an example for the entire state on how a college can innovate into the 21st Century**, and the nearly 200 jobs and \$75 million investment that will result from the State's \$10 million investment will do absolute wonders for Ulster County. When government works as it should, the people get results – and that is what we are seeing today, thanks to Governor Cuomo, the State Legislature and Chancellor Nancy Zimpher." (Ulster County Executive Mike Hein)

L'Etat entier est mobilisé sur de tels développements, qui associent structures publiques et entreprises privées. A titre d'exemple, on peut citer :

* Le « Buffalo High-Tech Manufacturing Innovation Hub » de RiverBend, mis en place en novembre 2013 avec le concours de fonds publics: <https://www.governor.ny.gov/news/governor-cuomo-announces-new-york-state-build-high-tech-manufacturing-complex-buffalo>

* Les recherches menées par Harbec Inc., fabricant de pièces métalliques et en plastique, qui ont été subventionnées, en mars dernier, à hauteur de 400.000 \$ par le NYSERDA (State Energy Research and Development Authority), dans le but de développer, grâce aux technologies 3D, des moules high-tech permettant de réduire la consommation d'énergie : http://www.harbec.com/wp-content/uploads/2014/08/nyserdaproject_pressrelease_march2014.pdf

2 - Le « Tech Belt »



Historique: Opérationnel depuis 2008 In October 2007, Congressman Tim Ryan (OH-17) and Congressman Jason Altmire (PA-04) co-hosted a meeting of opinion leaders from Northeast Ohio and Western Pennsylvania. The TechBelt Initiative began from this regional conversation aimed at developing a strategy to reinvigorate the Cleveland-to-Pittsburgh-to-Morgantown corridor and surrounding region.

The continued transition to a technology and knowledge-based economy combined with our industrial and academic assets, dictates that the region is poised for renewed growth.

To achieve success we must identify opportunities to collaborate in the creation of new products, technologies, companies and wealth. The conversation has resulted in the formation of a collaborative effort known as the TechBelt Initiative.

At the beginning it was just two organizations, BioEnterprise and the Pittsburgh Life Sciences Greenhouse, working to advance the bio-economy of the region. Today there are dozens of organizations in three networks: Life Sciences, Energy and Manufacturing Innovation. The TechBelt story over the past decade is one of profound economic reality on one hand and visionary leadership on the other. The Ohio-Pennsylvania-West Virginia region demonstrates a strong concentration of manufacturing employment that, over the past few years, has felt the continued transition of the U.S. economy. This transition has been painful to many of the communities throughout the region as anchor employers close their doors and jobs are lost.

Tech Belt (Cleveland to Pittsburgh): <http://timryan.house.gov/cleveland-pittsburgh-tech-belt>
Chiffres-clés de la région: <http://www.techbelt.org/wp-content/uploads/2013/05/TechBelt-Overview-v.2.1.pdf>
<http://www.techbelt.org/wp-content/uploads/2013/05/TechBelt-Annual-Report-v.1-.pdf>
(voir carte-tableau de la p. 5)

The spirit of collaboration and public-private partnership has set the stage for the western Pennsylvania-eastern Ohio-northern West Virginia "Tech Belt" to lead the way in revitalizing American manufacturing. Last month the White House announced that the Department of Defense will provide \$30M to establish a National Additive Manufacturing Innovation Institute (NAMII) in Youngstown, Ohio. The federal grant will be matched with about \$40M by the winning consortium from the Tech Belt region. The NAMII will provide the innovation infrastructure needed to support new additive manufacturing technology and products in order to become a global center of excellence for additive manufacturing. (Septembre 2012):

<http://www.alleghenyconference.org/PittsburghRegionalAlliance/PRAPost/September2012.php>
<http://www.techbelt.org/techbelt-networks/manufacturing-innovation/>

General Electric will invest \$32 million in an advanced manufacturing facility in Findlay that will help the manufacturer's business units develop and implement 3-D printing, as well as other innovative technologies. General Electric planning advanced manufacturing in Findlay (November 13, 2014)

By Len Boselovic / Pittsburgh Post-Gazette:
<http://www.post-gazette.com/business/development/2014/11/13/General-Electric-planning-advanced-manufacturing-here/stories/201411130182>

3 – Le NNMI

Purpose: In a fiercely competitive global marketplace, innovation is no longer enough. Many nations are increasingly driving innovation to implementation through whole-of-government advanced manufacturing initiatives. Thus the federally backed National Network for Manufacturing Innovation (NNMI) is intended to create a competitive, effective, and sustainable manufacturing research-to-manufacturing infrastructure for U.S. industry and academia to solve industry-relevant problems.

Key Objectives

NNMI consists of linked Institutes for Manufacturing Innovation (IMIs) with common goals, but unique concentrations. Here industry, academia, and government partners are leveraging existing resources, collaborating, and co-investing to nurture manufacturing innovation and accelerate commercialization. As sustainable manufacturing innovation hubs, the institutes will:

- Develop advanced manufacturing technologies that will "lift all ships," creating, showcasing and deploying new capabilities that can increase commercial productivity.
- Help businesses who otherwise couldn't invest in advanced manufacturing research, by bringing together the best talents and capabilities from the public and private sector into a proving ground for cutting-edge technology.
- Build a pipeline of talent that can support advanced manufacturing.

4 – La NSF

National Science Foundation - Strategic Plan for 2014 – 2018
Investing in Science, Engineering, and Education for the Nation's Future: NSF Strategic Plan for 2014 – 2018 (10.03.2014), p. 22:
<http://www.nsf.gov/pubs/2014/nsf14043/nsf14043.pdf>

Sollicitation budgétaire de la NSF auprès du Congrès pour 2014: + 911 M\$, dont 224 M\$ pour le CMMI
http://nsf.gov/about/budget/fy2014/pdf/19_fy2014.pdf



TECHNOLOGIES ADDITIVES – PANORAMA INTERNATIONAL Royaume-Uni

CONTEXTE

Le secteur manufacturier étant vital pour l'économie britannique³¹², l'Etat a très tôt soutenu les dispositifs permettant de rationaliser et de renforcer l'efficacité des processus de fabrication :

Why is high value manufacturing a priority for us? Manufacturing in general represents an important strategic competence within the UK economy, but it is high value manufacturing specifically where we see the most opportunities for innovative businesses to succeed long-term. 'High value manufacturing is the application of leading-edge technical knowledge and expertise to the creation of products, production processes, and associated services which have strong potential to bring sustainable growth and high economic value to the UK. Activities may stretch from R&D at one end to recycling at the other.

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/362294/High_Value_Manufacturing_Strategy_2012-15.pdf

LES INSTRUMENTS DE POLITIQUE PUBLIQUE

► Pour pouvoir soutenir les efforts nécessaires de soutien de la compétitivité, l'Etat a lancé début 2012 une consultation, qui a permis de faire émerger 5 thèmes transversaux :

- 1. Resource efficiency:** Securing UK manufacturing technologies against scarcity of energy and other resources
- 2. Manufacturing systems:** Increasing the global competitiveness of UK manufacturing technologies by creating more efficient and effective manufacturing systems
- 3. Materials integration:** Creating innovative products, through the integration of new materials, coatings and electronics with new manufacturing technologies
- 4. Manufacturing processes:** Developing new, agile, more cost-effective manufacturing processes
- 5. Business models:** Building new business models to realise superior value systems.

► Ce processus s'est conclu par l'adoption, en mai 2012, d'une « High Value Manufacturing Strategy 2012-2015 »³¹³, décliné en une série d'actions-clés :

Our high value manufacturing programme aims to grow the contribution of manufacturing to UK GDP by investing in innovation that will maintain or improve competitiveness and increase the commercialisation of new technologies. Our commitment will be up to £72m. We will:– launch 10 new competitions – continue support for the High Value Manufacturing Catapult – continue the roll-out of the Industrial Biotechnology Catalyst in partnership with the research councils.

► Au sein de celle-ci, Le Technology Strategy Board (TSB)³¹⁴ a annoncé, fin octobre 2012, qu'un investissement stratégique de 7 M£ serait consacré à la R&D dans le secteur de l'Additive Manufacturing³¹⁵, jugé prometteur. Dans la foulée, un appel à projets a été lancé en décembre 2012 sur le thème : "Inspiring New Design Freedoms in Additive Manufacturing".

Le TSB en a assuré la gestion, en collaboration avec trois organismes: Engineering & Physical Sciences Research Council (EPSRC, voir infra), Arts and Humanities Research Council, Economic and Social Research Council.

³¹² Manufacturing contributes £6.7tr to the global economy and the UK is in the world's top ten. Manufacturing makes up 10% of UK GVA and 54% of UK exports and directly employs 2.5 million people.

³¹³ Voir: <https://www.innovateuk.org/documents/1524978/2139688/High+Value+Manufacturing+Strategy+2012-15/9b7e55f0-ed9a-4efe-89e5-59d13b2e47f7> High value manufacturing (HVM): <https://www.innovateuk.org/documents/1524978/2138994/Delivery%20Plan%202014-15>

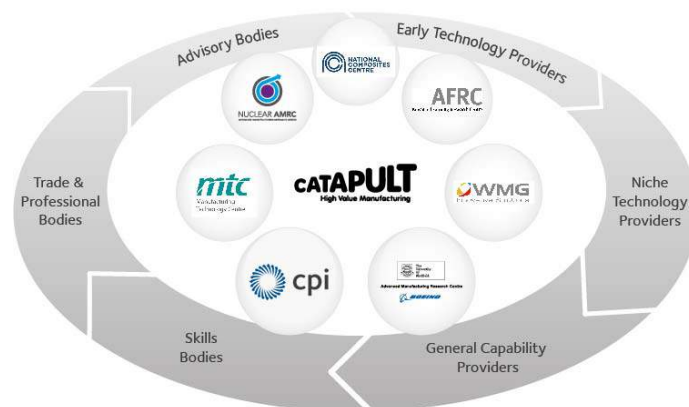
³¹⁴ Aujourd'hui « Innovate UK ».

³¹⁵ Additive manufacturing: Application of layer manufacturing techniques or other freeform techniques for joining materials to fabricate intermediate and end-use products including direct digital manufacturing methods.

"3D printing technologies offer huge potential for UK businesses to compete successfully by embracing radically different manufacturing techniques that could be applied across a wide variety of global market sectors, from aerospace to jewellery (...). We believe this new investment will help UK companies make the step change necessary to reach new markets and gain competitive advantage. Building on 20 M€ of previous Technology Strategy Board support for additive manufacturing innovation, it will help secure more of this game-changing high value activity for the UK, driving economic growth and enhancing quality of life." David Willetts (Ministre de la Recherche).

► Aujourd'hui, le High Value Manufacturing bénéficie d'un soutien public de 72 M€ pour l'année 2014-2015. Un peu moins de la moitié de cette dotation est consacrée au High Value Manufacturing Catapult³¹⁶, qui s'appuie sur 7 centres d'expertise : sectorielle :

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/365766/High_value_manufacturing_-_action_plan_2014-15.pdf



Ce financement a été récemment complété à hauteur de 89 M€, afin d'augmenter le nombre de secteurs couverts et d'accroître l'implication des PME :

<https://hvm.catapult.org.uk/documents/2157642/0/Autumn+Statement+Press+release/c392e395-e123-4fcd-8481-5f82421a5200>

EPSRC

Engineering and Physical Sciences
Research Council

► L'EPSRC³¹⁷ est le principal organisme britannique en charge du financement de la recherche dans les domaines de l'ingénierie et des sciences physiques. Il investit environ 800 M€ chaque année en projets et en formation d'experts, afin de permettre au pays d'aborder dans les meilleures conditions la nouvelle génération de changements technologiques. Son portefeuille en matière de recherche dépasse les 2,2 MM€ et il met en réseau environ 2.000 organisations.

Le développement de techniques innovantes en matière de fabrication industrielle est aujourd'hui promu à travers un réseau de centres qu'il pilote, les « EPSRC Centres for Innovative Manufacturing »³¹⁸, qui s'appuient sur des compétences universitaires. Parmi ceux-ci, il en existe deux qui émergent plus particulièrement, en matière de fabrication additive :

³¹⁶ A l'automne 2010, le gouvernement de coalition a décidé d'accorder à Innovate UK un financement supplémentaire de plus de 200 M€ pour mettre en place 7 "Catapults" pendant la période 2011-2015. Voir :

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/368416/bis-14-1085-review-of-the-catapult-network.pdf

The High Value Manufacturing Catapult was created in 2011 by the UK government to provide a stimulus for British manufacturing through a consortium of seven manufacturing technology centres which provide cross sector manufacturing and process technology support to SMEs and large multi-national industrial partners. The aim of the consortium is to accelerate technology commercialisation by combining capability and equipment to help industry give commercial life to great ideas. The result is a dynamic manufacturing industry built on world-leading technology and innovation which offers significant benefits to businesses and will provide access to cutting-edge equipment that is not normally available to many individual companies. The funding for the Catapult Centres comes from a combination of business-funded R&D contracts; collaborative R&D projects funded jointly by the public and private sector and core public funding. The HVM Catapult's long-term goal is to stimulate growth in the manufacturing sector and **more than double the sector's contribution to UK GDP.**

Actualité: <https://hvm.catapult.org.uk/>

³¹⁷ Voir : <http://www.epsrc.ac.uk/>

³¹⁸ Dix-huit centres de ce type, regroupant environ 600 collaborateurs, ont été créés entre 2001 et 2009 sous la dénomination de « Innovative Manufacturing Research Centres (IMRCs) », période pendant laquelle l'EPSRC a contribué à leur financement à hauteur de 192 M€ environ. Voir : <http://www.epsrc.ac.uk/newsevents/pubs/economic-impact-of-the-innovative-manufacturing-research-centres-final-report/>

Leur fonctionnement a été ensuite révisé – et le réseau rationalisé –, moyennant une nouvelle dénomination – pour des raisons budgétaires.

1. The EPSRC Centre for Innovative Manufacturing in Additive Manufacturing is a new nucleus of research activity focused on next generation multifunctional Additive Manufacturing (AM) technology. Based at the University of Nottingham³¹⁹, the fundamental and translational research carried out within this world-class Centre will help shape the future national and international AM research agenda. The focus of the Centre's activity is to work closely with businesses to tackle major research challenges, ensuring that the UK remains at the forefront of AM and its application in industry. The successful commercial exploitation of the Centre's research in order to meet industrial and national need for cutting edge, low carbon manufacturing technologies is a key priority. The Centre was formally opened on Tuesday 13th March 2013 by the Chancellor of The University of Nottingham, Sir Andrew Witty, and the Vice-Chancellor, Professor David Greenaway.

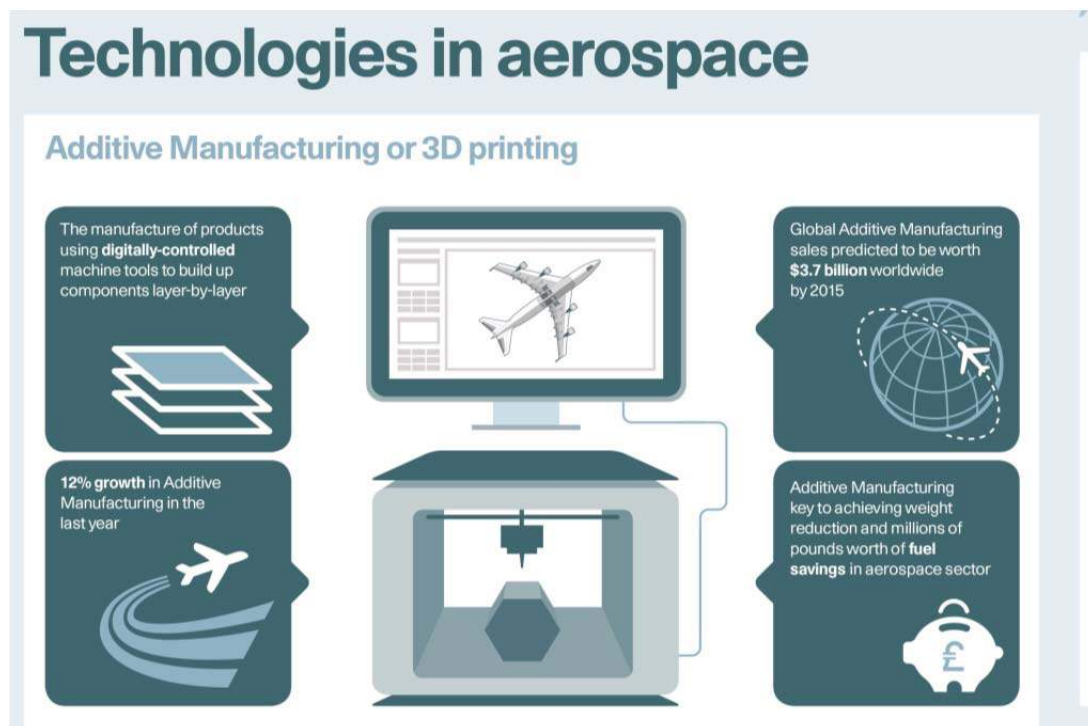


Ce centre a lui-même "essaimé" en mettant en place ADD3D qui se présente comme le "the hub for Additive Manufacturing research in the UK".

It aims to promote the world-leading capabilities of the UK in the field of Additive Manufacturing (AM) and provide up-to-date, reliable information about this state-of-the-art technology, as well as upcoming events and industry news. ADD3D bridges the gap between research and industrial communities to help progress cutting-edge research from the lab to real-world applications.

Prochain événement sur ce thème, en juillet 2015: <http://www.3dp-research.com/News-Events/am-conference-registration-now-open>

2. Le Centre for Advanced Additive Manufacturing (Université de Sheffield) (à compléter)



Source : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/303101/ukces_aerospace_infographic.pdf

Les besoins de l'industrie

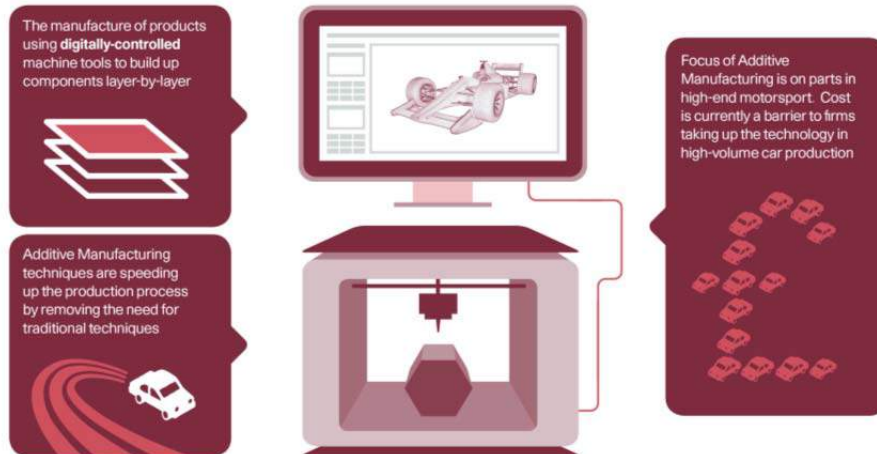
Un travail d'anticipation des besoins, notamment en termes de main d'œuvre, a été réalisé mi-2013 dans deux secteurs clés : la construction aéronautique et l'automobile. Voir : Technology and Skills in the Aerospace and Automotive Industries – UKCES – Octobre 2013

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/303096/evidence-report-76-aerospace-and-automotive-exec-summ.pdf

³¹⁹ En collaboration avec l'Université voisine de Loughborough.

Technologies in automotive

Additive Manufacturing or 3D printing



Source : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/303100/ukces_automotive_infographic.pdf

Additive Manufacturing Core skills and knowledge

Aerospace	Automotive	AM supply chain
<ul style="list-style-type: none"> • Research and Development • Material engineers • Design engineers with optimised design and process solutions skills • Process engineers with an understanding of the Additive Manufacturing process • Post-process engineers (finishing) • Quality-related engineering staff 	<ul style="list-style-type: none"> • Apprentices with CAD and rapid machine skills • Operatives with traditional engineering skills • Assembly staff • Quality-related engineering staff • Highly-qualified Engineers 	<ul style="list-style-type: none"> • Manufacturing Bureaus Management, R&D, Sales, Quality, CAD, Traditional engineering, Finishing, Production engineering, IT, Support staff. • Powder supply and analysis Engineering and Material scientists, Technicians, Sales, Support staff • Finishing Experienced engineering apprentices • CAD Software engineers

Recruitment problems in Additive Manufacturing



Specific recruitment issues relate to:

- Experience in Additive Manufacturing
- Process Design Engineers
- Project Management staff
- CAD staff
- Traditional Engineering skills (i.e. Apprenticed Toolmakers)

Collaboration or merger & acquisition have been used to gain access to complementary technological know-how:

"The reason why General Electric bought Morris Technologies was for the people and their skills, not the machines. They recognise that the skills are in very short supply," Industry expert, Additive Manufacturing.

Future jobs and skills – Additive Manufacturing in aerospace

An increased requirement for:

- Design and optimisation skills
- Research and Development staff
- Research Engineers who understand Additive Manufacturing techniques
- Quality-related functions
- Project Management staff
- Technicians with finishing skills

"It is the design side in our organisation where we need to be able to exploit. Without the design improvement we don't get the weight savings. So it is design and optimisation skills," (Large aerospace employer).

Future jobs and skills – Additive Manufacturing in automotive

An increased requirement for:

- Technicians with finishing skills
- Knowledge of Additive Manufacturing and Rapid Production techniques

Growth of Additive Manufacturing in high volume automotive is thought to have a slightly longer trajectory. As the technology moves from Research and Development stage to production, skills needs are likely to change in the automotive industry.

"What we are seeing is a divide, where the technical jobs are becoming more technical and the manual jobs are becoming less skilled," (Automotive employer).

Source : <https://www.gov.uk/government/publications/technology-and-skills-in-the-aerospace-and-automotive-industries>

POUR MÉMOIRE :

1 - Appel à projets du Ministère de la défense (CDE) clôturé le 28 août 2014 – Budget disponible : 750 k£

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/320101/20140515-CDE_themed_competition_Additive_manufacturing_FINAL_AK.pdf

2 – Couverture territoriale des IMRC

<ul style="list-style-type: none">• Bath Innovative Design and Manufacturing Research Centre (Bath IdMRC)• Cambridge Engineering Design Centre (Cambridge EDC)• Cambridge Institute for Manufacturing (Cambridge IfM IMRC)• Cranfield Innovative Manufacturing Research Centre• Health and Care Infrastructure Research and Innovation Centre (HACRIC)• Heriot-Watt Innovative Manufacturing Research Centre (HW-IMRC)• Imperial Innovation Studies Centre• Innovative Electronics Manufacturing Research Centre (IeMRC)	<ul style="list-style-type: none">• Loughborough Innovative Manufacturing and Construction Research Centre (Loughborough IMCRC)• Multidisciplinary Assessment of Technology Centre for Healthcare (MATCH)• Nottingham Innovative Manufacturing Research Centre• Reading Innovative Construction Research Centre (Reading ICRC)• Salford Centre for Research and Innovation in the Built and Human Environment• University College London Bioprocessing Centre• Warwick Innovative Manufacturing Research Centre
---	---

Entreprises leaders :

Stratasys, 3D Systems, EOS, and Renishaw.

<http://3dprintingindustry.com/2014/02/25/taiwan-launches-additive-manufacturing-group-international-3d-printing-symposium/>



TECHNOLOGIES ADDITIVES – PANORAMA INTERNATIONAL

Chine

"Compared with the US, Europe and Japan, China is still at an infant stage in terms of innovative design, precision processing and economic power. We have much space to grow in many key technology areas such as laser and materials. But we are getting closer and closer." (Paul Shao)³²⁰

"We believe traditional manufacturing and 3D printing can complement each other instead of replacing each other. Only with the full integration of the two technologies will there be a 3rd industrial revolution." (Luo Jun)³²¹

« Some people have a misunderstanding about 3D printing technology. The technology is not omnipotent. Not all products can be printed out by a 3D printer. And not all things printed can be put into practical use » (Luo Jun)³²²

CONTEXTE

- ▶ Adoptant une approche assez prudente, essentiellement concentrée sur une observation attentive – mais distante- des travaux menés aux Etats-Unis, la Chine est restée relativement discrète sur le marché de la 3D (sauf dans le domaine militaire – cf infra), jusqu'en 2012-2013³²³.
- ▶ Depuis cette période, tant les autorités que les entreprises ont compris les enjeux de ces technologies et avancent à marche forcée, **estimant être en capacité de dépasser les Etats-Unis dans les trois ans qui viennent.**³²⁴
- ▶ Ce stimulant est d'autant plus nécessaire que l'économie chinoise a connu, en 2014, son plus faible taux de croissance depuis près d'un quart de siècle. En plus, les dirigeants souhaitent limiter les effets de la relocalisation des emplois industriels aux Etats-Unis, vivement encouragée par le Pt. Obama. **L'enjeu de compétitivité n'est donc pas constitué que du volet technique, mais comporte aussi une dimension sociale**³²⁵.
- ▶ Il comporte également une **dimension territoriale** car il s'agit de faire en sorte que les infrastructures des espaces industriels restent attractifs pour les investisseurs locaux et étrangers (voir les exemples cités en fin de document : Changsha, Wuhan, Zhuhai + coopération DE/ RPC dans le Liaoning).
- ▶ Enfin, la Chine doit tenir compte des politiques d'attractivité de ses **voisins d'Asie du Sud-Est** (notamment Singapour³²⁶, Malaisie et Thaïlande), qui constituent des marchés aval, mais organisent également la concurrence sur le terrain de l'impression 3D.
- ▶ Faisant preuve de lucidité, la Chine était consciente de son retard relatif en termes de capacité et de qualité³²⁷. De nombreux indices laissent penser que **cette phase « complexée » est aujourd'hui dépassée.**

³²⁰ Paul Shao, PDG de Trustworthy (Beijing) Technology, une entreprise spécialisée dans les imprimantes 3D, qui distribue les matériels développés par différentes marques, notamment 3Shape et Roland. Propos recueillis le 19.02.2015.

³²¹ Luo Jun, secrétaire général de la World 3D Printing Technology Industry Alliance (cf infra), est le "gourou" chinois de la 3D. Propos cités le 23.01.2015.

³²² 3D Printing Industry begins to boom – 20.06.2014 – <http://www.globaltimes.cn/content/866764.shtml>

³²³ "China's appetite for 3-D printing technology has been surging immensely since last year (2013). Increasing demand has given the nation momentum to become the world's No 1 in the next three to five years," - Graham Tromans, president of the United Kingdom-based 3-D printing consultancy G. P. Tromans Associates. Propos cités le 20.06.2014.



³²⁴ D'ailleurs, selon Wohlers, le nombre de fabricants d'imprimantes 3D en Chine serait déjà supérieur à ce qu'il est aux Etats-Unis. Luo Jun estimait, en janvier dernier, que la Chine comptait une centaine de fabricants, actifs dans l'industrie, la biomédecine, les industries créatives, l'architecture, les matériaux et le software.

³²⁵ "What may be a boon for the US economy could potentially devastate that of China's, if they don't find a way to compete... One way for China to eradicate the risks of losing manufacturing jobs back to the United States and Europe, is to keep pace and innovate within the AM space." China Creating Blueprint for a Major Plan to Develop Their 3D Printing Industry (23.06.2014) <http://3dprint.com/7016/china-3d-printing-plan>

³²⁶ Voir la fiche consacrée à ce pays.

En effet, quelques réalisations à forte valeur symbolique³²⁸ (de la chaussure de sport aux pavillons préfabriqués en passant par les prothèses crâniennes ou le développement bio-cellulaire, par exemple), qui ne sont pas sans donner l'impression d'une certaine course à la démesure, témoignent de la volonté du pays de « montrer ses muscles » !

Chiffres –clés : évolution du CA de l'impression 3D

US \$		
2012	1 MM ¥	12 MM ¥
2013	+ 2 MM ¥	2,5 à 3 MM
2014	4 à 5 MM ¥ (650 M\$)	?
2016 ³²⁹	1, 6 MM \$ (est.)	5 MM\$ (est.)
2018		+ 16 MM

LES INSTRUMENTS DE POLITIQUE PUBLIQUE

► De la fin des années 90 à 2012 – Quelques jalons :

- La technologie US a été introduite en Chine via un professeur de génie mécanique de l'Université de Tsinghua (qui a ensuite fondé Tiertime, devenu le plus important fabricant chinois de ce type de matériel). L'activité a commencé dans la capitale, puis s'est étendue à l'Anhui, et plus récemment dans le Guangdong.
- L'utilisation de la technologie LAM a commencé en 1995, trois ans après que les Etats-Unis aient rendus publics des travaux classifiés.
- A partir de 2000, la *Beijing University of Aeronautics and Astronautics (BUAA)* a constitué une équipe de recherche, soutenue par les milieux liés à la défense et plutôt orientée sur les technologies LMD.
- C'est la raison pour laquelle les applications militaires ont pris une longueur d'avance et sont aujourd'hui d'utilisation courante dans l'industrie aéronautique et aérospatiale, ainsi que dans la réparation navale (voir annexe).

³²⁷ Le 13.08.2013, un fabricant de laser expliquait, « qu'en Chine, le développement de l'impression 3D est limité par deux facteurs : ces techniques ne sont vraiment adaptées, jusqu'à présent, qu'à la réalisation de petites séries (lorsque les coûts sont inférieurs à ceux qu'occasionnerait une production de masse). Ensuite, la Chine importe encore la plupart de ses imprimantes 3D et des matériels connexes. » Chen Xuan, directeur général de Daye Laser Co. of Shenzhen.

³²⁸ Début 2013, dans la sphère militaire, AVIC Laser Prototyping Manufacturing Co. a présenté un aileron en titane de 5 m de long, créé par impression 3D, destiné à des avions de combat (mais aussi de transport, tels que le C 919) et a reçu pour cela un prix d'Etat destiné à saluer ce qui était présenté à l'époque comme une performance en matière d'innovation technologique. Dans le domaine civil, en février 2014, Nanfang Ventilator a annoncé qu'il travaillait à la construction de la plus grande imprimante du monde, permettant de fabriquer des objets d'un diamètre de 6 m et d'une longueur allant jusqu'à 10 mètres. En juin 2014, Qingdao Unique Products Develop Co. Ltd, un important fabricant national, a présenté ce qu'il considérait, lui aussi, être la plus grande imprimante jamais réalisée dans le monde. La première tâche confiée à cette machine consistait à réaliser un « Temple du Ciel » de 12 mètres de haut en utilisant une matière plastique renforcée.

³²⁹ China's 3D printing revenues to reach \$1.6bn by 2016 (03.06.2013): <http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/chinas-3d-printing-revenues-to-reach-16bn-by-2016/> <http://qz.com/90646/chinas-plan-to-survive-the-3d-printing-revolution-own-the-market/>

► Les années de transition (2012-2013) :

- Les autorités ont pressenti, à partir de cette période, le formidable changement qui se préparait, et ses conséquences, au-delà du secteur de la défense. Dès 2012³³⁰, en effet, l'Etat a déclaré que l'impression 3D allait affecter l'avenir de l'industrie de la fabrication et qu'il fallait prévoir un renforcement de la planification et de la conception de haut niveau.
- Les bases d'une stratégie nationale pour le développement à long terme de la technologie d'impression 3D ont alors été mises en place par l'Etat, avec l'objectif de faire du pays le futur leader mondial dans l'impression 3D (en profitant, au passage, du fait que les brevets de certains fabricants historiques venaient à expiration³³¹). Les autorités centrales ont conçu et confirmé un plan d'investissement de près de 170 M€ pour un programme de sept ans.
- Le développement d'un écosystème innovant autour des imprimantes 3D a été aussi envisagé. Ce schéma prévoyait l'amélioration de l'environnement administratif, l'utilisation d'incitations fiscales et le soutien de programmes R&D dédiés, l'ensemble devant favoriser l'accélération du développement de la technologie d'impression 3D.

Pour mettre en place cette réforme, l'Etat a pu s'appuyer sur l'AMA (Asia Manufacturing Association)³³², dont l'animateur principal, Luo Jun, a lancé, en juin 2013, la **3D Printing Technology Alliance**, dont l'objectif consiste à promouvoir la coopération industrielle dans le secteur de l'impression 3D.

► Les points-clés de l'année 2014 :

1) Repenser et relancer la stratégie industrielle

Bien loin de considérer la puissance de l'industrie manufacturière chinoise comme acquise une fois pour toutes, le besoin de « repenser la stratégie industrielle [du pays] pour renforcer la compétitivité du secteur manufacturier (et, ainsi, plus largement, restructurer l'économie nationale) s'est fait jour l'année dernière, précisément au moment où le taux de croissance donnait des signes de ralentissement.

Cette prise de conscience n'est pas étrangère au fait que les débats de la 7^e Conférence annuelle de l'Asian Manufacturing Forum, en septembre dernier, se sont concentrés sur le thème de l'« Industrie 4.0 »³³³, la principale question posée portant sur la capacité du pays à transcrire ce concept en réalité, ce qui, pour de nombreux experts, semblait loin d'être acquis³³⁴.

³³⁰ « C'est une technologie de production révolutionnaire. Une fois mise en œuvre à grande échelle, elle va permettre de diminuer la pression de la Chine sur l'énergie et les ressources naturelles. » Su Bo, Vice-Ministre de l'Industrie et des Technologies de l'Information, lors du Forum International Additif et de la 6^{ème} conférence chinoise « Additif National Manufacturing », en 2012. NB : Selon lui, à l'époque, la Chine possédait alors seulement 8,6% des imprimantes 3D dans le monde, alors que les USA en détenaient 38,5%.

³³¹ « As patent-granted monopolies end on various technologies, Chinese manufacturers of 3D printers will see explosive growth. Simpler machines at low prices with inexpensive materials resonate with customers both big and small who reject the thousand percent markup on materials offered by 3D Systems, Stratasys, et al. » Tyler Benster (Meckler Media, organisateur de conférences spécialisées dans ce domaine) (benzinga.com – 15.10.2014).

³³² Asian Manufacturing Association (AMA) is an authoritative think tank and chamber of commerce for Chinese manufacturing industry. Located in Beijing, It promotes dialogues among the manufacturing industries of China, Asia and the world. The Association had held six Annual Conferences -- the Asian Manufacturing Forum -- and four Annual Conferences of China Manufacturing Forum, which were attended by more than 4,000 enterprise leaders, economists, universities leaders and government officers. Members of the association include the Aviation Industry Corporation of China, China Aerospace Science and Industrial Corporation, Baosteel Group and Shougang Group. Source : <http://growingcapacity.blogspot.fr/2013/04/us-china-manufacturing-symposium-to-be.html>

³³³ Mis à l'honneur à l'occasion de la Foire de Hanovre 2011.

³³⁴ Voir notamment : « AMA says new technologies required to transform manufacturing sector » - Li Qiaoyi (12.08.2014). <http://www.globaltimes.cn/content/875812.shtml>

RAPPEL DU CADRE GÉNÉRAL

L'industrie high-tech en Chine (situation fin 2013) :

26.894 grandes entreprises de manufacturing high-tech (a) (soit 7,8% du total des grandes entreprises industrielles et 1,3 % de plus qu'en 2008)

Profit global évalué à 118,23 MM\$ (+ 165,5 % par rapport à 2008)

Taux de croissance des bénéfices supérieur de 11,5% à celui de la moyenne de l'industrie manufacturière.

Nombre de salariés : 13 M (en croissance de près de 37 % par rapport à 2008), soit 15,1% de l'ensemble des salariés de l'industrie.

Dépenses de R&D évaluées à 33,25 MM\$, en augmentation de plus de 178 % par rapport à 2008.

(a) Entreprises dont le CA annuel atteint ou dépasse le seuil de 20 millions de yuan (3,3 M\$).

(Chiffres extraits de la 3^e enquête économique nationale réalisée par le Bureau National des Statistiques en 2014 et publiés par Xinhua le 16.12.2014)

2) Des décisions politiques venant en appui de cette orientation

Conscientes de la nécessité d'agir encore plus massivement pour relancer la compétitivité, les autorités ont décidé de **miser sur l'innovation et la digitalisation**, notamment à travers la robotique et l'**impression 3D**³³⁵.

a) Les décisions cadres du Conseil d'Etat : l'instance suprême de gouvernement, présidée par le Premier ministre Li Keqiang, a tenu 40 réunions en 2014.

Parmi les décisions prises, il convient de retenir :

- l'augmentation du soutien financier consacré aux industries émergentes (21 mai), - le renforcement de la protection des droits de propriété intellectuelle destinée à encourager l'innovation et à moderniser le « Made in China » (05 novembre), - de nouvelles mesures de libéralisation dans le secteur des services et de l'Advanced Manufacturing (12 décembre).

b) L'encouragement global à l'innovation et à la R&D :

Tout début 2014, lors de la Conférence annuelle destinée à faire le point sur les avancées de l'année écoulée en matière de science et de technologie, dans le but d'identifier les priorités de l'année qui s'ouvrait, Wan Gang³³⁶, le ministre en charge de ce domaine, a indiqué qu'il espérait que les technologies fondamentales qui conditionnent 20 types d'industries émergentes pouvaient (devaient?) être maîtrisées par les chercheurs chinois.

De fait, la Chine investit déjà beaucoup en R&D (voir annexe) et peut se prévaloir de quelques beaux succès³³⁷. Même si Wan Gang crédite son pays – modestement - d'un budget global de R&D inférieur à 200 MM\$ pour 2013, les comparaisons internationales permettent de penser que ce chiffre est sous-évalué de plus de 25%. De toute façon, la Chine pouvait déjà compter, en 2013, sur plus de 3,5 millions de chercheurs capables de mettre au point près de 600.000 brevets.

Toutefois, même si les ingénieurs chinois sont créatifs, le dispositif semble freiné par deux obstacles, que soulèvent certains experts du pays³³⁸ : au-delà d'entreprises-pilotes, l'adaptation de technologies modernes à l'ensemble de l'industrie manufacturière représente une tâche considérable.

En plus, le pays ne dispose pas d'un mécanisme d'encouragement de l'innovation qui permettrait d'accroître efficacement la valeur ajoutée des produits fabriqués³³⁹.

³³⁵ « The government will use more emerging technologies to boost the sophistication and efficiency of the manufacturing sector. » Ministre de l'Industrie et des Technologies de l'Information (MIIT) (03.02.2015).

³³⁶ More efforts to boost innovation (09.01.2014) http://europe.chinadaily.com.cn/business/2014-01/09/content_17228927.htm

³³⁷ Tels que le supercalculateur Tianhe-2, la sonde lunaire Chang'e et le submersible Jiaolong capable de se déplacer en eau profonde.

³³⁸ « A key roadblock to manufacturing upgrade is the absence of a systematic innovation mechanism capable of fostering renovations that will add value to products. » Xu Hongcai, Directeur du Département de l'Information du China Center for International Economic Exchanges (voir note 12).

c) Le plan « Robotique » :

Fin 2014, les fabricants nationaux de robots approvisionnaient à peine 30% du marché domestique. Su Bo veut faire passer ce chiffre à 50% dans les 3 à 5 ans.

Pour y parvenir, il a annoncé, début novembre 2014, un programme de soutien spécifique 2016-2020, intégré au 15^e plan quinquennal³⁴⁰.

3) Les mesures visant l'impression 3D proprement dites :

a) *Le cadre politique :*

Pour Wan Gang, « des pas significatifs devaient être accomplis dans quelques domaines sur lesquels se concentrent les chercheurs mondiaux, tels que la 5G, les supercalculateurs, le système de navigation par satellite Beidou... **et l'impression 3D !** ».

De fait, l'impression 3D a été incluse dans le National High Tech R&D Program et le MIIT a annoncé, en septembre dernier, le soutien aux politiques d'appui dans ce domaine particulier.

Dans ce cadre, les autorités chinoises ont annoncé, l'automne dernier, en faveur du secteur de l'impression 3D, **le lancement d'un programme de sept ans doté d'un budget de 245 M\$.**

Ce programme comporte plusieurs volets :

- la mise en place, d'ici à 2018, d'un « système d'innovation technique préliminaire »,
- la création de 5 à 10 entreprises spécialisées, et leur accompagnement jusqu'à ce qu'elles réalisent un CA annuel d'au moins 80 M\$.

En plus, le gouvernement réfléchit à la création d'un centre national d'innovation dédié aux technologies de l'impression 3D, ainsi que d'un fonds d'investissement *ad hoc*.

Dans l'intervalle, il a sollicité l'AMA, dès sa création, afin qu'elle contribue au dispositif³⁴¹.

De fait, celle-ci a initié un projet de création de 10 instituts d'innovation sur l'impression 3D dans 10 villes chinoises, en les dotant d'un budget de 14 M€ par institut (budget qui sera complété à parité par des fonds régionaux). Ces structures, qui comprendront des centres de formation et des salles d'exposition, permettront aux industriels d'en apprendre davantage sur ces technologies et ses évolutions.

C'est ainsi que Shining 3D, une entreprise de haute technologie spécialisée dans ce secteur, a ouvert à Nanjing (Nankin), en décembre 2013, le premier de ces centres, qui est aussi le plus grand centre d'impression 3D du pays. Sa large gamme d'équipements ultra-modernes couvre les domaines de l'industrie manufacturière, biomédicale et culturelle.

b) *Les actions en matière de sensibilisation et d'éducation :*

Il est à noter également que l'Etat est soucieux d'assurer une sensibilisation du public le plus large, en mettant l'accent sur les plus jeunes. En agissant ainsi, il incite ceux-ci à découvrir ce secteur et à s'y investir, ce qui permet de constituer la main d'oeuvre de demain, à la fois curieuse et compétente³⁴².

³³⁹ Pourtant, des initiatives assez novatrices pour l'époque (programme 863, puis programme TORCH, lancés respectivement en mars 1986 et à l'été 1988) avaient déjà permis de grandes avancées en matière de high-tech et de création de start-up, via notamment des clusters. Voir : <http://steveblank.com/2013/04/11/chinas-torch-program-the-glow-that-can-light-the-world-part-2-of-5/>

³⁴⁰ Voir : <http://www.ejinsight.com/20141107-china-to-boost-support-for-robotics-industry/et> <http://www.globaltimes.cn/content/889840.shtml>

³⁴¹ http://www.globaltimes.cn/content/781316.shtml#_UZN6MivCS1 (23.05.2013).

A destination du grand public, on peut citer l'initiative très populaire ayant consisté à implanter une boutique 3D spécialisée dans la reproduction de personnages et de figurines (telles que celles du zodiaque chinois) dans le métro de Shanghai (station Xintiandi)³⁴³.



Pour renforcer son action pédagogique, l'Etat a aussi prévu d'équiper systématiquement les lycées d'imprimantes 3D.

Très récemment, une initiative symbolique a aussi vu le jour. Il s'agit de l'ouverture, en partenariat avec un fabricant réputé d'imprimantes, Winbo Industrial Co. Ltd.³⁴⁴, d'un collège dédié à l'impression 3D, dans le complexe urbain de Guangzhou (Canton) (cf photo).

c) L'impression 3D, outil de développement régional et local

Une plus grande utilisation de ces technologies passe par leur diffusion au niveau régional et local. C'est la raison pour laquelle, le secteur de l'impression 3D se trouve mis en avant dans plusieurs projets récents d'une certaine envergure :

- A Changsha (capitale du Hunan), les autorités municipales ont inauguré, en octobre dernier, un parc industriel ayant vocation à constituer un « hub » technologique. Ses activités incluent la fabrication d'imprimantes 3D, avec l'objectif de tripler la production dès 2016. Dans le sillage de ce projet, les villes de Wuhan et de Zhuhai prévoient de faire de même dans les prochains mois.
- A Shenyang (capitale du Liaoning), la Chine et l'Allemagne³⁴⁵ ont uni leurs efforts pour bâtir un parc industriel de 120 km², qui concentrera ses activités dans des secteurs à haute valeur ajoutée, dont la robotique et l'impression 3D. Outre le fait que ce projet permet d'irriguer en technologie de Nord-Ouest du pays, il contribue à renforcer les échanges commerciaux entre les deux pays.
- A Chengdu (capitale du Sichuan), les autorités locales ont lancé en 2014³⁴⁶ plan triennal d'investissement dans la haute technologie (dont l'impression 3D), doté d'un budget de plus de 160 M\$. Or, cette zone accueille déjà plus de 250 grandes entreprises internationales, dont Siemens AG, qui y a implanté sa première usine virtuelle hors d'Allemagne.

d) Les initiatives du secteur du commerce

Produire ne suffit pas, si les utilisateurs / consommateurs ne participent pas à la diffusion de ces équipements et à la mesure de satisfaction de ceux qui en font l'acquisition.

Comme aux Etats-Unis, les grossistes se sont emparés de ces équipements et mettent en place des initiatives qui favorisent le développement du marché.

³⁴² "3D printers are a great way for schools to really engage their students in the learning process and offer many advanced possibilities in college for a variety of disciplines." (M. Suki, Winbo Industrial Co. Ltd.

³⁴³ <http://www.globaltimes.cn/content/870663.shtml>

³⁴⁴ Baiyun Winbo 3D Printing College Opens its Doors in China: Very first school of its kind (26.12.2014) : <http://3dprint.com/33398/3d-printing-college-in-china/>

³⁴⁵ Fin 2013, 400 entreprises allemandes étaient déjà implantées dans cette région, où elles ont injecté plus de 2 MM\$ de capital. (01.11.2014) Voir : <http://www.globaltimes.cn/content/889467.shtml>

³⁴⁶ http://europe.chinadaily.com.cn/epaper/2014-06/13/content_17584256.htm (13.06.2014)

C'est ainsi que le groupe Li&Fung, basé à Hong Kong a mis en place, dès 2013, une unité d'impression 3D en coopération avec la centrale Toys R Us, tout en réfléchissant à des alliances éventuelles avec Samsung dans le domaine technologique. Les plates-formes de vente en ligne Taobao et JD diffusent aussi des matériels 3D de façon courante (voir note 25).

Conclusion : une accélération indéniable du développement, mais certaines faiblesses persistantes

La dynamique chinoise comporte, de l'aveu même de ses analystes, quelques points faibles :

- les produits chinois sont certes nettement moins chers que ceux de leurs concurrents étrangers ... mais **la qualité n'est pas toujours au rendez-vous**. Or, le fait de s'en contenter ne fait pas progresser la technologie³⁴⁷ ;
- la plupart des entreprises (sauf les leaders incontestés, tels que TierTime Technology Co. Ltd³⁴⁸) auraient **des CA insuffisants** (i.e. en-deçà du seuil de 100 M¥ , soit 16 M\$) pour acquérir une position d'envergure mondiale ;
- en 2013, déjà, le secteur manufacturier devait faire face à **un manque relatif de produits sophistiqués de CAD** pour accompagner la transition vers des modes de conception de produits plus élaborés³⁴⁹ ;
- pour le moment encore, **la Chine reste dépendante de fournisseurs étrangers** pour ce qui concerne l'accès à certaines matières premières, telles que les poudres, et aux lasers.

Annexe 1 : L'utilisation de l'impression 3D dans le domaine militaire :

Suivant, là encore, l'exemple américain, les Chinois ont décidé assez tôt d'utiliser ces technologies dans la construction aéronautique :

- Une partie non négligeable du budget accordé par le gouvernement chinois au soutien du développement des imprimantes 3D va au secteur de la défense (production d'une nouvelle génération d'avions de chasse J-20 et J-31 et étude du frittage laser en vue de réduire les coûts du travail du titane pour la réalisation de composants dans l'aérospatiale).
- Boeing³⁵⁰ et Airbus ayant développé largement le recours à ces technologies, les ingénieurs chinois les ont aussi utilisées dans le cadre de la fabrication de l'avion concurrent, le C919, tant pour la carlingue, le train d'atterrissage, que les ailettes des turbines.
- Ces technologies servent aussi à fabriquer des pièces de rechange sur les bâtiments de guerre, ce qui permet de réparer à distances d'éventuelles avaries.
- Cette recherche permet ensuite d'alimenter le domaine civil. C'est ainsi que China Aerospace Science & Industry Corporation a introduit sur le marché fin 2014 une imprimante 3D, qui doit être produite et commercialisée à grande échelle cette année (23.01.2015).

LA CHINE EST EN CHEMIN POUR DEVANCER LES ÉTATS-UNIS ET L'UE EN DÉPENSES DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE, SELON L'OCDE

En 2012, les dépenses intérieures brutes de R&D (DIRD) se sont élevées à **257 MM\$ en Chine** contre 397 MM\$ aux États-Unis, **282 MM\$** dans l'UE-28 et 134 MM\$ au Japon.

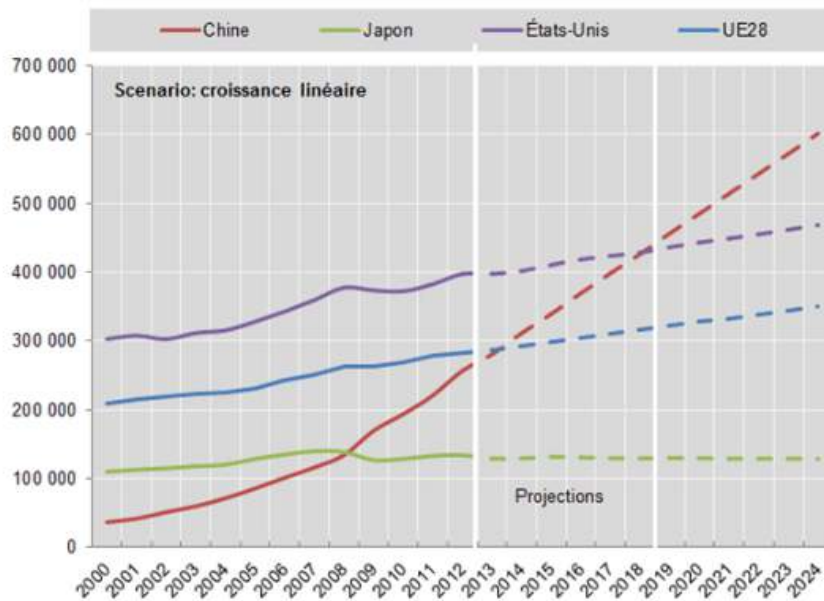
³⁴⁷« What are available on online shopping platforms like Taobao and JD are the most basic desktop printers. This cannot greatly push the wide use of the technology. » (Luo Jun) (juin 2014)

³⁴⁸Tiertime was formerly (= before 2013) known as Beijing Yinhua Laser Rapid Prototyping and Mould Technology Co., Ltd., a company created by a Tsinghua Professor Yan Yongnian, who is recognized as the first person to explore 3D printing in China.

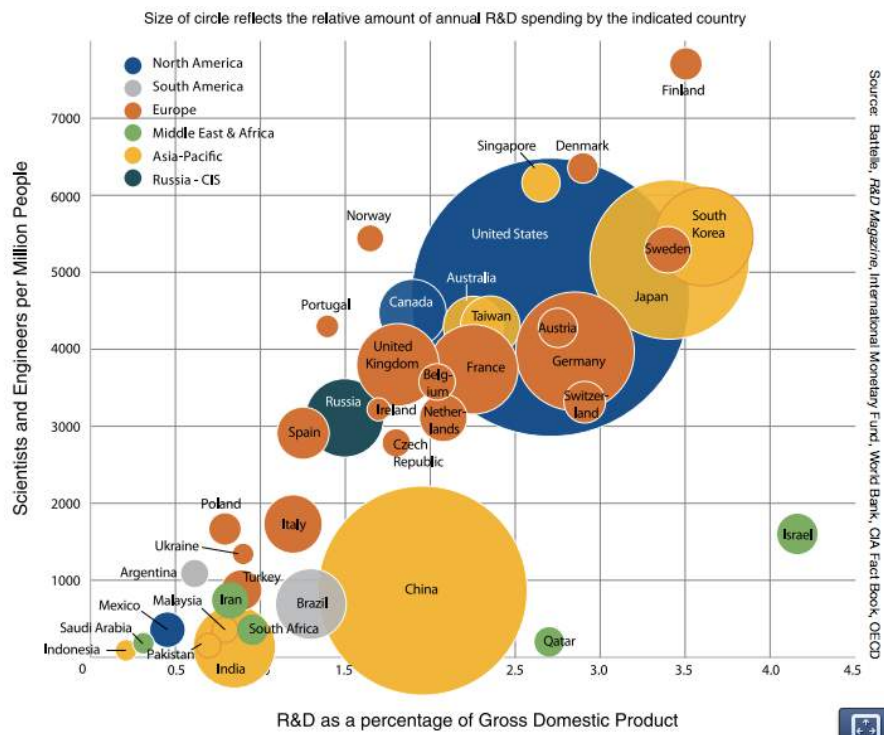
³⁴⁹China sees more demand for 3-D software products (26.11.2013): http://europe.chinadaily.com.cn/business/2013-11/26/content_17132491.htm

³⁵⁰Boeing a, depuis le milieu des années 80', fabriqué grâce aux imprimantes 3D, plus de 20.000 pièces différentes incorporées dans près de 10 types d'appareils militaires et commerciaux, y compris le Dreamliner A380. Voir : Military puts 3D through its paces (23.01.2015): http://europe.chinadaily.com.cn/epaper/2015-01/23/content_19386187.htm

Dépenses de R&D : La Chine va prochainement détronner les États-Unis
DIRD, en millions USD en PPA (2005), 2000-12, puis projections jusqu'à 2024



Source : Science, technologie et industrie - Perspectives de l'OCDE 2014 © OCDE 2014



The report also notes that while national budget constraints in the West will most likely continue to stifle investments in innovation, **China is investing in technology on an unprecedented scale** that utilizes global research assets to drive their national ascendancy. (2014 R&D Magazine Global Funding Forecast): <http://politiques-innovation.org/publication-du-2014-rd-magazine-global-funding-forecast/>



TECHNOLOGIES ADDITIVES – PANORAMA INTERNATIONAL SINGAPOUR

CONTEXTE

Les premiers travaux menés sur le thème de la fabrication additive remontent à 25 ans environ. Initiés sous l'impulsion du Pr. Chua Chee Kai (UTN), ils bénéficient du soutien des autorités, réaffirmé encore récemment par le Premier ministre, M. Lee Hsien Loong³⁵¹.

Pour celui-ci, en effet, le secteur manufacturier doit rester un pilier essentiel de l'économie locale parce qu'il contribue à plus de 20% du PIB et a des retombées positives sur de nombreux secteurs aval. Dans ce contexte, la fabrication additive est clairement valorisée parce qu'elle favorise une productivité accrue³⁵².

LES INSTRUMENTS DE POLITIQUE PUBLIQUE

► En mars 2013, le gouvernement a lancé un programme national de développement de l'industrie (FoM program) visant à renforcer considérablement les compétences nécessaires à la maîtrise des technologies de rupture (« disruptive technologies ») - en particulier les technologies avancées de fabrication, dont la fabrication additive – et l'adaptation des business models à la « customisation de masse ».

"Additive Manufacturing is a disruptive technology that will change the current mode of operation for most of the adopters. It should not be seen as a one-off replacement of a particular manufacturing machine on the production floor. AM has the potential to replace a manufacturing line and even create a totally different value stream within a company," (Yeong Wai Yee / UTN).

Source: The Future of Manufacturing Industry Dialogue (Singapore Manufacturing Federation) – Forum du 07.08.14. <http://www.smfederation.org.sg/index.php/news/show/the-future-of-manufacturing-industry-dialogue>

Cette décision s'est concrétisée par la mise en place, via le Development Economic Board³⁵³, d'un programme d'investissement dédié d'une durée de 5 ans et doté d'un budget de 500 M\$³⁵⁴.

► C'est l'Agence nationale pour la recherche et l'innovation technologique (A*STAR)³⁵⁵ qui a été chargée de le mettre en œuvre dans le but de développer un certain nombre de technologies critiques destinées à rendre la fabrication additive particulièrement compétitive au service d'industries particulièrement stratégiques telles que l'aéronautique, l'automobile, la construction navale, l'énergie et l'ingénierie de précision.

³⁵¹ Discours prononcé à l'occasion du 80^e anniversaire de la Singapore Manufacturers' Federation le 6 novembre 2014 : <http://www.pmo.gov.sg/mediacentre/speech-prime-minister-lee-hsien-loong-singapore-manufacturers-federation-80th>

³⁵² "We need to improve productivity across the whole value chain, which is especially important as we approach our physical limits of growth and we reduce our inflow of foreign workers." (Ibidem)

³⁵³ Voir les recommandations faites par cet organisme public en fin de document.

³⁵⁴ <http://news.asiaone.com/News/Latest+News/Science+and+Tech/Story/A1Story20130226-404649.html> (The Straits Times, 28.02.13)
Voir aussi: "Announced in Budget 2013, this funding is part of government's Future of Manufacturing (FoM) programme aiming to get Singapore's manufacturing firms to embrace disruptive technologies such as 3D printing and Robotics, and **new business models such as mass customisation**. The \$500 million funding will be used to upgrade skills among workers and engineers as well as "exploring the potential of building a new 3D printing industry ecosystem". Source: <http://www.3ders.org/articles/20130325-singapore-to-invest-500-million-in-3d-printing.html>

³⁵⁵ Cette agence nationale a été créée en 2002 sur la base de la NSTB, elle-même mise en place en 1991.

L'ENGAGEMENT PARTICULIER DE L'UNIVERSITÉ DE NANYANG (UTN)

Sous la houlette du Pr. Chua, qui dirige le NAMC³⁵⁷, l'Université est devenue l'un des principaux leaders asiatiques dans ce secteur d'activité qui « a transformé la façon dont les ingénieurs conçoivent désormais les produits car il ouvre un monde nouveau en matière de design. »

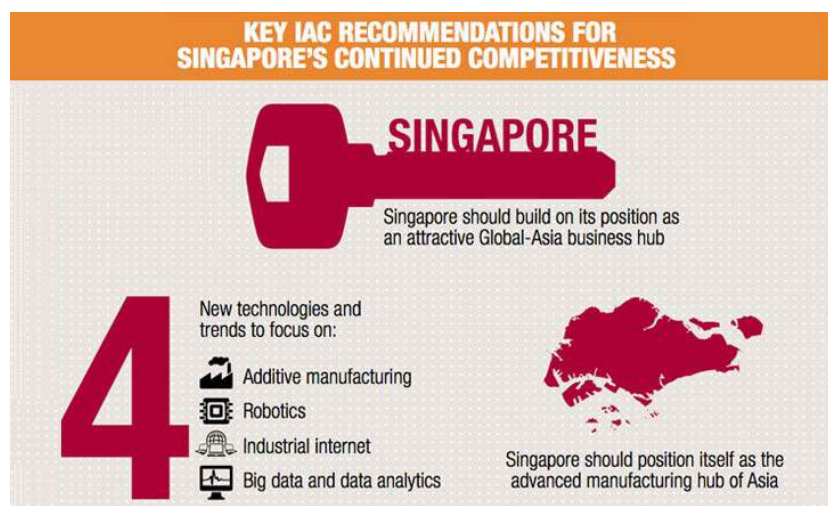
Pour y parvenir, plusieurs accords de partenariat ont été noués avec des entreprises, d'abord locales, telles que l'électronicien Molex Corporation, puis internationales. Ainsi, en mai dernier, NTU a signé un accord de 4,8 M\$ avec l'un des principaux fabricants mondiaux d'imprimantes, SLM Solutions.

Quelques initiatives récentes et chantiers d'avenir liés aux technologies additives

- Impression de circuits électroniques flexibles (décembre 2014) : La principale avancée technologique de ce projet est la méthode d'impression utilisée qui est entièrement additive. Ainsi elle ne nécessite aucune utilisation de produits chimiques toxiques ou agents oxydants, ce qui la rend, sur cet aspect, écologique.
- Genesis 3D Printer, conçue par les étudiants de NTU, réussit sa levée de fonds (octobre 2014) : Cette imprimante permettra de scanner un objet, de proposer une modélisation 3D et d'imprimer des objets en 3D, d'un volume maximum de 6.650 cm³ grâce à sa plateforme rotative.
- Un centre de recherche pour l'impression 3D ouvre ses portes à Singapour (juin 2014) : ce partenariat avec SLM Solutions vise à développer les nouvelles générations d'imprimantes 3D, permettant d'atteindre des échelles d'impression bien plus importantes qu'actuellement, et en utilisant tout type de matériaux. Ce centre concentrera ses efforts sur l'impression de dispositifs médicaux et de tissus. Comme première initiative pour cristalliser l'intérêt des étudiants et du public, le centre a accueilli la première compétition d'impression 3D à Singapour sur le thème des bijoux et de l'architecture, avec des prix allant jusqu'à SGD 10.000.

Recommandations de l'Economic Development Board (septembre 2013) :

<http://www.edb.gov.sg/content/edb/en/news-and-events/news/singapore-business-news/Feature/singapore-from-strength-to-strength.html>



³⁵⁶ For example, SIMTech has worked with one local company, Tru-Marine, to use additive manufacturing instead of manual welding so as to repair turbochargers, and to cut the time taken to do the job from four days to two hours.

³⁵⁷ Le NTU Additive Manufacturing Centre (budget : 30 MSGD) fonctionne avec une équipe de 30 professeurs et de 100 chercheurs. Pour en savoir plus : <http://namc.mae.ntu.edu.sg/NewsEvents/Pages/News-Detail.aspx?news=210ce1e2-d8dd-4ce5-9eb7-1c26d09e3929&print=1> (10.11.2014)

Bioprinting (02.09.14):

<http://www.edb.gov.sg/content/edb/en/news-and-events/news/singapore-business-news/Industry/bioprinting-may-soon-remove-organ-transplant-waitlist.html>

Medical 3D Printing Set For Growth (10.07.14):

<http://www.edb.gov.sg/content/edb/en/news-and-events/news/singapore-business-news/Industry/3d-printing-in-healthcare-sector-set-for-exponential-growth.html>

The market for the three-dimensional printing of human tissues, organs and other medical products could be worth \$1.1 billion by 2020, according to research firm Frost & Sullivan. Healthcare is expected to represent 16 % of the total 3D printing industry by then, compared to less than one percent today, said Rhenu Bhuller, senior vice president of healthcare at the company. As a technological advance, 3D printing has been hailed as revolutionary, with the potential to transform manufacturing in the consumer goods, automotive, defence and healthcare industries. Starting out as a way for designers to produce rapid prototypes, 3D printing technology has developed to the point where many believe it could one day be used to produce livers or kidneys for human transplant.

Students build solar car with 3D-printed body (02.02.2015):

<http://www.globaltimes.cn/content/905386.shtml>

Students at Singapore's Nanyang Technological University have built an urban solar electric car with a 3D-printed body, the university said on Monday. The car named NTU Venture 8 is mounted on a carbon fiber single shell chassis. The cars were designed from scratch and the students spent over a year to build them. The students used the latest engineering techniques to develop innovations such as silicon solar cells that can be contoured to follow the car's shape

"We are extremely proud to have designed and assembled a 3D- printed body shell for the electric car," said Ng Heong Wah, an associate professor at the university. "The 3D printed car body was pushing existing technology to the limits and we are so pleased that it has paid off."

Students said that they used the 3D-printing technology to build the cabin from lightweight plastic so as to maximize the internal space and driver's comfort while still being able to keeping the weight to a minimum. Despite being an urban concept car, it can reach a top speed of 60 km/h, while maintaining low energy consumption.

The students will take the NTU Venture 8 to participate in the Shell Eco-marathon Asia competition this year, under the Urban Concept category. Teams with more "roadworthy" fuel-efficient vehicles fall in this category, it said.

The students also built the NTU Venture 9, a three-wheeled racer, which can "take sharp corners with little loss in speed" due to its unique tilting ability inspired by motorcycle racing, the university said. It features hand-made silicon solar cells and will be in the Prototype category at the Shell competition.

ANNEXE 7 : STRATÉGIE INTERNATIONALE DES ACTEURS PRIVÉS

A – LES DIFFÉRENTES CATÉGORIES D'ACTEURS : 4 PROFILS-CLÉS

Le paysage de l'impression 3D est en train de connaître de grandes mutations, qui se traduisent par une fragilisation accrue des grands fabricants « historiques » d'équipement spécialisé. Les pionniers des années 80 doivent aujourd'hui faire face à de nouveaux acteurs décomplexés, qui ébranlent leurs certitudes (et celle des investisseurs), en étant chaque jour plus inventifs.

Si l'on rajoute à ce tableau la diversification géographique – indéniable - des entreprises qui se réclament du monde de la fabrication additive, il se pourrait bien que les acquis de ces toutes dernières années soient remis en question d'ici à fin 2016.

1 - Les grands fabricants d'équipement dédié : effervescence + concurrence = turbulences !

Au vu des derniers résultats boursiers – préoccupants, pour ne pas dire inquiétants - des leaders, il convient de s'interroger : « bulle spéculative » ou tassement avant un probable rebond ?

Les plus grands fabricants mondiaux (3D Systems, Statasys, Voxeljet...) ont, en effet, connu une année 2014 marquée par de grandes fluctuations de la valeur de leurs actions, aboutissant, en particulier dans le cas de 3D Systems, à une spectaculaire érosion de leur capital³⁵⁸.

Ces turbulences traduisent les hésitations des investisseurs face à un marché dont ils anticipent l'expansion probable, tout en mesurant assez mal la manière dont cette croissance s'opère...et en craignant une certaine fuite en avant des acteurs majeurs, qui ont pratiqué une très ambitieuse (et aventureuse ?) politique d'acquisitions à travers le monde.

Cette fragilité doit faire réfléchir, tant les industriels eux-mêmes, que les pouvoirs publics qui les soutiennent.

Pour autant, elle tendrait plutôt à inciter à la prudence qu'au découragement car il convient objectivement de tenir compte de plusieurs facteurs « correctifs », voire encourageants :

- Cette crise a touché les « majors », de façon hétérogène, certes, mais suffisamment pour que l'on puisse considérer que c'est le secteur d'activité qui a pâti du phénomène, et non un acteur isolé, qui aurait été particulièrement mal géré ;
- Même si ce secteur accueille régulièrement de nouveaux entrants (aux Etats-Unis³⁵⁹, mais aussi en Chine et dans un nombre croissant de pays tiers), il continue à être extrêmement concentré, y compris en France, du fait des stratégies d'expansion internationale développées par les plus gros opérateurs ;
- Ces entreprises continuent en effet à investir lourdement en acquisitions, à travers le monde, en particulier pour développer une vraie présence sur les marchés émergents (Moyen-Orient, Amérique latine, Afrique)³⁶⁰, ainsi qu'en R&D, pour couvrir le maximum de « facettes » du marché, y compris les segments émergents, que personne n'aurait anticipé il y a seulement cinq ans,
- La baisse relative de l'euro et du yen par rapport au dollar US, intervenue ces derniers mois, ainsi que l'évolution à la baisse des prix des produits pétroliers, a conduit les principaux clients (aéronautique,

³⁵⁸ Voir fiche consacrée à 3D Systems en annexe.

³⁵⁹ Comme l'indique Terry Wohlers, expert international de ce secteur : « Aux Etats-Unis, les sites de crowdfunding ont permis le démarrage de plusieurs start-up avec des projets d'imprimantes 3D. On peut dire que c'est une manière de démocratiser la fabrication (industrielle). Associé au crowdfunding, l'effet de sensibilisation du public a été double, en particulier s'agissant des jeunes, qui estiment que ces techniques associent « high-tech », créativité et dépassement de la connaissance, le tout sur un mode « cool », à la fois attractif et ludique.

³⁶⁰ Ainsi, 3D Systems aurait consenti des investissements à hauteur de 250 M\$/an ces trois dernières années au titre de ses acquisitions et prises de participation dans le monde.

automobile, santé,...) à modifier à la baisse leurs politiques d'achats, mais les commandes semblent « relever le nez » au début du 2^e trimestre 2015³⁶¹ ;

- Les perspectives de croissance globale du marché de l'impression 3D restent attractives³⁶², ce qui explique sans doute que, malgré les baisses constatées, les analystes confirment quand même (mais jusqu'à quand ?) leur confiance dans les opérateurs majeurs, qui maintiennent créativité, acquisitions et réserves de cash.

A titre d'illustration de ce chapitre, une série de fiches en annexe vise à présenter les données les plus importantes qui caractérisent les principaux fabricants de matériel d'impression 3D.

2 – Les « industriels ensembleurs » : des locomotives relativement discrètes... mais puissantes !

Si le secteur évolue vite, cela résulte aussi des stratégies mises en œuvre par les grands groupes industriels, qui sont, de longue date, utilisateurs de l'impression 3D.

Certains d'entre eux (ex. GE, BMW, ... voir exemples ci-après), convaincus depuis longtemps de l'intérêt de ces technologies, les utilisent de manière croissante, soit directement, soit en faisant « passer le message » auprès de leurs sous-traitants, sans que cela soit nécessairement relayé largement dans les médias.

Les autres semblent plus hésitants, ce que confirme une enquête Technology Forecast, menée par PriceWaterhouseCoopers en février 2014³⁶³. Selon ce document, **deux-tiers des cent plus grandes entreprises industrielles sont déjà utilisatrices de l'impression 3D** ... mais:

- le recours à ces technologies n'est pas orienté majoritairement vers la production, le prototypage restant largement dominant (cf Ford Motors),
- plus de 43% de ceux qui déclarent utiliser l'impression 3D s'interrogent sur la manière dont ils pourraient faire évoluer cette utilisation.

Ce type d'interrogation aura, selon la manière dont les industriels y répondent, une très grande incidence sur le développement futur de l'impression 3D.

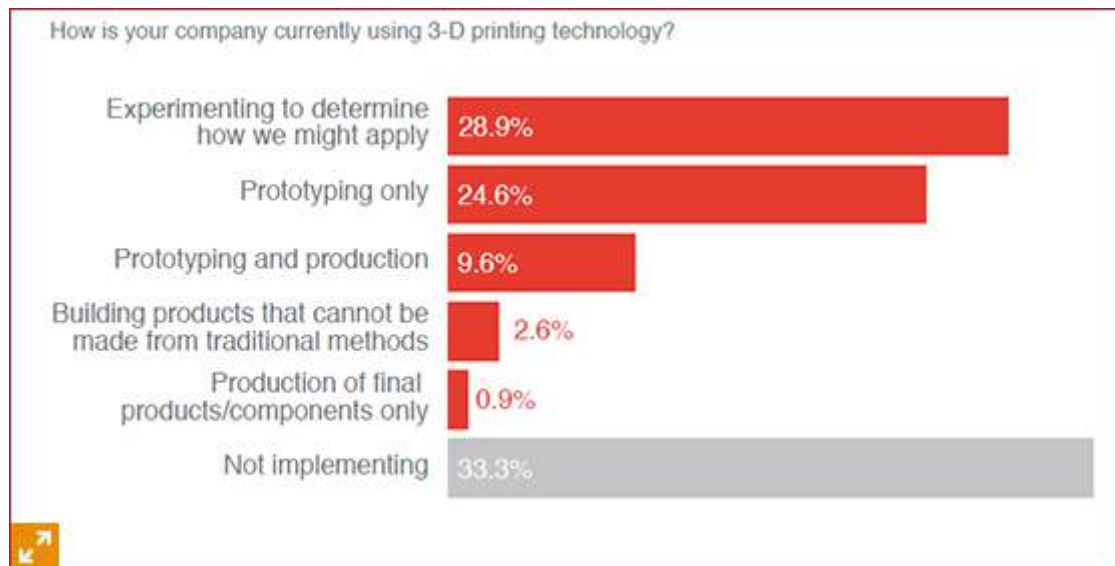
Utilisations actuelles de l'impression 3D : jusqu'à maintenant, le prototypage a facilité l'intégration de ces techniques dans les processus de fabrication industrielle. Cette tendance semble devoir se confirmer dans l'avenir.

³⁶¹ « Etant entrés dans le second trimestre 2015, nous constatons que le niveau de nos commandes dépasse celui de l'année dernière à pareille époque. Précisément, les OEM, qui avaient marqué une pause dans leurs achats, le temps d'évaluer les effets des fluctuations monétaires et des cours des matières premières sur leur propre stratégie, ont recommencé à nous contacter et procèdent maintenant aux achats qu'ils avaient différés. »

(Avi Reichental, PdG, 3D Systems, interrogé à l'occasion de la présentation des comptes du 1^{er} trimestre 2015, le 24.04.15 : http://seekingalpha.com/article/3101316-3d-systems-ddd-ceo-avi-reichental-on-q1-2015-preliminary-results-call-transcript?auth_param=13kg9e:1ajldg2:35307c1b1767c848f815d69dd7d07727&uprof=82&dr=1).

³⁶² Selon Canalys, le marché total des imprimantes 3D, ainsi que des fournitures et services associés, pourrait croître de 56% en 2015, malgré les déconvenues auxquelles les grands fabricants ont dû faire face en 2014 et début 2015 (18.04.15): http://seekingalpha.com/news/2434636-canalys-3d-printing-industry-to-grow-56-percent-in-2015-reach-20_2b-by-2019

³⁶³ Voir: http://www.pwc.com/en_US/us/technology-forecast/2014/3d-printing/features/assets/pwc-3d-printing-prototyping-finished-products.pdf



Perspectives d'utilisation de l'impression 3D dans plusieurs secteurs industriels³⁶⁴ :

INDUSTRY SECTOR	SOME EMERGING AND NEAR-TERM FUTURE USES OF 3-D PRINTING
Automotive and industrial manufacturing	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consolidate many components into a single complex part ▪ Create production tooling ▪ Produce spare parts and components ▪ Faster product development cycle with rapid prototyping, form and fit testing
Aerospace	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Create complex geometry parts not possible with traditional manufacturing • Control density, stiffness, and other material properties of a part; also grade such properties over a part • Create lighter parts
Pharma/ Healthcare	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plan surgery using precise anatomical models based on CT scan or MRI ▪ Develop custom orthopedic implants and prosthetics ▪ Use 3-D printed cadavers for medical training ▪ Bioprint live tissues for testing during drug development
Retail	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Create custom toys, jewelry, games, home decorations, and other products ▪ Print spare or replacement parts for auto or home repair, for example
Sports	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Create complex geometry and shape not possible with traditional manufacturing ▪ Create custom protective gear for better fit and safety ▪ Create custom spike plates for soccer shoes based on biomechanical data ▪ Create multi-color and multi-material prototypes for product testing.

³⁶⁴ Source : Etude PWC déjà citée.

Quelques exemples :



Des moteurs d'avion « new look » grâce à l'emploi de pièces « 3D-printed ».
Le « colosse » de Schenectady, qui revendique le rôle de **plus grand utilisateur mondial de l'impression 3D dans le domaine des métaux**, indique, dans sa présentation stratégique la plus récente, vouloir renforcer ses investissements³⁶⁵ dans ce domaine, qu'il place « au croisement du hardware et du software ».

A titre d'illustration de l'importance de cette technologie dans l'activité de ce géant, le projet de GE Aviation consistant à intégrer 19 injecteurs à carburant d'un nouveau type dans chaque moteur du nouveau CFM LEAP. Ce projet, développé en coopération avec la SNECMA (Safran), aboutira, en 2016, à la réalisation de ces pièces, **qu'il n'est pas possible de fabriquer autrement**.

Plus légères (de 25%) que les pièces de ce type antérieurement fabriquées, leur design simplifié les rendra également plus performantes et leur durée de vie sera multipliée par cinq.

→ Rien que dans le cadre du projet CFM LEAP, GE Aviation prévoit de fabriquer, d'ici à la fin de la décennie, plus de 100.000 pièces via l'impression 3D³⁶⁶.

→ Et cela a forcément une incidence sur la stratégie d'équipementiers de deuxième rang, tels que Pratt & Whitney³⁶⁷, qui fournit Bombardier.



Métal ou plastique : polyvalence rime avec efficacité

Comme ses concurrents (Airbus³⁶⁸ ou Lockheed Martin), Boeing est déjà un grand utilisateur de l'impression 3D³⁶⁹ (matériel Stratasys) :

- celle-ci sert à fabriquer quelque 300 types de pièces entrant dans la construction de 10 modèles d'avion différents (à titre d'exemple, 150 pièces composant la partie antérieure du fuselage du F/A-18 Super Hornet sont réalisées de cette façon),

- 20.000 pièces en plastique, fabriquées de cette façon, seraient déjà en service dans la flotte existante.

En outre, la compagnie vient de déposer (le 5 mars 2015) un brevet³⁷⁰ portant sur le mode de fabrication des pièces de rechange, qui pourrait révolutionner la maintenance de ses appareils.

NB : Ces deux compagnies, qui travaillent en coopération, viennent d'ailleurs d'obtenir une certification de la FAA (U.S. Federal Aviation Administration) pour une pièce fabriquée par impression 3D, qui va être intégrée sur plus de 400 moteurs GE90-94B destinés à équiper des Boeing 777 : <http://3dprinting.com/news/ge-aviation-gets-faa-certification-for-first-3d-printed-jet-engine-part/>



Le groupe Michelin, leader mondial du pneumatique dans un environnement très concurrentiel consacre un effort très important dans l'amélioration de ses produits. Présents dans 170 pays, et utilisant 80 usines à travers le monde, Michelin a inscrit sa stratégie industrielle et le développement de l'entreprise comme résolument centrée sur le numérique, qu'il s'agisse des relations avec ses clients, de son marketing, ou de son organisation industrielle. Au niveau de sa R&D, Michelin travaille sur la fabrication additive depuis près de 10 ans en ayant fait l'acquisition de machines du constructeur français Phenix basé comme lui à Clermont-Ferrand. Les géométries de pneus sont des éléments extrêmement complexes et Michelin travaille notamment sur l'amélioration des outillages : la fabrication additive sera l'un de ses axes stratégiques. Michelin et Fives ont rendu public le 7 septembre 2015 la constitution d'une joint-venture dont l'ambition est de devenir un acteur clé mondial de l'impression 3D métal (voir annexe 11).

³⁶⁵ « We are currently making substantial investments in advanced manufacturing. We are developing a common approach to materials and additive manufacturing. We expect to significantly increase the number of our parts manufactured through additive processes by 2020 with advancements in all of our businesses. » (extrait du rapport d'activité 2014: <http://www.ge.com/ar2014/ceo-letter/>). Pour mémoire, les liens entre GE et la France sont très importants, du fait du rachat, en mai 2014, de la division « Power & Grid » d'Alstom et de la coopération nouée avec la SNECMA pour le développement de l'un des deux produits-phares de la compagnie.

³⁶⁶ Voir : <http://www.geglobalresearch.com/innovation/3d-printing-creates-new-parts-aircraft-engines>

³⁶⁷ Voir : <http://3dprint.com/55492/pratt-whitney-jet-engine-parts/>

³⁶⁸ Airbus a récemment confirmé avoir produit par impression 3D plus de 1 000 pièces de son A350 XWB dans le cadre de la commande livrée à Qatar Airways en décembre dernier. <http://3dprintingindustry.com/2015/05/06/airbus-a350-xwb-takes-off-with-over-1000-3d-printed-parts/>

³⁶⁹ Voir : <http://3dprint.com/49489/boeing-3d-print/>

³⁷⁰ <http://www.geekwire.com/2015/boeing-files-patent-for-3d-printing-of-aircraft-parts-and-yes-its-already-using-them/>



100.000 composants fabriqués chaque année au RTC de Munich.

Le constructeur bavarois utilise les techniques d'impression 3D depuis la fin des années 80. Le RTC (Rapid Technologies Center), intégré au centre de recherche et d'innovation (FIZ) du groupe, traite les requêtes qui lui parviennent de l'ensemble des clients internes, ce qui aboutit, chaque année, à satisfaire environ 25 000 demandes liées au prototypage et à produire près de 100 000 composants. Les pièces de rechange, quant à elles, sont disponibles en quelques jours.

Cette activité connaît des développements jusque dans la compétition automobile, puisque, tout récemment, un composant de pompe à eau destiné aux engins de F1 de la marque a été mis au point par ce canal³⁷¹.

Par ailleurs, Stratasys a développé un programme de coopération avec BMW dans le domaine des fixations, pour l'usine de Regensburg³⁷².

Un leader mondial, qui se hâte... avec lenteur !



Le second constructeur automobile US (187.000 employés, 62 usines dans le monde) a exploré les possibilités offertes par la stéréolithographie dès que celle-ci a commencé à se développer³⁷³. Cependant, alors que le géant du Michigan confirmait publiquement à plusieurs reprises que le recours à la fabrication additive permettait de réduire le temps et les coûts de fabrication³⁷⁴, il n'a pas indiqué recourir massivement à ces techniques, sauf dans le domaine du prototypage³⁷⁵. Vérité ou artifice stratégique ?

Même si le designer « maison » indique que cela ne changera pas (...), cette affirmation est en partie démentie³⁷⁶ par le fait que, selon Automotive News, Ford aurait, en 2013, produit 20.000 pièces imprimées (soit quatre fois que cinq ans plus tôt) dans un atelier discret situé à proximité du siège de la compagnie, pour équiper sa B-Max et sa Kuga. Il faut en déduire que ceux qui agissent le plus ne sont pas forcément ceux qui sont les plus déserts !

En tout état de cause, le marché devrait fortement évoluer dans la mesure où, selon certains experts, la valeur de la fabrication additive dans l'automobile devrait être multipliée par cinq d'ici à 2019, et passer de 267 M\$ à plus de 1,25 MM\$³⁷⁷. Toutefois, pour des raisons de rentabilité, seuls certains types de pièces seront produits de cette façon (par ex. les prises d'air du futur modèle de Mercedes-Benz Classe S qui sortira des ateliers en 2018).

³⁷¹ <https://www.press.bmwgroup.com/global/pressDetail.html?title=racing-technology-right-from-the-3d-printer-bmw-makes-water-pump-wheel-for-dtm-racecars-using&outputChannelId=6&id=T0215062EN>

³⁷² <http://www.stratasys.com/resources/case-studies/automotive/bmw>

³⁷³ Il aurait ainsi acquis, en 1988, la 3^{ème} imprimante 3D existant sur le marché !

³⁷⁴ Selon Harold Sears, expert de la fabrication additive travaillant pour le compte de Ford, indique : « Sans ces procédés, Ford ne serait tout simplement pas en mesure de respecter les délais de construction de ses nouveaux modèles de véhicules. La société est aujourd'hui tout à fait dépendante de l'impression 3D pour créer les nouvelles pièces qui rentreront dans la fabrication de ceux-ci. »

³⁷⁵ En décembre dernier, la 500.000^e pièce produite grâce à l'impression 3D était le prototype de coiffe d'un carter de moteur destiné au tout nouveau modèle de Mustang. Voir : https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2013/12/12/ford_s-3d-printed-auto-parts-save-millions--boost-quality.html. Le groupe dispose de 5 centres spécialisés dans le prototypage (3 aux Etats-Unis et 2 en Europe). Selon des estimations de 2014, celui de Dearborn Heights, équipé d'un parc de 14 imprimantes industrielles de configuration variée, produirait, à lui seul, 20.000 pièces par an.

<http://www.computerworld.com/article/2490192/emerging-technology-inside-ford-s-3d-printing-lab-where-thousands-of-parts-are-made.html>,

<http://www.autonews.com/article/20141027/OEM06/310279987/auto-industry-uses-3-d-printing-heavily-in-product-development>

³⁷⁶ D'ailleurs, en mai 2013, Sandro Piroddi, Superviseur du département « Rapid Technology » chez Ford Europe indiquait : "3-D printing means we can create all kinds of complex shapes and one-off components that would previously have required many man-hours and resources to produce manually or through machining. **It has huge potential for Ford vehicle production in the future.**" Voir : <http://www.carbodydesign.com/2013/05/virtual-reality-at-ford-3d-glasses-virtual-projections-and-3d-printing/>

³⁷⁷ <http://venturebeat.com/2015/01/03/3d-printing-in-auto-industry-should-quintuple-to-1-25bn-by-2019/>



Nike : tout faire pour trouver « chaussure à son pied » !

Dans le sillage d'une révolution entamée en 2012³⁷⁸, Nike Inc. n'a cessé d'innover pour rendre ses modèles de chaussures de football américain de plus en plus performantes, et, cela, grâce à l'impression 3D, le PdG Mark Parker, estimant que cette technologie avait fortement stimulé (« big boost ») le développement de l'entreprise et sa façon de concevoir ses produits. A la Nike Vapor Laser (2013) a succédé la Nike Vapor Carbon Elite (2014), puis la HyperAgility, produite grâce à la technologie SLS³⁷⁹. Enfin, la Vapor Ultimate (juillet 2014) ménage au sportif qui la chausse une « 2^{ème} peau » lui permettant d'allier vitesse et résistance... pour 200 € la paire. Pour autant, les concurrents (Reebok, Converse, Clarks et Adidas) ne restent pas inertes, car ce sont également de grands utilisateurs de l'impression 3D. En plus, malgré la forte avance technologique de ce géant, de nouveaux acteurs proposent, sans complexes, leurs propres solutions (voir §D, infra).

3 – Les fabricants d'imprimantes traditionnelles : de l'attentisme à l'action

Hewlett-Packard : des difficultés... mais des projets et des réserves financières.

Après trois ans de crise et de nombreuses suppressions d'emplois, le groupe US a dévoilé, en octobre 2014, un nouveau procédé d'impression 3D (Multi Jet Fusion) destiné aux professionnels, ainsi qu'un nouveau matériel multifonctionnel (combinant écran, tablette, projecteur et scanner 3D) offrant la possibilité de numériser un objet, puis de le manipuler virtuellement³⁸⁰.

En agissant ainsi, HP donne tort aux pessimistes qui voyaient les fabricants traditionnels d'imprimantes 2D distancés, voire menacés, par les explorateurs de la 3D. En fait, HP veut créer le même type de révolution qu'IBM, lorsque ce dernier a mis sur le marché l'ordinateur personnel en 1981.



Selon Terry Wohlers : « [HP] is going to rewrite the rules of 3D printing. I can envision companies purchasing expensive equipment and then putting it in moth balls when the new HP equipment becomes available³⁸¹. »

HP a exploité son incomparable savoir-faire acquis via les imprimantes à jet d'encre pour l'appliquer à des poudres de plastique, en travaillant à des échelles extrêmement réduites (5 microns, soit la moitié du diamètre d'un fil de soie) et en agissant sur la vitesse d'exécution (multiplication par 10 du débit des plus puissantes machines en service actuellement). Ces équipements, individuellement coûteux (au moins 150.000 \$ / pièce), doivent être testés chez des clients représentatifs d'ici à fin 2015, en vue d'un lancement sur le marché courant 2016. Il n'est pas sûr néanmoins qu'une éventuelle domination dans le secteur des plastiques permette de faire de même dans le domaine des métaux, qui nécessite d'autres savoir-faire³⁸².

En attendant, les déboires financiers de 3D Systems et de Stratasys pourraient offrir une belle opportunité à HP, car ce dernier disposait, au 31 janvier 2015, d'une réserve en cash de près de 13 MM\$³⁸³, largement suffisante pour racheter l'un ou l'autre de ces opérateurs et compléter ainsi sa gamme d'activités.

³⁷⁸ En fait, l'idée est née dès 1996 et a commencé à germer grâce à un partenariat avec l'athlète olympique Michaël Johnson.

³⁷⁹ <http://www.3ders.org/articles/20140227-nike-debuts-second-football-cleat-built-using-3d-printing.html>

<http://3dprintingindustry.com/2013/02/25/nike-has-just-done-it-first-3d-printed-football-cleat/>

³⁸⁰ <http://sprout.hp.com/us/en>

³⁸¹ <http://www.8.hp.com/us/en/commercial-printers/floater/3Dprinting.html>

³⁸² <http://www.forbes.com/sites/georgeanders/2014/10/29/hps-3d-print-breakthrough-could-push-rivals-out-of-business/>

³⁸³ HP is applying inkjet technology that allows the firm to leverage its printing expertise to the 3D market. Still, the firm is targeting the manufacturing market. **Acquiring 3D Systems or Stratasys would broaden Hewlett-Packard's addressable market in the growing sector.**

Source: http://seekingalpha.com/article/3115156-a-look-for-value-in-3d-systems-and-stratasys-after-the-sell-offs?auth_param=13kg9e:1ak49bl:6e14130cfc8611cbcd5658936aad5929&uprof=82&dr=1



Xerox : mieux vaut tard que jamais, surtout si l'on dispose d'une arme secrète !

Alors que la firme de Norwalk (Connecticut) a été pionnière dans le domaine de l'impression 2D, elle donnait l'impression de rester en dehors du phénomène de l'impression 3D, laissant la part belle à HP. Or Xerox a déposé fin janvier dernier³⁸⁴ un brevet portant sur un dispositif d'impression 3D sur une surface en rotation, modifiant ainsi l'approche traditionnelle qui consiste plutôt à rendre mobile la tête d'imprimante.

L'entreprise place aussi son invention sous le signe de la tendance à une plus grande prise en compte de la durabilité. En effet, l'appréciation selon laquelle la fabrication additive occasionnerait moins de pertes de substance que les techniques soustractives classiques apparaît assez consensuelle. Pour autant, les rédacteurs du brevet estiment que « les procédés tridimensionnels existants... mettent en œuvre des techniques qui, en règle générale, sont lentes et génératrices de déchets ».

4 - Nouveaux entrants et métiers connexes

- Dans le secteur des fabricants d'équipements pour l'impression 3D, *stricto sensu*, une nouvelle catégorie d'acteurs a, selon l'étude PWC précitée, émergé au cours des deux-trois dernières années. En effet, la perspective de l'extinction des brevets les plus anciens, couplée à l'espoir de pouvoir toucher de nouveaux marchés, jugés prometteurs, a stimulé la créativité, la recherche, et, donc, la concurrence.

C'est ainsi que ces nouveaux fabricants proposent des produits de qualité, aisément utilisables et généralement moins chers que ceux des fabricants « installés ». De la même façon, la fourniture de produits dérivés et de services connexes s'est fortement diversifiée, en même temps que la gamme des matériaux utilisés, seuls ou combinés entre eux, s'élargissait notablement.



La chaussure de sport : objet de performance, objet de concurrence.

Si Nike ou Adidas restent d'incontestables « géants », la porte n'est pas fermée aux esprits curieux et innovants. Ainsi, le fabricant espagnol de filament Recreus³⁸⁵ a conçu le FilaFlex, matériau aujourd'hui exporté dans 60 pays.

Grâce à ce matériau à haute performance, il a pu lancer sur le marché, début 2014, la Sneakerbot II, élaborée en liaison avec la plateforme Thingiverse.

Parallèlement, la firme new-yorkaise SOLS³⁸⁶ a mobilisé, entre avril 2014 et février 2015, plus de 17,5 M\$ de capitaux externes, dans le but de développer des produits destinés aux consommateurs finaux, ce qui l'a conduit à mettre au point des chaussures de sport à caractère orthopédique³⁸⁷, destinées à des athlètes souhaitant développer leurs activités, en dépit de handicaps légers.

- Quant aux grands groupes spécialisés dans d'autres secteurs d'activité, quoique encore peu présents sur ces créneaux, ils trouvent également des biais spécifiques pour prendre pied sur le marché de l'impression 3D.

³⁸⁴ Xerox Entering 3D Printing Space? Files Patent for 3D Printer with Rotating Print Bed: <http://3dprint.com/37905/rotating-print-bed-patent/>

³⁸⁵ Basée à Alicante, Recreus a été fondée en 2013 par Ignacio Garcia, designer industriel, après que celui-ci ait investi plusieurs années de son temps en R&D dans le domaine des matériaux élastiques. Voir : <http://recreus.com/en/>
<http://3dprintingindustry.com/2014/03/11/filaflex-3d-printer-filament-shoes/> - <http://www.sols.com/blog/category/product-updates/>

³⁸⁶ Egalement fondée en 2013, SOLS s'est développée dans le créneau de la fabrication de semelles, tout particulièrement à usage médical : <http://techcrunch.com/2015/02/27/sols-a-maker-of-3d-printed-shoe-insoles-raises-11-1-million-to-bring-its-product-to-consumers-and-athletes/>

³⁸⁷ <http://3dprint.com/11218/sols-launch-3d-printed-insoles/>

Deux exemples récents sont particulièrement éloquentes :

a – Agir collectivement pour faire évoluer les formats d'impression 3D : le consortium 3MF

<p>Founding Members of the 3MF Consortium are:</p> 	
<p>Pour renforcer sa présence sur ce marché, Microsoft a décidé de faire évoluer les formats d'impression des fichiers d'impression 3D pour en optimiser les avantages et en réduire les inconvénients. Pour cela, il s'est associé à six autres partenaires³⁸⁸, fabricants ou gros utilisateurs de ce type de matériel, dans le cadre d'un consortium <i>ad hoc</i>, qui s'engagent à mettre au point un fichier exploitable sur n'importe quel type de machine. Le futur format .3mf pourrait ainsi prendre le relais du format .amf rendu public en 2011 et, comme lui, être accessible en open source.</p>	

b – Préparer dès à présent le jouet de demain : Mattel et Autodesk lancent un programme de coopération pour faire rêver enfants... et parents



Une application pour adapter ses jouets à ses goûts³⁸⁹ ?

Le géant du jouet utilise déjà largement l'impression 3D pour fabriquer ses poupées Barbie, ainsi que les petites voitures de la gamme Hot Wheels. Le rapprochement entre les deux groupes vise à combiner le savoir-faire d'Autodesk³⁹⁰ en conception 3D et en impression 3D³⁹¹ et la puissance alliée à la créativité de Mattel. Il devrait déboucher, avant la fin de cette année, sur la mise au point d'applications qui permettront la customisation de ces jouets, voire des créations propres, en fonction des souhaits des utilisateurs.

³⁸⁸ Voir : <http://3dprintingindustry.com/2015/04/30/microsoft-announces-3mf-consortium-for-3d-printing-file-format/>

³⁸⁹ Voir : <http://3dprint.com/59435/mattel-autodesk-partnership/>

³⁹⁰ <http://usa.autodesk.com/company/>

³⁹¹ Via « Spark », sa plate-forme professionnelle publique de création de logiciels dédiés à l'impression 3D : <http://spark.autodesk.com/about>

Au final, ces développements posent les questions suivantes :

- Quel sera le **rythme effectif de croissance du marché**, sachant qu'un certain emballement³⁹² a ébranlé les assises des leaders du marché ?
- Cette croissance proviendra-t-elle des investissements consentis par les **grands industriels « ensembliers »** ou bien de ceux des **fabricants spécialisés en équipement 3D seulement** ?
- Quelle place occuperont les **« nouveaux » fabricants**, issus des marchés émergents ou de la fertilisation capitalistique des pays disposant d'une forte expérience industrielle ?
- Qui parmi les fabricants de machines, de poudres, de matières premières... ou parmi les clients des fabricants d'imprimantes 3D, dégagera les **meilleurs taux de rentabilité** ?

B - LES NOUVELLES TENDANCES : PLACE À LA CRÉATIVITÉ !

1 - Une spécialisation accrue des savoir-faire

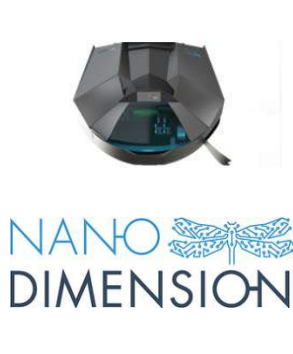
Pour faire la différence, les acteurs du système se battent sur plusieurs fronts :

- La taille des équipements et, surtout, les performances de ceux-ci, en termes de précision (micro-impression) ou de capacité (pièces de grande taille),
- La vitesse d'exécution,
- Les prix...

Voici quelques exemples de réalisations s'inscrivant dans le cadre de cette lutte concurrentielle :

INFINIMENT PETIT :

Une libellule israélienne au service des circuits imprimés



La société **Nano Dimension** a récemment présenté à Tel Aviv la Libellule 2020 (Dragonfly), premier prototype fonctionnel d'imprimante spécialisée dans l'impression 3D de cartes pour circuits imprimés [3D Printed Circuit Board (PCB) Printer]³⁹³.

Cette entreprise, dirigée Itschak Shrem, pionnier du capital-risque dans le pays (fondateur de Polaris/Pitango), a, en outre, déposé, fin février 2015, auprès de l'USPTO, une demande d'enregistrement de brevet portant sur un procédé unique de refroidissement et de recyclage des têtes d'impression tridimensionnelles.

³⁹² 3D Systems a connu un taux de croissance exceptionnel ces dernières années: CA 2014: + 653 M\$ (soit + 27% par rapport à l'exercice antérieur) et perspectives de CA 2015 : entre 850 et 900 M\$!

³⁹³ <http://3dprintingindustry.com/2015/04/22/welcome-to-the-nano-dimension-of-3d-printing-circuit-boards/>

TRAITEMENT DES PIÈCES DE GRANDE DIMENSION :

Un processus innovant « made in London »



Donner de la résistance au sable pour pouvoir travailler le métal ! La réalisation de moules destinés à produire des pièces métalliques de grande dimension pose plusieurs problèmes techniques, que la société londonienne 3Dealise Ltd. a cherché à résoudre.

A cette fin, elle a mis au point une méthode particulière de création de prototypes pour le compte de ses clients³⁹⁴. Une imprimante ExOne S-Max répartit une résine spéciale entre de fines couches de sable à usage industriel. Cette technique permet de travailler des volumes de 1800 x 1000 x 700 mm. Il est ainsi possible de créer directement des moules utilisables pour le formage de pièces métalliques d'un certain volume, en évitant certaines étapes fastidieuses du travail préparatoire. Le processus est raccourci, mais la qualité est préservée.

VITESSE D'EXÉCUTION :

Réalité ou propagande, une course permanente pour faire toujours mieux !



A l'occasion de la dernière Foire de Hanovre (avril 2015), Stratasys a présenté l'Objet1000Plus (cf ci-contre), qui fonctionne sensiblement plus vite (+ 40%) que le modèle antérieur du même type et qui peut servir à transformer plus de 100 matériaux différents³⁹⁵.

En même temps, la Multi Jet Fusion™ de HP – certes seulement disponible en 2016, sauf aléa majeur – propose une vitesse « révolutionnaire » **10 fois supérieure** à celles des appareils existants « à la date d'octobre 2014 »³⁹⁶.

GUERRE DES PRIX :

Batailles sur tous les fronts, de celui du consommateur/citoyen à celui de la grande entreprise !

► Pour les utilisateurs non professionnels, la décreue régulière des prix moyens des machines qui leur sont proposées, dans le cadre d'une bureautique relativement sophistiquée, est une bonne nouvelle, même s'il est évident qu'un plancher sera nécessairement atteint dans un proche avenir.

A titre d'exemple, trois jeunes entreprises proposent des produits innovants, traduisant bien cette tendance à la diversification de l'offre :

³⁹⁴ 3Dealise Uses One of The World's Largest Commercial 3D Sand Printers to Create Prototypes for Customer (12.11.2014); <http://3dprint.com/24370/3dealises-3d-sand-printer/>

³⁹⁵ <http://3dprintingmagazine.net/new-stratasys-large-scale-objet1000-plus-brings-enhanced-versatility-and-speed-to-additive-manufacturing/> <http://investors.stratasys.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=906068>

³⁹⁶ <http://h20195.www2.hp.com/v2/GetPDF.aspx/4AA5-5471ENW.pdf>



La Duplicator I3: Une imprimante “rustique” disponible pour 375 \$!

Wanhao USA, implantée à Miami, a mis sur le marché l'année dernière plusieurs imprimantes, qui, tout en étant robustes, étaient proposées à des prix accessibles³⁹⁷. Or, l'entreprise vient de lancer la Duplicator I3, un appareil encore plus abordable, puisqu'il est proposé en prévente en-deçà de 400,- € (montant considéré comme un seuil psychologique)³⁹⁸.

Sharebot: du garage à la cour des grands, en trois ans !

Cette jeune entreprise lombarde³⁹⁹ propose aux utilisateurs non professionnels une imprimante en kit (Kiwi 3D) qui vaut, selon qu'elle est assemblée ou non entre 570 € et 700 €⁴⁰⁰.

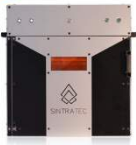


Micro 3D⁴⁰¹ cherchait à développer une imprimante destinée à fabriquer des objets de petite taille (10 cm), dont le prix ne dépasserait pas 300 \$. Apparemment, ce défi a intéressé le public, puisque ses promoteurs ont bénéficié, via le crowdfunding, d'un apport de plus d'1 M\$, au lieu des 50.000 \$ espérés.

► Pour répondre aux besoins des industriels, la guerre fait également rage, mais pas seulement en matière de prix, car la polyvalence (voir ci-après) fait l'objet de nombreuses attentions et initiatives (ce qui complique l'approche comparative). En voici quelques exemples :



 SINTRATEC



 sinterIT.com

- Le britannique Norge Ltd se proposait de commercialiser l'Ice1 aux alentours de 13.000 \$ (avant d'être racheté par Prodways).
- Sand Made⁴⁰² (cf ci-contre) se propose d'offrir la polyvalence à un prix abordable. La LS One, qui sera disponible cet automne, sera proposée à un prix moyen de 28.000 €⁴⁰³.
- Sharebot devrait présenter au public, cet automne également, sa première imprimante 3D SLS, à un prix unitaire inférieur à 35.000 €⁴⁰⁴ et travaille, dans le cadre du projet SnowWhite, à la mise au point d'une imprimante polyvalente qui sera proposée à un prix inférieur à 20.000 €⁴⁰⁵.
- Le suisse Sintratec a recueilli des fonds via Indiegogo, à l'automne dernier, pour pouvoir proposer une imprimante 3D multi-matériaux à moins de 5.000\$.
- La start-up polonaise SinterIT⁴⁰⁶, fondée par d'anciens salariés de Google et également soutenue financièrement via Indiegogo, a indiqué vouloir mettre sur le marché, d'ici à fin 2015, une imprimante 3D à moins de 5.000 \$.

³⁹⁷ Pour le démontrer, Wanhao s'affiche comme fournisseur du MIT et de plusieurs universités US (Arkansas, Arizona, Floride et Wisconsin) !

³⁹⁸ <http://3dprint.com/62585/wanhao-usa-duplicator-i3/>

³⁹⁹ Implantée à Nibionno, petite commune de la région de Lecce, Sharebot s.r.l. a été fondée fin 2011/début 2012 et se présente elle-même comme une ancienne « start-up de garage » : http://www.sharebot.it/downloads/press/sharebot_press.pdf

⁴⁰⁰ <http://www.sharebot.it/index.php/uncategorized/sharebot-ready-to-change-the-3d-print-market/?lang=en#>

⁴⁰¹ The Micro 3D Printers' Massive Million Dollar Crowdfunding Campaign: <https://printm3d.com/>

⁴⁰² Sand Made est une start-up polonaise fondée à Cracovie à l'été 2014 avec le soutien de l'Institut de Fonderie de la ville et l'accélérateur MARR : <http://www.3ders.org/articles/20150508-polish-start-up-sand-made-to-debut-their-sls-3d-printer-at-the-tedx-krakow-in-june.html>

⁴⁰³ <http://3dprint.com/63790/sand-made-sls-3d-printer/>

⁴⁰⁴ <http://3dprintingindustry.com/2015/05/10/exclusive-new-details-emerge-on-sharebots-sls-3d-printers-price-and-launch-date/>

⁴⁰⁵ <http://3dprint.com/54870/snowwhite-sls-printer/>

⁴⁰⁶ <http://3dprint.com/25453/sinterit-sls-3d-printer/>

<http://3dprintingindustry.com/2015/04/23/coming-soon-a-5000-sls-3d-printer-from-sinterit/>

Il est vrai qu'il y a une marge de manœuvre importante puisque, par exemple, Stratasys commercialise une gamme très complète d'imprimantes professionnelles, dont les prix unitaires s'échelonnent entre 10.000 \$ et 600.000\$.

2 - La volonté d'exploiter l'AM d'une façon de plus en plus sophistiquée, en l'appliquant à un nombre croissant de matériaux ou d'alliages, en faisant évoluer les conditions de cette exploitation

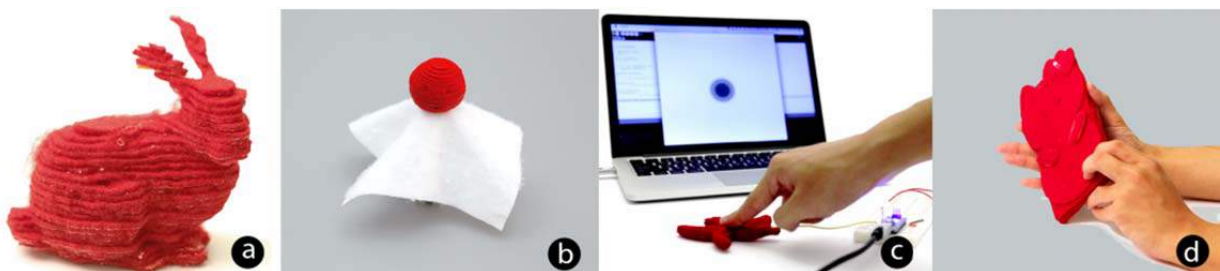
Le défi des nouveaux matériaux :

- Depuis 2012, un effort particulier est consenti pour perfectionner les matériaux de base employés jusqu'à présent. S'agissant par exemple des plastiques, les entreprises n'ont pu, pendant longtemps, compter que sur deux matériaux de base : l'ABS (utilisé pour fabriquer les briques Lego) et le PLA. Mais le premier nécessite l'emploi de températures élevées, tandis que le second s'effrite avec le temps. Aujourd'hui les innovations se sont multipliées et, pour n'en citer que deux, le Nylon proposé par Taulman⁴⁰⁷ combine solidité et résistance aux solvants. Quant au Proto-Pasta⁴⁰⁸ (« exotic filament »), il allie les avantages du PLA à la résistance de la fibre de carbone. Des usages combinés ont également été rendus possibles : ainsi, le Carbomorph, développé par l'Université de Warwick, peut être utilisé comme matériau conducteur⁴⁰⁹.
- Il est aussi possible d'innover complètement (voir expérience menée par Disney Research, ci-après). C'est ce qui a conduit, notamment, à aborder le domaine alimentaire (cf infra).



Le groupe Disney investit un nouveau matériau : le tissu⁴¹⁰

Au lieu d'utiliser les matériaux traditionnels, une équipe de chercheurs de la multinationale du divertissement, a choisi d'investir le secteur du tissu. Simplifié à l'extrême, le procédé en est encore au stade expérimental, mais le fait qu'un groupe de cette envergure décide d'étudier les possibilités de l'impression 3D laisse augurer des développements considérables dans les prochaines années.



⁴⁰⁷ <http://www.taulman3d.com/>

⁴⁰⁸ <http://www.proto-pasta.com/>

⁴⁰⁹ Exemples cités dans : <http://3dprint.com/11195/3d-printing-market-future/>

⁴¹⁰ <http://www.disneyresearch.com/wp-content/uploads/A-Layered-Fabric-3D-Printer-for-Soft-Interactive-Objects-Paper.pdf>
<http://3dprint.com/59116/disney-research-fabric-printer/>

FAIRE DE LA POLYVALENCE UNE ARME DE MARKETING :

Lorsque Sand Made veut proposer un matériel au secteur de la fonderie, qui a soutenu la création de l'entreprise, celle-ci vise à proposer un matériel capable de transformer, non seulement le sable que cette industrie emploie, mais aussi le polystyrène ou certaines cires spéciales.

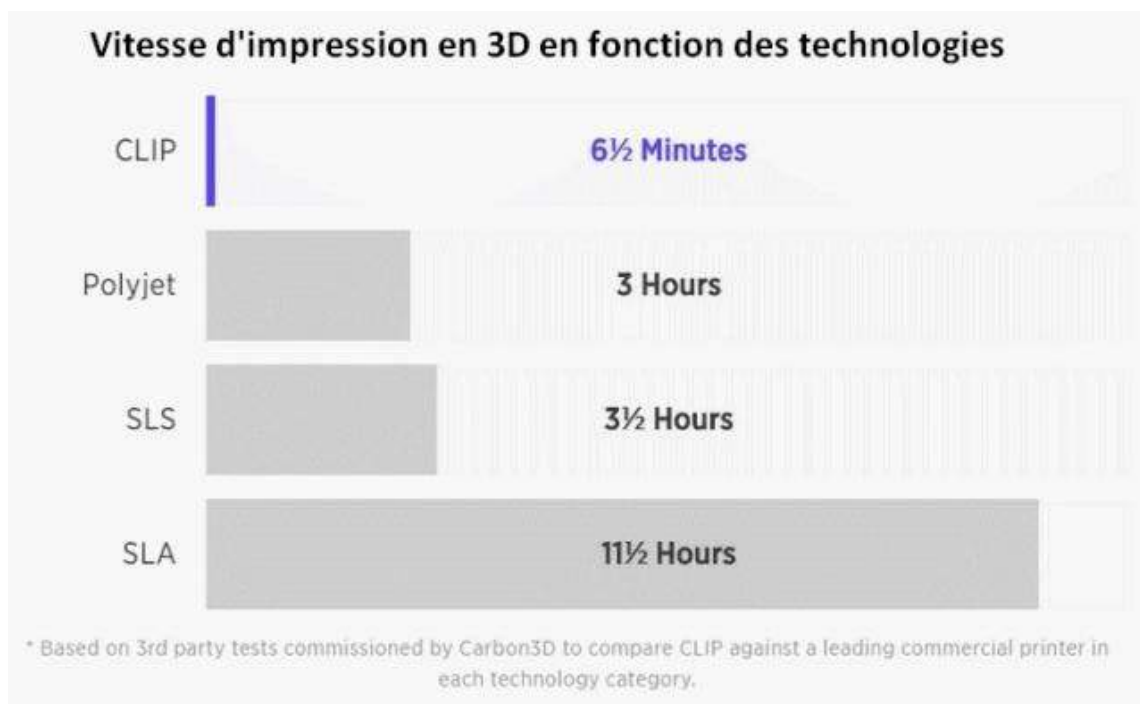
De la même façon, son concurrent italien Sharebot mobilise les ingénieurs en charge du projet « Snow White » pour mettre au point une imprimante capable d'être utilisée pour élaborer des pièces en nylon, en graphène ... ou en sucre !⁴¹¹

REMETTRE EN QUESTION LES PROCÉDÉS TRADITIONNELS DE FABRICATION :

carbon3D

La stéréolithographie fonctionnant couche par couche, ce procédé est nécessairement lent. Pour remédier à cet inconvénient majeur, la start-up californienne Carbon 3D⁴¹², fondée en 2013 par des chimistes de l'UNC⁴¹³, a travaillé discrètement à l'élaboration d'une nouvelle technologie dévoilée en mars dernier. Confiante dans le potentiel de celle-ci, elle a pu mobiliser 41 M\$ de financements externes pour mettre au point son projet.

Le procédé CLIP (Continuous Liquid Interface Production) permet d'obtenir un résultat nettement plus rapidement (voir schéma ci-après), car cette technologie imprime les objets en **un seul bloc**, et non pas couche par couche. Les fondateurs de Carbon 3D y sont parvenus en combinant la lumière et l'oxygène, qui bloque temporairement le durcissement du matériau utilisé⁴¹⁴.

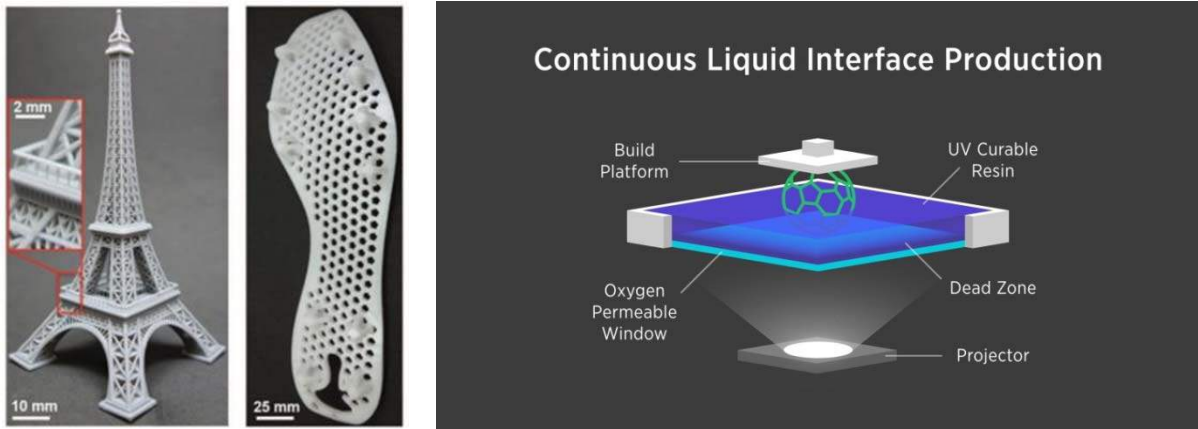


⁴¹¹ <http://www.sharebot.it/index.php/uncategorized/progetto-snowwhite-storia-continua/?lang=en>

⁴¹² <http://www.carbon3d.com/>

⁴¹³ L'UNC (University of Northern California / San Francisco) dispose d'un centre d'innovation spécialisé dans l'ingénierie bio-médicale: <http://www.uncm.edu/STIC.php>

⁴¹⁴ <http://www.01net.com/editorial/649315/carbon-3d-invente-une-technique-dimpression-3d-magique-ultrarapide-et-ultrasolide/>
<http://3dprintingindustry.com/2015/03/17/breakthrough-layerless-3d-printing-25-100x-faster-prints/>



Signe de l'hyperactivité des acteurs de ce secteur, cette technologie était à peine connue qu'un chercheur de l'Université de Buffalo⁴¹⁵ évoquait un système dérivé (« Continuous DLP »), pour lequel il a mis au point une membrane particulièrement performante⁴¹⁶. Dans la foulée, l'australien Gizmo 3D⁴¹⁷ et le chinois PrismaLab rendaient aussi publics des projets allant dans le même sens. L'ensemble de ces initiatives, encore au stade expérimental, pourrait aboutir à une baisse notable des prix, puisque ces nouveaux modèles, s'ils peuvent être fabriqués à l'échelle industrielle, seraient accessibles à un tarif unitaire de l'ordre de 2.500 \$ à 3.000\$.

PANACHER LES DISCIPLINES POUR RENDRE LES PRODUITS – ET LES PROCÉDÉS - ENCORE PLUS PERFORMANTS :

Intégrer directement des circuits imprimés à des produits réalisés grâce à la fabrication additive, de façon à les rendre immédiatement fonctionnels, constituerait une indéniable avancée. L'Alliance FlexTech⁴¹⁸, groupement d'acteurs publics et privés spécialisés dans « l'électronique flexible », a décidé, à l'automne 2014, de faire un pas dans cette direction, en cofinçant, à hauteur de 1,29 M\$, un projet collaboratif s'inscrivant dans cette perspective⁴¹⁹. C'est ainsi que nScript (Orlando, FL) et NovaCentrix (Austin, TX) ont décidé d'associer leur savoir-faire en vue de réaliser des circuits hybrides susceptibles d'être intégrés à des objets réalisés en impression 3D⁴²⁰.

⁴¹⁵ Voir les travaux menés par Bo Pang : <http://3dprintingindustry.com/2015/04/08/bo-pangs-continuous-dlp-technology-taking-ultrafast-3d-printing-masses/>

NB : Cette Université, implantée dans l'Etat de New-York, dispose d'un laboratoire dédié à l'Additive Manufacturing.

⁴¹⁶ <http://3dprint.com/54864/super-fast-3d-printer/>

⁴¹⁷ <http://3dprint.com/53286/gizmo-3d-printers-fastest/>

⁴¹⁸ Ce groupement est basé en Californie (San Jose): <http://flextech.org/about-the-flextech-alliance/>

⁴¹⁹ <http://3dprintingindustry.com/2014/10/23/1-million-award-fund-electronics-3d-printing/>

⁴²⁰ « The two companies will develop a new system for 3D printing integrated hybrid circuits onto 3D objects and flexible, low-temperature, and rigid surfaces. The device will feature a range of different heads: one fused deposition extruder, a pick-and-place unit, three micro-dispensing pump heads, and a photonic curing tool. Hypothetically, the system will be able to print, switch materials, and cure quickly and without stopping to change inks.»

FAVORISER LA REMISE EN QUESTION DE CERTAINS CONCEPTS

Pour ne prendre que le cas du secteur automobile, certaines initiatives récentes visent à « changer » la donne par rapport aux pratiques traditionnelles. Deux exemples confirment cette tendance :



Lorsque Local Motors a présenté, à l'occasion de l'IMTS de Chicago, en septembre dernier, la Strati⁴²¹ (littéralement « les couches »), un véhicule électrique simplifié (40 pièces au lieu d'une moyenne de 20.000), fabriqué en

44 heures, cette innovation a été immédiatement jugée « disruptive ». Au-delà de l'initiative médiatique, il s'agit bien d'un projet mûri⁴²², développé en associant des opérateurs privés, tels que le constructeur et l'entreprise Cincinnati, Inc., et des opérateurs publics, tel que le Département US de l'Énergie⁴²³. Si, pour le moment, cette initiative n'est pas encore transposable à grande échelle, il est clair qu'elle offre de nouvelles perspectives, au moins dans le domaine de la voiture légère urbaine.



De la même manière, lorsque Toyota veut faire évoluer le concept de « moyen personnel de transport urbain customisé », il lance le projet « Open Road »⁴²⁴, qui met en scène une nouvelle génération de véhicule connecté, susceptible d'être adapté aux goûts de chaque utilisateur grâce à l'impression 3D. Alliant autonomie, sécurité... et « hyper-personnalisation », cette création va être testée pendant un an dans les rues de Tokyo, avant des développements éventuels à plus grande échelle.

La Maasaica : Voiture "africaine" et biodégradable de BMW

<http://3dprintingindustry.com/2014/07/23/bmw-introduces-3d-printable-bio-degradable-concept-car/>

ET POURQUOI NE PAS TRAVAILLER DANS L'ESPACE ?

En novembre dernier, la NASA a indiqué avoir réalisé pour la première fois l'impression 3D d'un objet à grande distance, en l'espèce sur la station spatiale internationale, en orbite autour de la Terre, à près de 400 km de celle-ci.⁴²⁵ Le mois suivant, c'est le fichier lui-même qui a été envoyé sur place, permettant l'impression 3D de la pièce, au design révisé compte tenu du contexte, dans les conditions réelles d'utilisation de celle-ci. Pour les fournisseurs de l'Agence, autant que pour les autorités qui la soutiennent, il y a là matière à concevoir des développements ultérieurs, en particulier s'agissant de combinaisons de matériaux difficiles à mettre au point dans un contexte « normal ».

⁴²¹ Littéralement, « les couches », en italien.

⁴²² <http://www.bbc.com/autos/story/20141007-coming-soon-the-printed-car>

http://www.imts.com/media/imts_releases/20140908.html

⁴²³ U.S. Department of Energy's (DOE) Manufacturing Demonstration Facility at Oak Ridge National Laboratory (ORNL).

⁴²⁴ <http://3dprintingindustry.com/2015/05/07/toyota-creates-ultimate-personal-vehicle-with-3d-printed-customization/>

⁴²⁵ <http://www.forbes.com/sites/leoking/2014/11/29/the-next-frontier-is-really-here-3d-printing-and-space-survival/>

<http://www.forbes.com/sites/leoking/2014/12/22/nasa-astronauts-ratchet-up-sustainable-space-mission-with-3d-print-breakthrough/>

3 – Diversification des services associés

Les fournisseurs des fabricants d'imprimantes 3D ne sont pas restés inactifs, et ont également développé, de leur côté, de nouveaux types de services. C'est ainsi que, de la pièce détachée à la mode, différents projets contribuent à rendre le panorama créatif et dynamique. Les initiatives développées dans ce cadre sont si nombreuses que seules certaines d'entre elles sont évoquées ici, afin de permettre au lecteur d'avoir une idée des champs couverts.

1 - Shapeways : une plate-forme électronique de vente et de « co-création »⁴²⁶



Les clients intéressés par les services d'impression 3D proposés par Shapeways en ont rapidement demandé davantage. C'est pourquoi la première plate-forme internet mise en place par cette entreprise a été transformée en 2013 en un lieu où il est devenu possible de créer, d'acheter ou de vendre des produits réalisés par impression 3D.

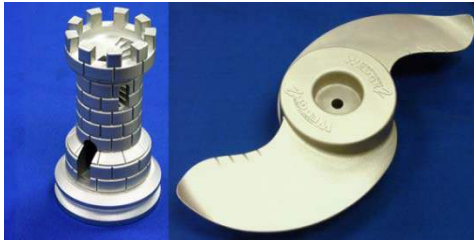
Un flux d'offres et de demandes s'est alors rapidement développé, dans des domaines aussi variés que les coques de smartphones, la bijouterie, les accessoires pour drones, les objets en modèle réduit, et bien davantage. La plate-forme de Shapeways permet désormais à quelque 25.000 boutiques virtuelles de vendre des milliers de produits en libre accès. Comme ce nombre ne cesse de croître, Shapeways s'attelle maintenant à la modernisation et à l'extension de sa place de marché virtuelle pour en étendre et en renforcer les fonctionnalités. Dans ce cadre, il est également prévu de développer des applications pour téléphones portables.

2 - Staples : de la vente à distance classique au service intégral «business-to-business »⁴²⁷

Staples, qui distribue traditionnellement ses produits à travers ses réseaux de commercialisation, ses magasins et ses sites Internet, s'est progressivement développé en tant que fournisseur de solutions intégrées. Ne se contentant plus de commercialiser des imprimantes 3D, Staples fournit désormais des services connexes et propose à ses clients de les aider à optimiser l'utilisation d'imprimantes 3D dans leur entreprise (ce qui contribue à faire connaître ces techniques dans l'univers des PME). En sus de l'équipement de bureau, la société vend donc des services d'impression et de conception, et même des consultations individualisées. A titre d'exemple, un boulanger de quartier peut ainsi trouver chez Staples aussi bien de quoi concevoir ses pièces montées, que ses dépliants promotionnels ou des solutions lui permettant de moderniser sa signalétique.

⁴²⁶ Introducing Improved Product Discovery (23.04.15): <http://3dprintingmagazine.net/introducing-improved-product-discovery/>

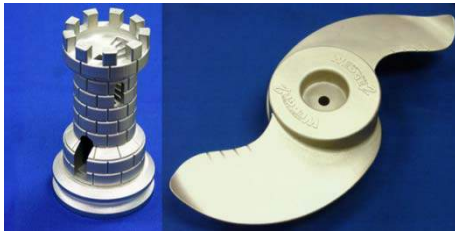
⁴²⁷ Basé dans le Massachusetts, Staples Inc., présent aux Etats-Unis (à travers 1.800 magasins de détail) et dans 25 pays à travers le monde, fournit depuis 27 ans les entreprises en matériel et fournitures de bureau : http://www.staples.com/sbd/cre/marketing/about_us/company-overview.html (27.04.15) : <http://3dprintingindustry.com/2015/04/27/staples-wants-to-be-the-3d-printing-solution-for-small-businesses/>



Prestataire de services spécialisé dans les opérations de finissage pour le compte de fabricants de pièces industrielles, cette société de Baltimore s'est spécialisée dans la réalisation de revêtements de métal (nickel et cuivre), qui donnent aux produits traités des aspects particuliers (ex. aspect brillant ou brossé, polissage, patine, ...) ou renforcent leur résistance (ex. triplement de la résistance de pièces de turbines).

<http://3dprint.com/61164/repliform-3d-model-plating/>

3 - RepliForm : le « post-processing » haut de gamme, pour des pièces plus belles et plus solides !



Prestataire de services spécialisé dans les opérations de finissage pour le compte de fabricants de pièces industrielles, cette société de Baltimore s'est spécialisée dans la réalisation de revêtements de métal (nickel et cuivre), qui donnent aux produits traités des aspects particuliers (ex. aspect brillant ou brossé, polissage, patine, ...) ou renforcent leur résistance (ex. triplement de la résistance de pièces de turbines).

<http://3dprint.com/61164/repliform-3d-model-plating/>



4 - La révolution de la pièce détachée : comment rendre l'obsolescence obsolète !⁴²⁸

Contrepartie de l'automatisation, la gestion des pièces détachées – qui vieillissent rapidement – représente un casse-tête pour les fabricants. La reproduction de ces pièces à distance, grâce à l'impression 3D, permet de répondre à certains besoins d'une manière encore plus rapide que par la voie traditionnelle. C'est la solution qu'a adoptée Northern Industrial⁴²⁹, fournisseur de pièces détachées destinées à l'équipement industriel. Basée dans le Lancashire, dans un entrepôt-atelier de 2.300 m², cette entreprise régionale peut, grâce à cette nouvelle technologie, continuer à offrir à ses clients un service de livraison sous 24 heures.

⁴²⁸ Cette expérience a conduit le magazine 3dprint.com à publier, sur son site, un article récent sur ce thème : <http://3dprint.com/60963/3d-printing-obsolete/> et à ouvrir un forum de discussion dédié à cette question : <http://3dprintboard.com/showthread.php?12509-Will-3D-Printing-Eliminate-the-Need-for-Inventory>

⁴²⁹ Basée à Blackburn, Northern Industrial (groupe Northern Industrial Electronics Ltd) dessert principalement le bassin de Manchester et des régions environnantes (Lancashire, Merseyside, Yorkshire), tout en assurant des livraisons à l'échelle nationale si les clients le demandent. Voir : <http://nicontrols.com/>



5 - « L'impression dans le camion » : Amazon se rapproche encore plus de ses clients !

Le géant de la distribution ne pouvait pas rester en dehors de la tendance et s'est rapidement intéressé à l'impression 3D, ce qui l'a conduit à lancer, à l'été 2014, un site Internet dédié à la commercialisation d'objets réalisés au moyen de cette technologie.

La réflexion s'est, entre temps, approfondie. Elle s'est concrétisée, en février dernier, par le dépôt d'un brevet⁴³⁰, dont l'exploitation devrait permettre à l'entreprise d'imprimer certains produits directement à l'intérieur des camionnettes composant sa flotte de distribution.

6 - De Los Angeles à Paris: Stratasys fait de la 3D un outil pédagogique au service de la haute couture

<http://losangeles.cbslocal.com/2015/04/29/ucla-lecturer-teaches-students-fashion-design-using-3d-printers/>

Jukia Koerner, enseignante à la School of Architecture and Urban Design Development de l'UCLA, a présenté à Paris, en mars dernier, à l'occasion d'un défilé de haute couture, ses créations, issues de l'impression 3D. Elle a en effet pu réaliser, grâce à une Objet500 de Stratasys et une encre spécialisée à base de résine liquide, une veste de soirée, dont la trame rappelle le dessin des lamelles que comportent la partie inférieure du chapeau de certains champignons. Cette performance l'encourage à continuer à former ses étudiants à l'utilisation d'imprimantes 3D en vue de la création de vêtements.

7 - Allier pédagogie, commerce et prestations de services : la Poste suisse utilise l'impression 3D pour mieux séduire ses clients



Vos objets préférés. Fabriqués maison.

Donnez libre cours à votre créativité avec l'offre d'impression 3D de la Poste.

En regroupant l'ensemble de sa gamme de produits réalisables par impression 3D et en la mettant à la disposition de ses clients, avec des bons d'achat et des offres de formation, l'entreprise donne à ses clients la possibilité de disposer d'articles personnalisés, avec leurs accessoires.

<https://sso.post.ch/shops/fr/Actuelles/3D-Print#/P=6>

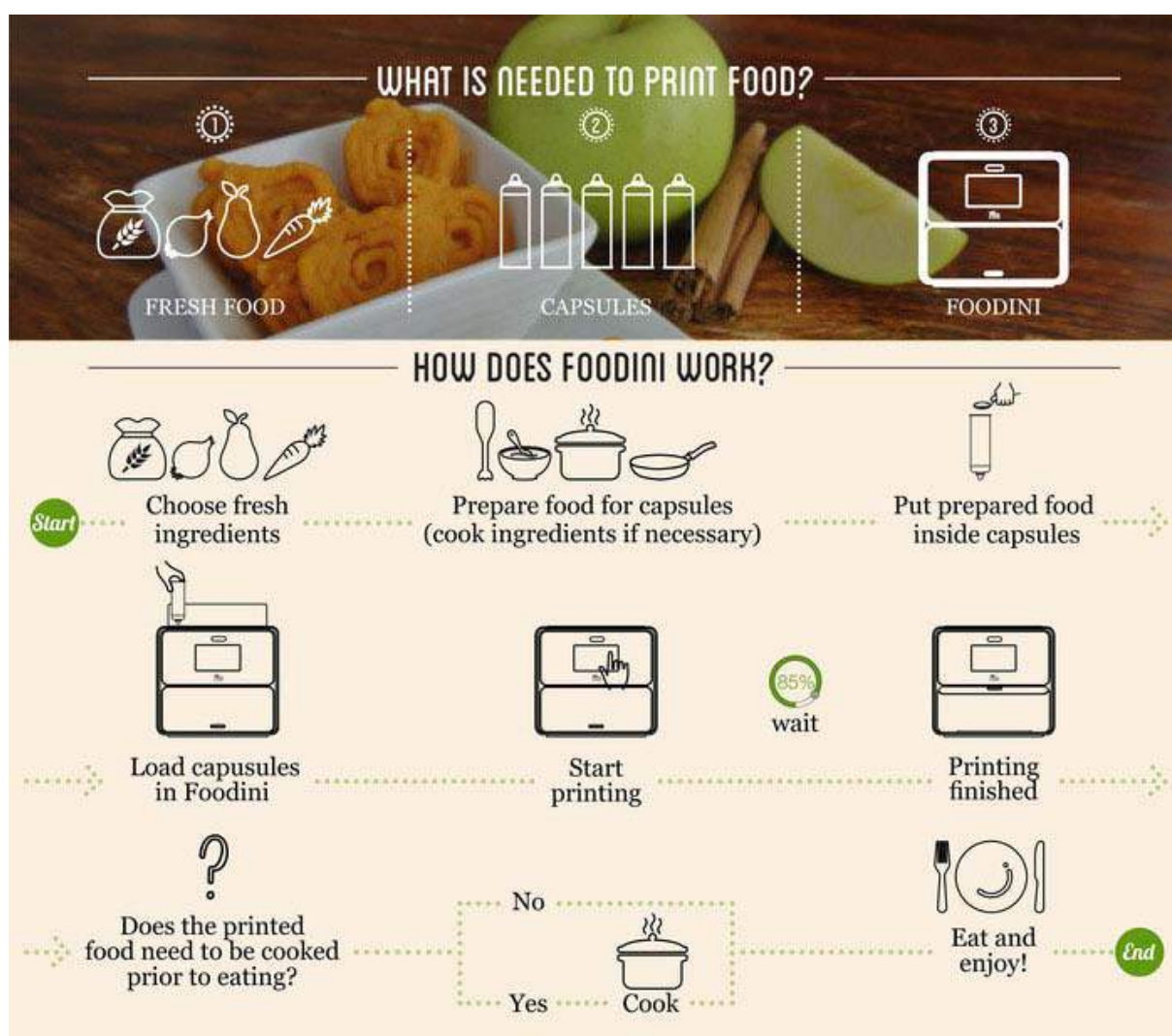
⁴³⁰ <http://www.3ders.org/articles/20150225-amazon-files-patent-for-on-demand-3d-printing-aboard-amazon-trucks.html><http://3dprintingindustry.com/2015/02/25/amazon-sets-out-to-conquer-entire-3d-printing-industry-with-new-patent-application/>

4 - A la découverte de nouveaux domaines ou secteurs, parfois improbables, mais jugés prometteurs

La curiosité et la créativité des ingénieurs les a conduit à expérimenter ces technologies dans des domaines de plus en plus variés (ex. produits alimentaires, construction de bâtiments entiers, art et muséologie...), qu'ils percevaient comme présentant des perspectives de marchés substantielles, parfois complètement inédites.

ALIMENTATION

Le principe de l'impression 3D applicable aux produits alimentaires est décrit ci-après, dans le schéma présenté par Foodini⁴³¹. Il se décline en de nombreuses applications, par exemple pour produire de l'alimentation (éventuellement diététique) sur mesure, ou bien conçue pour être servie dans des contextes difficiles ou inhabituels (ex. dans l'espace).



Les grands fabricants d'imprimantes 3D, de même que des scientifiques expérimentés, se sont emparés de ces idées pour les développer.

⁴³¹ <http://3dprintingindustry.com/2014/03/31/3d-printer-foodini-food-kickstarter/>

Deux exemples figurent ci-après :



Hershey dévoile CocoJet, l'imprimante mise au point en partenariat avec 3D Systems

Fort de 120 ans d'expérience dans le secteur de la transformation du chocolat, ce producteur basé en Pennsylvanie (CA > 7 MM\$) est le leader dans son domaine en Amérique du Nord.

Désireux de diversifier sa gamme de produits (pourtant déjà forte de 80 marques), il a collaboré avec 3D Systems, CeraFab et ChefJet, spécialisés respectivement dans l'impression à base de céramique et à base de sucre, ainsi qu'avec **le** CIA (Culinary Institute of America) dans le but de créer de nouvelles applications.

<http://www.3dsystems.com/de/node/7563>

<http://3dprintingindustry.com/2015/01/06/hershey-3d-systems-unveil-new-cutting-edge-chocolate-3d-printer-ces/>



print2taste



La "Boscusini" pourrait être la première imprimante 3D universelle mise sur le marché à destination du secteur de l'alimentation⁴³² (24.04.15)

Une jeune start-up allemande, **Print2Taste GmbH (Freising)**, semble avoir réussi à mettre au point un système d'impression 3D à usage alimentaire susceptible de trouver de réels débouchés commerciaux⁴³³. Plutôt que de concentrer leurs efforts sur une imprimante « multifonctions », les ingénieurs de l'entreprise se proposent de vendre un « kit » complet.

Ces ingénieurs sont des experts qui ont collaboré à plusieurs projets d'envergure à l'échelle européenne. Ils étudient, **depuis plus de vingt ans**, les caractéristiques physiologiques et sensorielles des aliments et de leurs ingrédients, de même que leurs propriétés techniques.

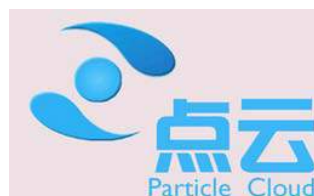
Une campagne de levée de fonds, via Kickstarter, vient d'être lancée, afin de passer du stade expérimental à celui de la présérie.

⁴³² <http://3dprint.com/60365/boscusini-food-3d-printer/>

⁴³³ Voir aussi le cas Natural Machines (Barcelone): <http://www.naturalmachines.com/press-kit/>

SANTÉ :

Ce secteur connaît une expansion foudroyante (voir Partie consacrée aux analyses sectorielles), chaque continent rivalisant en termes d'innovation et de performance. Ceci permet, par exemple, des avancées significatives en termes d'implants, d'orthèses et de chirurgie réparatrice.



Implants osseux biodégradables

Après 5 ans de recherches et une série de tests sur des animaux, la société chinoise Xi'an Particle Cloud Advanced Materials Technology Co., Ltd.⁴³⁴ a récemment indiqué, qu'en employant une technologie dite Filament Free Printing (FFP), elle avait réussi l'implantation, sur l'ossature d'un lapin, d'une structure artificielle sur laquelle se fixent les cellules permettant la régénération de l'os endommagé.

ART & CULTURE :

L'impression 3D peut également servir dans le domaine de l'art, et être mise à contribution dans ses différents volets (création, interprétation, sauvegarde du patrimoine, valorisation, etc.). Les quelques exemples ci-après permettent d'en avoir un bref aperçu :

1 - La 3D au service du patrimoine existant :

Faire vivre des œuvres anciennes, les entretenir ou les recréer *ex nihilo*, tels sont les défis auxquels l'impression 3D a été confrontée, et qu'elle a permis de surmonter :

- Umberto Boccioni⁴³⁵- Une redécouverte : Une grande partie de l'œuvre de ce sculpteur italien⁴³⁶ ayant disparu, il n'en restait qu'une collection de photographies et d'esquisses originales, présentée en 1913, peu de temps avant la mort de l'artiste. Or, un designer britannique (Matt Smith⁴³⁷), qui avait découvert Boccioni pendant ses études, a décidé, après avoir vu les traces de ce patrimoine, d'identifier les œuvres perdues, puis de les reconstituer grâce à l'impression 3D, afin d'offrir de nouvelles ressources artistiques au public, aux artistes et aux chercheurs. Une campagne de levée de fonds via Kickstarter, ainsi que l'expertise de Shapeways, ont permis d'aboutir à la présentation récente de ces œuvres à Londres.

⁴³⁴ Voir : <http://3dprint.com/62509/pcprinter-bctm-bone-print/> <http://3dprint.com/53551/3d-print-bones-animal/>

⁴³⁵ Using 3D Printing to Recreate a Lost Sculpture (22.04.15) : <http://3dprintingmagazine.net/using-3d-printing-to-recreate-a-lost-sculpture/> <http://www.shapeways.com/blog/archives/20537-using-3d-printing-to-recreate-a-lost-sculpture.html>

⁴³⁶ L'italien Umberto Boccioni (1882-1916) a été l'un des animateurs du mouvement Futuriste, qui rejetait les matériaux traditionnels et voulait exploiter les possibilités offertes par les nouvelles technologies. Or, plusieurs de ses sculptures en plâtre ont été détruites, ce qui a occasionné une perte – jusque-là irrémédiable- dans le patrimoine qu'il a laissé.

⁴³⁷ "I wanted to understand more about this unique sculpture, to study the work. As it no longer existed, that was going to be a challenge. The photographs taken by Boccioni over 100 years ago are an invaluable guide. I saw the possibility of piecing the fragments together and sharing what I learned with others. I believe I have found enough evidence, photo references, drawings and research to help me recreate the work in 3D as the artist intended."

- Lorsque le patrimoine est fragilisé, il importe de pouvoir en conserver des traces grandeur nature:



- Il est également possible de mettre la pédagogie au service de l'art pour faire revivre le passé de manière ludique

L'analyse au scanner de la momie de Neswau a permis de faire revivre les secrets de ce prêtre de Thèbes, plus de vingt-deux siècles après la mort de celui-ci. Grâce à l'impression 3D, non seulement la pièce entière, mais aussi des parties de celle-ci (cf pectoral), ont été reconstituées⁴³⁸, l'ensemble étant animé de telle sorte qu'il peut interagir avec ceux qui viennent le contempler. Pour les visiteurs du musée, cette façon de procéder est bien plus ludique et divertissante que le spectacle successif de vitrines figées.



2 – Faire vivre la création et innover tous azimuts (formes, sons, matières, etc.)

Shawn Halayka – De l'imaginaire à la création : Au-delà de la redécouverte d'un patrimoine disparu, l'impression 3D peut aussi servir à concrétiser les idées d'artistes combinant génie créatif et mathématiques : c'est ainsi que Shapeways a pu matérialiser le projet de ce designer. Celui-ci avait imaginé des « tornades pacifiques ». Shapeways les a créées à partir de simples équations, en moins de 15 jours et pour moins de 200 \$⁴³⁹.

Un violon extravagant pour mélomane futuriste :
<http://www.theguardian.com/technology/2015/apr/30/revamping-violin-3d-printer>

⁴³⁸ 3D Scanning & Printing Bring Neswau Mummy to Exhibit: <http://3dprint.com/60734/3d-scanned-printed-mummy/> - <http://www.interspectral.com/about/>

⁴³⁹ Création de sculptures: 3D printing brings art to new level: <http://www.paherald.sk.ca/News/Local/2015-04-28/article-4126316/3D-printing-brings-art-to-new-level/1> www.shapeways.com/designer/shawn_halayka.



Croisement surprenant entre un assemblage de racines et l'arme d'un Alien, le violon piézoélectrique à deux cordes mis au point par Eric Goldemberg et Veronica Zalberg dans leur atelier floridien de design Monad a intrigué – et séduit – les visiteurs du 3D Print Design Show de New York, qui vient de s'achever. Sa forme végétale permet à l'interprète de ne faire qu'un avec cet instrument « venu d'un autre monde », dont la gamme de sons mêle les harmonies de la basse et celles du violoncelle, tout en offrant de nouvelles possibilités acoustiques.



L'impression 3D au service des mariées : des créations nuptiales inédites made in Shanghai.

Xuberance, un studio de design basé à Shanghai, a présenté, à l'occasion du dernier Shanghai Convention & Exhibition Center of International Sourcing in China, mi-mars 2015, deux modèles uniques de robes de mariée créées par impression 3D SLS. Steven Ma, Bin Lu et Leirah Wang, qui ont fondé cette entreprise en 2008, estiment ainsi avoir rentabilisé un investissement exceptionnel en matière de créativité.

<http://3dprintingindustry.com/2015/03/17/xuberances-3d-printed-wedding-dresses-draw-praise-in-shanghai/>

<http://www.tctmagazine.com/3D-printing-news/watch-xuberance-3d-printed-wedding-dress/>

<http://www.xuberance.org/#/home/mainPage>

LOISIRS :

Le monde des “hobbies” offre aux créateurs une infinité de champs à explorer. A titre d'exemple, il est possible, soit de perfectionner des drones pour répondre aux vœux de passionnés de plus en plus « mordus », soit d'enrichir les possibilités de simulation ménagées par certains jeux mêlant société et urbanisme :



Les drones séduisent un nombre croissant de bricoleurs, qui recourent à l'impression 3D pour développer des modèles de plus en plus complexes. Surfant sur cette vague depuis deux ans, Shapeways propose à ses clients de les aider à perfectionner leurs modèles grâce à une liste d'options très étendue. Un partenariat récent avec la société DJI, spécialisée dans la fabrication de drones à usage civil, connaît deux développements promotionnels récents, qui illustrent le dynamisme du secteur :

- le soutien d'Adam Savage, animateur de l'émission télévisée à succès « Mythbusters », - la mise au point d'un « kit électronique » (Software Development Kit / SDK), idéal pour les passionnés.

Real Life SimCity – 3D Printed Miniature City Building Platform Takes Shape (août 2014)
<http://3dprint.com/12806/ittyblox-simcity-3d-printed/>

5 – L'internationalisation du phénomène

Elle se manifeste à la fois par l'émergence de nouveaux acteurs dans des pays jusque-là peu présents dans ce type d'activité et par des processus de rachats ou de prises de contrôle à l'échelle internationale.

L'émergence permanente de nouveaux acteurs est liée au nombre croissant de secteurs dans lesquels l'impression 3D permet certaines applications innovantes. Ce phénomène encourage la montée en puissance de start-up, le plus souvent adossées à des pôles d'expertise universitaire. La plupart des entreprises citées dans les pages précédentes (Sharebot, Nano, Print2Taste, etc.) rentre dans ce cadre.

Quant aux grands fabricants d'équipement spécialisé, ils s'internationalisent tous fortement, non seulement pour développer leurs ventes directes de matériels ou de fournitures, mais également pour renforcer certaines expertises sectorielles et pour prendre pied – ou consolider leur présence – sur des marchés qu'ils estiment prometteurs.

Ainsi 3D Systems a-t-il acquis, en Chine, la société Easyway et ses différentes filiales pour constituer un bloc d'expertise en conception, en fabrication et en commercialisation au sein même d'un des principaux marchés mondiaux. De la même manière, le suédois ARCAM a racheté AP&C (Canada), un fabricant international de poudres métalliques de haute qualité (dont des poudres de titane).

Un autre exemple d'investissement, dont la portée est autant technique que médiatique, est celui que **Stratasys a réalisé en Inde**. Le groupe de Minneapolis connaît bien le pays, car il y vend des imprimantes depuis dix ans, et, compte tenu des évolutions constatées dans le mode d'utilisation de ces matériels par ses clients, il espère les inciter à dépasser le stade du prototypage, et à passer à la réalisation de moules, voire de pièces finies. Ce marché est très prometteur, car il connaît des taux de croissance exceptionnels (60% cette année, probablement plus de 50% les deux prochaines années). En plus, la conjoncture politique est propice⁴⁴⁰ (campagne « Make-in-India » lancée par le gouvernement Modi, en vue de la modernisation des activités manufacturières du pays). Stratasys a donc décidé de « frapper fort » et d'implanter à Bangalore son premier « 3D Printing Experience Centre ». Ce complexe, qui sera complété par **deux autres centres du même type, d'ici à la fin de l'année 2015**, permet d'exposer et de promouvoir l'ensemble de la gamme du fabricant, dont la valeur s'élève à 1 M\$.

6 - La « démocratisation » accélérée de ces technologies

Elle a pour conséquence **d'accroître le marché de consommation**, sans que cela soit préjudiciable au secteur industriel, qui conserve de nombreuses opportunités de développement (en particulier pour tout ce qui concerne la rationalisation des processus de production), et sans que cela nuise à la dynamique d'innovation, puisque le secteur bouillonne d'initiatives nouvelles, dont certaines, particulièrement futuristes, étaient inconcevables il y a moins de cinq ans.

Il est intéressant de constater **le rôle de la communication** dans ces développements, soit pour transmettre une certaine « philosophie » de la fabrication additive (cf Aleph Objects), soit pour croiser des expertises (et des réseaux) de commercialisation (Telepoint/iGo3D, soit pour conjuguer médias et pédagogie (EagleMoss/Conran) : « Libre Innovation » (sic) : le pari d'Aleph Objects, le pionnier de Loveland (sic), Colorado⁴⁴¹.

⁴⁴⁰ World's biggest 3D printing firm plans manufacturing unit in India (24.04.15)

<http://timesofindia.indiatimes.com/tech/tech-news/Worlds-biggest-3D-printing-firm-plans-manufacturing-unit-in-India/articleshow/47039426.cms>

⁴⁴¹ Source : LulzBot 3D Printers: A Glimpse Into The Future of American Manufacturing (30.04.15)

<http://www.forbes.com/sites/tjmccue/2015/04/30/lulzbot-3d-printers-a-glimpse-into-the-future-of-american-manufacturing/>



Sur la base de la “philosophie de la liberté”, Aleph Objects, Inc., veut influencer la transformation de l’industrie de l’impression 3D. Cette entreprise⁴⁴² – car c’en est une – défend la « Libre Innovation” (sic). Cela signifie que le hardware ou le software qu’elle crée peuvent être librement copiés, modifiés ou adaptés par les utilisateurs, « à qui le pouvoir est donné ».



L’auto-reproduction: “l’atelier-cluster” d’Aleph Objects:
<https://www.alephobjects.com/>

A partir du succès rencontré par sa LulzBot Mini, l’entreprise a aménagé un « cluster » de 144 imprimantes 3D LulzBot, qui fonctionne vingt-quatre heures par jour, sept jours sur sept, pour fabriquer les pièces qui serviront à équiper... les mêmes types d’imprimantes. Avec une capacité de fabrication de l’ordre de 500.000 pièces par semaine, Aleph peut faire preuve d’une grande flexibilité⁴⁴³. D’ailleurs, la promotion en est faite à la télévision, sur Science Channel, dans le cadre de l’émission « How it’s Made » !

Allemagne : La collaboration entre Telepoint et iGo3D vise à permettre d’accroître l’accès des consommateurs à la technologie de l’impression 3D

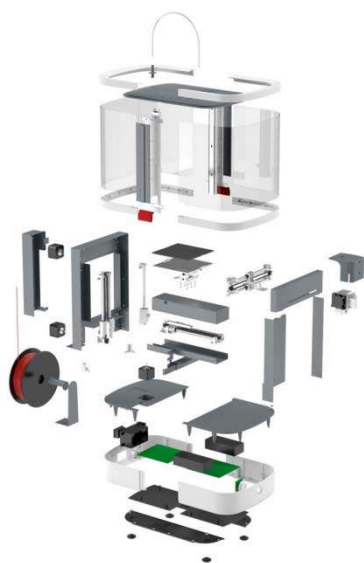
Telepoint s’est spécialisée dans la distribution de produits gravitant autour de la vidéo, de la photographie, des télécommunications, des ordinateurs et de l’électronique grand public. Elle a récemment annoncé étendre sa gamme dans le domaine de l’impression 3D grâce à l’accord qu’elle a conclu avec iGo3D, qui domine le marché allemand dans la distribution de ce type de matériel et des accessoires correspondants. C’est le site de Lemgo (près de Hanovre) qui servira de tête de pont pour lancer ces nouveaux services, qui seront relayées par un réseau de 15 points de vente à travers le pays.

<http://3dprint.com/62006/telepoint-igo3d-collaboration/>

⁴⁴² Aleph Objects a réalisé, en 2014, un CA de 4,6 M\$ et a, dès le premier trimestre 2015, déjà dépassé ce chiffre.

⁴⁴³ Selon Wohlers, la production de pièces destinées à être intégrées à des produits finaux représente 34,7% du marché total de la fabrication additive et de l’impression 3D.

Un kit éducatif pour étudiants : la presse spécialisée « booste » la création d'entreprise !



La maison d'édition Eaglemoss Publishing et le designer Sebastian Conran ont entamé, en janvier 2015, un partenariat qui cible l'univers des étudiants, notamment ceux qui n'ont pas les moyens de financer l'achat d'une imprimante 3D. Ils veulent leur offrir l'occasion d'en construire une par eux-mêmes. Le modèle choisi est la Vector 3.

Les deux promoteurs souhaitent diffuser, via le réseau des établissements scolaires, un kit de bricolage qui inclura des cours de formation, des fiches-repères (tutoriels)... et des Vector à construire.

Un concours entre étudiants, sponsorisé par les deux partenaires, doit permettre, en juin 2015, de sélectionner ceux qui font preuve des meilleures aptitudes. Les étudiants ainsi sélectionnés pourront repartir avec leur imprimante, ce qui leur permettra de développer leurs projets. Quant aux écoles qui les ont formés, elles recevront une enveloppe (dont le montant n'a pas été communiqué) pour développer leur département technologique.

<http://www.eaglemoss.com/en-gb/>

<http://sebastianconran.com/about>

<http://3dprintingindustry.com/2015/01/22/subscribe-weekly-magazine-build-3d-printer/>

7 – L'impression 3D au service de l'implication sociétale

► IMPRESSION 3D ET PHILANTHROPIE : LES BAGUES KXX DE MICHIEL CORNELISSEN, DU FUN POUR LES FAVELAS !



Pour que la Coupe du Monde 2014 soit une fête pour les gagnants comme pour les perdants, les dirigeants de Shapeways ont voulu créer un cadeau susceptible de bénéficier à tous. Ils ont mobilisé le designer Michiel Cornelissen, qui s'est inspiré d'un instrument de musique brésilien pour fabriquer une « bague sonore », la KXX (kah-shi-shi). Celle-ci est à la fois un bijou à la mode du moment, un gadget dont la couleur peut s'adapter à celle des pays compétiteurs... et un moyen d'émettre des sons. Les profits réalisés par la vente de ces articles ont été distribués par le créateur à des œuvres sociales, au bénéfice des habitants des favelas.

► POUR LES DESIGNERS, UNE LATITUDE ACCRUE ... JUSQU'AUX LIMITES DU SYSTÈME ! - LE CAS DE LA « ROLEX ADAPTÉE »

This Designer 3D Printed A Rolex Watch And The Results Could Impact How We Personalize Wearables

<http://www.forbes.com/sites/rachelarthur/2015/04/23/this-designer-3d-printed-a-rolex-watch-and-the-results-could-impact-how-we-personalize-wearables/>

► CONCILIER PERFORMANCE ÉCONOMIQUE ET PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES

Recycler les matériaux usagés est devenu une nécessité et chaque secteur d'activité peut y contribuer. Le secteur alimentaire n'échappe pas à cette tendance, ainsi qu'en témoigne le projet mis en place chez le producteur de crèmes glacées Ben & Jerry's, en avril dernier :



Chaque cuiller compte !

A l'occasion de la Fête de la Terre, les fabricants de filaments destinés à l'impression 3D ont annoncé le développement de substances sans effets nocifs pour l'environnement (reShootz, Algae Fuel, etc.).

Parmi ces fabricants figure Filabot, qui a fait partie des premières start-up ayant encouragé et rendu possible l'emploi de matériaux recyclés dans le cadre de l'impression 3D. Ce pionnier du recyclage s'est associé à Ben & Jerry's pour initier un projet-pilote destiné à collecter et transformer les cuillers usagées.

Dans un site-test du Vermont, les clients ont été invités, après dégustation, à faire la preuve de leurs bonnes dispositions écologiques en déposant leurs cuillers dans un récipient prévu à cette fin. Filabot⁴⁴⁴ les a ensuite récupérées, lavées, concassées, séchées et transformées pour produire des filaments, et, à partir de ceux-ci, de nouvelles cuillers, que Ben & Jerry's peut réexploiter, ainsi que d'autres clients, que cette initiative intéresse.

► LA SÉCURITÉ DES EMPLOYÉS : LE « POUCE SÉCURISÉ » DE BMW

L'impression 3D peut aussi venir au secours d'ouvriers menacés par le risque de TMS (troubles musculo-squelettiques). Ainsi, afin d'éviter à ses employés les souffrances liées à des gestes trop répétitifs, le constructeur allemand a recouru à l'impression 3D pour fabriquer un gant spécial comportant un pouce renforcé. Celui-ci permet à l'ouvrier d'accomplir les tâches qui lui sont assignées, sans que ce doigt, très sollicité, soit endommagé.

<http://www.theguardian.com/technology/2014/jul/04/bmw-3d-prints-new-thumbs-for-factory-workers>

⁴⁴⁴ http://3dprintingindustry.com/2015/04/23/ben-jerrys-teams-with-filabot-to-upcycle-spoons-into-3d-printing-filament/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+3dPrintingIndustry+%283D+Printing+Industry%29
<http://www.filabot.com/blogs/news/18061148-filabot-and-ben-and-jerrys-teaming-up-to-save-the-world>

C – L'IMPRESSION 3D : UN SECTEUR « EFFERVESCENT EN TERME D'ANIMATION »

La fabrication additive suscite un engouement croissant, qui résulte, à la fois :

- de l'amélioration des performances des équipements,
- des innovations que ces technologies permettent d'alimenter,
- de la démocratisation du phénomène, qui, elle-même, est directement liée à la stratégie des entreprises (et de certains pouvoirs publics), ainsi qu'aux initiatives pédagogiques et relationnelles des milieux académiques.

Dans ces conditions, les acteurs du système, sauf ceux qui préfèrent rester très discrets pour des raisons stratégiques, ressentent la nécessité de faire connaître leurs réalisations et d'échanger à leur propos. Ceci ouvre la voie à des actions de communication variées, qui constituent aussi des armes promotionnelles permettant de faire passer certains messages.

Ce volet promotionnel s'articule autour de deux types principaux d'outils : les médias spécialisés et les événements. Il est à noter que les grands fabricants (d'imprimantes 3D) sont assez souvent « dans les coulisses » de ces activités, soit directement, soit à travers le biais de groupes d'influence (voir plus loin), ce qui conduit les magazines en question à relayer en priorité les initiatives de ces industriels⁴⁴⁵.

L'actualité étant très riche, et les acteurs nombreux, les éléments ci-après ne figurent dans cette étude qu'à titre indicatif.

On remarquera au passage que la France est peu citée⁴⁴⁶ – et peu présente – dans l'ensemble de ces initiatives, alors qu'elle n'est pas spécialement inactive en matière de fabrication additive. Cette « timidité » ne constitue pas un inconvénient majeur, mais elle ne contribue pas non plus à donner une image dynamique des acteurs du système...et du pays.

1 – Le volet « Médias spécialisés »

L'ensemble des supports identifiés présente, moyennant certaines variantes, les mêmes types de rubriques : actualité (équipements, services et matériaux, entreprises, formation, R&D), analyses sectorielles, rapports, interviews, publicité, calendrier événementiel, tribunes libres (forums de discussion), annuaire professionnel, etc.


L'accès à l'information est le plus souvent gratuit, si bien que ces médias complètent parfaitement ce que les entreprises elles-mêmes publient (communiqués de presse) ou ce qui ressort de documents d'origine publique à accès libre. Les rédacteurs de la présente étude n'ont d'ailleurs pas manqué d'utiliser des informations issues de ces sources et ils en remercient les auteurs.

Quelques-uns de ces supports (tous anglophones) sont décrits ci-après :

(NB : cette sélection n'est pas exhaustive et ne préjuge pas de la qualité, ni de la pertinence des informations publiées)

⁴⁴⁵ Voir par exemple le lancement récent par Siemens du programme « Frontier Partner », qui favorise la création de start-ups dédiées à l'impression 3D : <http://www.3ders.org/articles/20150617-siemens-launches-new-frontier-partner-program-for-3d-printing-startups.html>

⁴⁴⁶ Hormis quelques très grands opérateurs, tels que Safran, Airbus, Dassault Systèmes, ... qui sont cités de temps en temps. Par exemple, inside3dprinting.com (MecklerMedia) a récemment annoncé le partenariat noué entre Dassault Systèmes et l'Université de Wichita (WSU) qui portera sur la mise en place conjointe d'un centre de recherche dédié à l'impression additive appliquée à l'aéronautique. Ce projet, validé en 2014, doit se concrétiser fin 2016. Il a été soutenu par une subvention de 1,9 M\$ dans le cadre de l'US Economic Development Grant. Voir : <http://www.inside3dprinting.com/wichita-state-university-and-dassault-systems-partner-on-3dexperience-center/>.

Vocation / Type d'offre	Entreprise globale de communication (3DPI) proposant des informations spécialisées (articles, tribunes, vidéos, rapports, ...) sur l'impression 3D (activités des acteurs + travaux de réflexion).	Entreprise globale de communication (fondée en 1992) proposant un magazine papier (6 numéros/an), un magazine électronique TCT Magazine.com, des produits digitaux (podcasts, webinars, blogs, etc.) et organisant des événements de type conventions d'affaires TCT Shows, cf infra)
Origine / Siège / Implantations	Etats-Unis (New-York) + Bureau à Hong Kong	Royaume-Uni (Chester) - Rapid News Publications Ltd (filiale de Rapid News Communications Group, qui comprend aussi: Rapid Life Sciences Ltd, Rapid Plastics Media Ltd, Sales Initiative Ltd, RapidWeb Publishing Ltd, Euro Publishing Consultancy Ltd.)
Equipe	2 co-fondateurs (Ari Honka + Eetu Kuneinen, tous deux issus du monde de l'industrie). 1 rédacteur en chef et 3 assistants. + 57 contributeurs scientifiques et/ou journalistes spécialisés.	ND
Site internet	http://3dprintingindustry.com/about-us/	http://www.tctmagazine.com/ + www.rapidnews.com
Conditions d'accès aux informations	Gratuité	Gratuité (sauf la participation aux événements)
Focus géographique	Etats-Unis et reste du monde	Royaume-Uni, Asie et Etats-Unis
Autres particularités	 <p>Application mise en place en partenariat avec 3DSystems http://3dprintingindustry.com/3dpitv/</p>	TCT Shows (cf ci-après) : 19 événements à fin 2014. Chiffres 2014 : 8.000 participants originaires de 53 pays (soit 30% de plus qu'en 2013). Des initiatives innovantes telles que : Bright Minds UK (en partenariat avec 3D Systems), the Startup Zone, TCT Introducing Stage et le "RepRap Hub". Voir: www.tctshow.com



Vocation / Type d'offre	Magazine électronique spécialisé (enquêtes et interviews).	Site internet spécialisé, exclusivement dédié aux technologies AM. Profil indépendant (non lié à des entreprises ou des groupes d'intérêt) (selon la présentation publiée sur le support). Création : 2009 (?)
Origine / Siège / Implantations	Etats-Unis (Cape Coral/Floride). Un correspondant est basé à Paris.	Amazing AM, LLC (Caroline du Sud)
Equipe	Eddie et Brian Krassenstein, profils mêlant économie, technologie et journalisme + 8 journalistes + 2 personnes chargées de l'édition du support. Equipe jeune.	< 10. Responsable : David Yanagidate
Site internet	http://3dprint.com/about/	http://additivemanufacturing.com/
Conditions d'accès aux informations	Gratuité	Gratuité
Focus géographique	Etats-Unis	Etats-Unis
Autres particularités	Les journalistes peuvent être contactés directement. Le site permet d'acquérir des petits équipements « grand public ».	Focus sur l'enseignement et le secteur médical



Vocation / Type d'offre	Fondée en septembre 2011, 3ders.org se présente comme une entreprise de communication globale spécialisée dans la fourniture d'informations les plus récentes possible et d'analyses dans le domaine de l'impression 3D.	Ce magazine s'intéresse à tous les types de professionnels de la filière (des fabricants aux revendeurs, ainsi qu'aux fournisseurs de matériaux ou de software). Le site propose également un comparateur de prix, des statistiques, un support pédagogique (« 3D Printing Basics »), ainsi que des ressources documentaires (annuaires + sites dédiés) et une liste de fablabs (http://3druck.com/fablabs-liste/).
Origine / Siège / Implantations	Katwijk (Pays-Bas)	ND

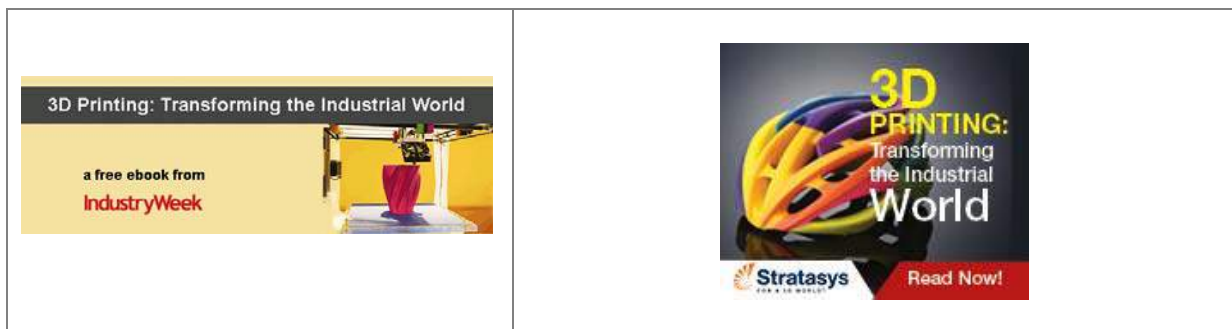
Equipe	Anja van West (fondatrice) + 4 contributeurs	Johannes Gartner ⁴⁴⁷ + David Sowka (cofondateurs)
Site internet	www.3ders.org	http://3druck.com/
Conditions d'accès aux informations	Gratuité	Gratuité
Focus géographique	Monde	Monde
Autres particularités	Affiche une fréquentation de 1,5 M de visiteurs uniques/mois Propose des comparaisons de prix et des statistiques	Support publié en allemand , avec une version en anglais Une « bourse d'emplois » est accessible en ligne

3D 打印时代
Printing Times

3D
CREATE
& PRINT

Vocation / Type d'offre	Promotion à grande échelle des technologies de l'impression 3D sur le marché chinois (tendances du marché, applications, techniques existantes, ...). Focus sur les secteurs suivants : industrie (notamment manufacturière), moules et modèles, aérospatial, biomédical, créativité culturelle, jouets et loisirs. Support papier édité à 10.000 exemplaires (8 parutions/an) + magazine électronique	Information davantage destinée au grand public « averti », avec une forte tonalité pédagogique. Le groupe Eaglemoss Publications Ltd, dont ce support fait partie avec d'autres titres techniques, vise les bricoleurs, auxquels il souhaite donner les moyens d'en apprendre davantage. Le blog se fait l'écho, en priorité, de réalisations originales et spectaculaires, pour stimuler l'intérêt des lecteurs.
Origine / Siège / Implantations	Création en 2014. Publication assurée via Amanduo International Information Group (Hong Kong), lui-même créé en 2011.	Royaume-Uni
Equipe	ND	ND
Site internet	http://www.3dp-times.com/	http://www.3d-printer-collection.com
Conditions d'accès aux informations	Gratuité	Gratuité
Focus géographique	Chine	Europe
Autres particularités	Support publié exclusivement en chinois	Aide à l'acquisition et à l'installation d'une imprimante 3D chez soi

Parmi les activités permettant à la fois de gagner en notoriété et de développer le secteur de l'impression additive, on peut citer le sponsoring de guides techniques (stratégie également développée par le français Sculpteo) :



Source : IndustryWeek@enews.pentonmanufacturing.com (juin 2015)

En plus de ces supports, il existe aussi le cas d'autres magazines, spécialisés dans une activité sectorielle déterminée, qui, ayant ressenti le besoin d'évoquer le thème de la fabrication additive, ont aménagé une rubrique spécifique dans leurs colonnes. C'est le cas, par exemple, de Dezeen, magazine d'architecture et de design.

Ces activités médiatiques se traduisent aussi quelquefois par l'édition d'annuaires professionnels ou de synthèses de tendances, qui permettent de mettre habilement en valeur tel ou tel opérateur, ainsi qu'en témoignent les exemples ci-après :

⁴⁴⁷ Institut de Gestion de l'Innovation de l'Université Johannes Kepler (Linz/Autriche). Voir : <http://www.iku.at/content/e213/e63/e58/e57?apath=e32681/e262488/e265527/e267892>

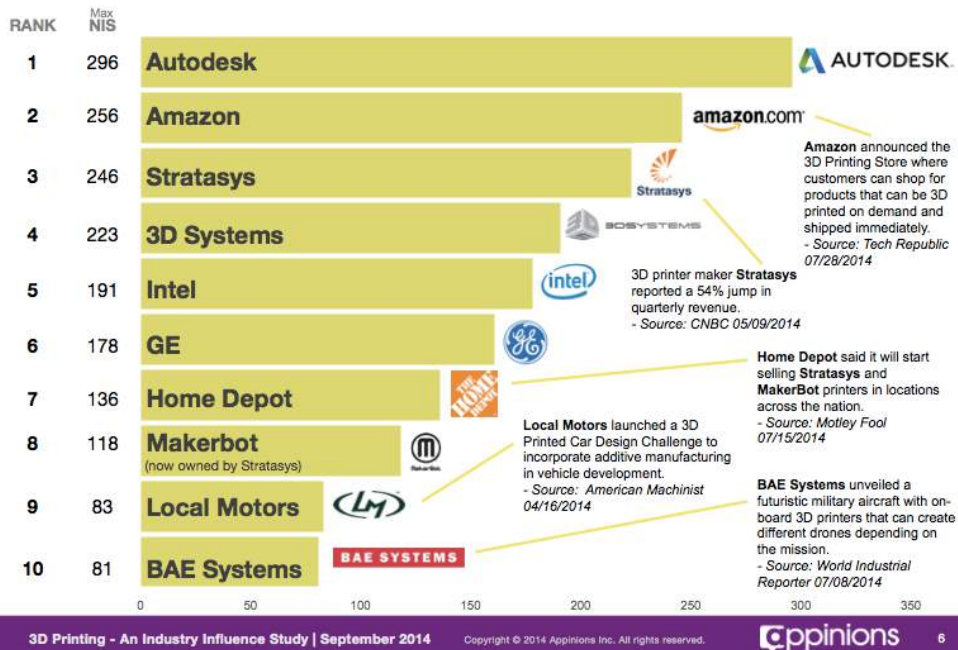
- « 3D Hubs » publie son rapport du mois de juillet (01.07.15) consacré à l'impression additive, tout en introduisant une nouvelle catégorie d'acteurs ("Who is 3D Printing?") : <http://www.3ders.org/articles/20150701-3d-hubs-who-3d-printing-category-along-with-june-3d-printing-trend-report.html>
- Le blog « Appinions » fournit sa propre analyse de l'influence des grandes entreprises sur la vie des affaires, notamment dans le secteur de l'impression 3D...mais il ne cite que des entreprises US (à part BMW) !

Un exemple d'analyse d'impact promotionnel...fortement marqué par l'empreinte US :

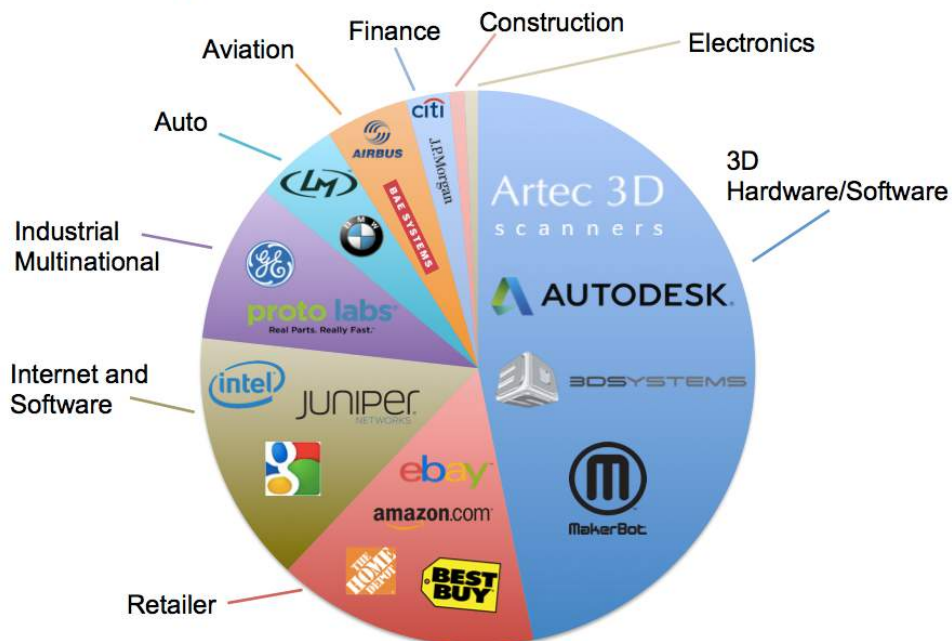
Source : Blog Appinions – 3D Printing Goes Mainstream (03.09.14) :

<http://blog.appinions.com/2014/09/03/3d-printing-goes-mainstream-new-influence-study/>

The 10 Most Influential Companies On 3D Printing



Industries Represented Among Top Influencers



2 – Le volet « Evénements »

► Ce type d'activité, généralement sponsorisé par les grands fabricants, est en progression constante, ce qui s'explique aussi par la dissémination internationale des technologies d'impression 3D.

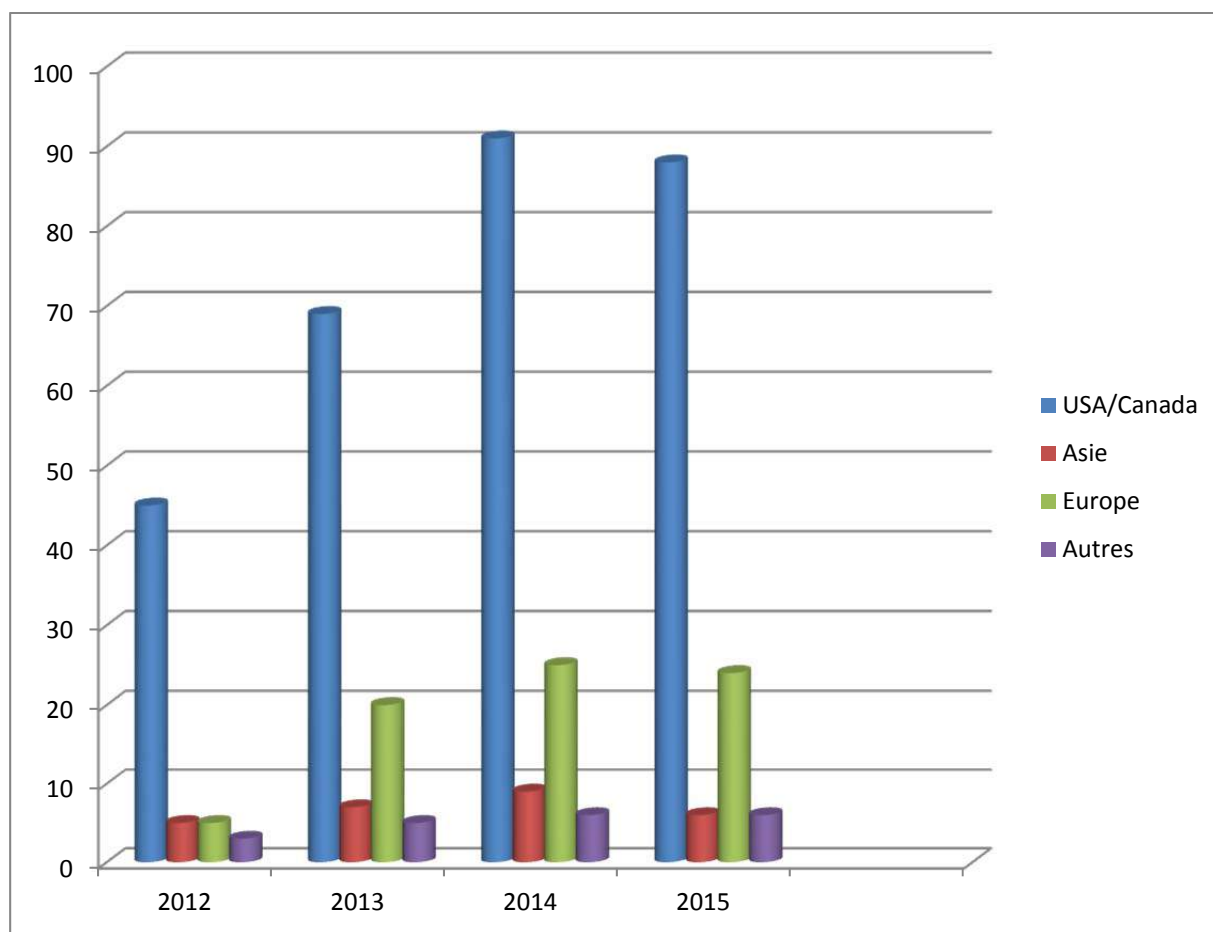
Afin d'exploiter la tendance, certains acteurs du monde des médias, tels que TCT ou Inside 3D Printing (groupe MecklerMedia – New-York), sont à la fois éditeurs de magazines et organisateurs de conventions d'affaires (TCT Shows, Inside 3D Printing Séoul, ...), ce qui leur permet d'exploiter avantageusement les liens qui existent entre couverture médiatique, mobilisation d'intervenants, rencontres techniques ou de prestige, publicité, édition de catalogues, etc.).

Les aspects publicitaires étant susceptibles de masquer la réalité de la mobilisation effective de participants originaires du monde de l'industrie, il n'est pas évident de dresser un panorama réaliste de ces activités.

A titre indicatif, le site « makerfaire.com » propose une liste d'événements qui se sont tenus entre le début de 2012 et fin mai 2015.

La conversion de ces données sous forme de graphique permet d'observer :

- la prééminence incontestable de l'Amérique du Nord,
- la montée en puissance, lente, mais tout aussi incontestable, de l'Europe :



Source : <http://makerfaire.com/map/> Histogrammes : CCI Paris-Ile-de-France


La France apparaît progressivement dans ces agendas événementiels, même si l'axe retenu privilégie (plutôt) le grand public :



RENDEZ-VOUS MAKERS SUR FOIRE DE PARIS 2015 (29 AVRIL AU 10 MAI) !

Au travers de ce partenariat avec Maker Faire Paris, Foire de Paris continue de placer l'innovation et la créativité au cœur de l'événement en donnant envie aux visiteurs de créer à leur tour et de devenir eux-mêmes des Makers. Pour Carine Preterre, Directeur de Foire de Paris : « *Tout comme Foire de Paris, Maker Faire est avant tout un lieu de prospective et de découvertes qui célèbre la création et l'innovation. En 2015, Foire de Paris est ravie d'accueillir la seconde édition du Maker Faire Paris et de s'engager ainsi dans la nouvelle révolution industrielle issue du mouvement des Makers. Par son positionnement et sa faculté à rassembler un visitorat très large, Foire de Paris permettra à Maker Faire Paris de bénéficier d'une belle vitrine et d'être en contact direct avec le grand public.* »

► Calendrier indicatif (2^o semestre 2015)

MOIS	PÉRIODE	LIEU	TYPE DE MANIFESTATION
Juin	05	Saint-Petersbourg	3D Print Conference: événement thématique comportant des ateliers thématiques (impression 3D : une solution anti-crise ?) ou sectoriels (médecine, éducation, bijouterie) https://www.3printr.com/events/3d-print-conference-st-petersburg/
	24 au 26	Séoul	 Inside 3D Printing South Korea: exposition sur 3 jours, avec 2 jours de conférences thématiques (prototypage rapide, développement de produits, software spécialisé) ou sectorielles (automobile, médecine, etc.) : http://inside3dprinting.com/seoul/
Juillet	07 au 09	Nottingham (RU)	Forum d'échange de connaissances focalisé sur la production de composants fabriqués grâce aux technologies « couche-par-couche » ('layer-based' technologies) Cible : 300 experts représentant 19 pays http://www.am-conference.com/ http://www.tctmagazine.com/events/international-conference-on-additive-manufacturing-notts/ (NB : cet événement est sponsorisé par Renishaw, Stratasys et Hieta Technologies et bénéficie du soutien de l'Université de Nottingham)
	09-10	Singapour	Congrès international de bio-impression (2 ^o édition) : série de conférences techniques avec visite de l'Université Technologique Nanyang (où se déroule l'événement). Les débats aborderont aussi les questions liées aux dispositifs médicaux et à l'impression 3D de denrées alimentaires. https://selectbiosciences.com/conferences/index.aspx?conf=IBC2015
Septembre	10 au 12	Pasadena (USA)	3D Printshow
	15 au 17		Asiamold – 3D Printing Asia Zone
	22 au 25		EUROMOLD 2015
	24-25		International Conference on AM Technologies
	30.09/01.10		TCT Show + personalize 2015
Octobre	04 au 07		EURO PM 2015 Congress & Exhibition
	07 au 10	Tokyo	Inside 3D Printing Tokyo
	08 au 10	Moscou	3D Print Expo
	15 au 17	Zhuhai (RPC)	Inside 3D Printing Zhuhai
	16-17	Paris	3D Printshow
	20 au 22	Santa Clara (USA)	Inside 3D Printing Santa Clara
	20-21	Augsbourg	3D Druck in der Automobilindustrie (L'impression 3D dans l'industrie automobile)
Novembre	08 au 12	Dubai	Printshow
	17 au 20		Formnext (TCT)
Décembre	03-04	Mumbai (Inde)	3D Printing Mumbai
	08-10	Shanghai	3D Printing Shanghai

► Quelques exemples d'affiches promotionnelles



3 – Les associations, « groupes d'influence » et autres outils

- Pour se faire davantage entendre, rien n'est plus efficace que l'action collective, d'où la floraison d'associations, au sein desquelles figurent inévitablement fabricants de matériels et médias spécialisés :



3D Printing Association (Londres) :

<https://www.the3dprintingassociation.com/about-us>



Additive Manufacturing Users Group:

<http://www.additivemanufacturingusersgroup.com/>

L'AMUG (auquel participent des entreprises tels que GE, Stratasys, ConceptLaser, SLM Solutions, ExOne, Voxeljet, Arcam, Prodways, Renishaw, ...) vise à fournir une action éducative, tout en faisant progresser les usages et les applications des technologies de fabrication additive.

- Parmi les autres leviers promotionnels, on peut également citer :
 - des outils financiers :



<http://www.3dpfund.com/>

Créé en spin off de Meckler Media Corp, ce fonds investit en actions émises par des entreprises (US et non US) spécialisées dans les technologies liées à l'impression 3D, ce qui inclut, outre le secteur manufacturier, l'informatique, l'électronique et les biotechnologies.

- des places de marché spécialisées: <http://3dsha.re/>.

ANNEXE 8 :

LE RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT : CONTRAINTE OU LEVIER ?

Certains secteurs ont rajouté des réglementations ou des recommandations très spécifiques :

- En France, le ministère de la défense a lancé, depuis 2007, un chantier environnemental qui s'est traduit par l'adoption d'un large et ambitieux plan d'action : au niveau des industriels, cela impose dans le développement des matériels une vigilance accrue sur les matières utilisées.
- En Europe, l'Agence Spatiale Européenne – et en France, le CNES – ont préconisé des mesures pour avoir un espace plus « propre » et éviter ou récupérer les débris qui gravitent autour de notre planète. Ces mesures s'imposent évidemment à tous les industriels qui participent à des projets spatiaux (satellite, véhicules, sondes, et tous les équipements transportés, etc.).

Au niveau industriel en Europe, 161 substances sont qualifiées de SVHC (Substance of very High Concern), et la liste ne fera que s'allonger (perturbateurs endocriniens, sensibilisateurs, etc.), probablement 1500 à 2000 produits interdits à terme par Reach.

Au niveau international, d'autres zones se dotent de réglementations environnementales, l'Amérique du nord – avec une réglementation propre à la Californie – la Chine, la Corée, l'Australie, la Nouvelle-Zélande.

Les procédés de fabrication additive devront, comme les autres procédés industriels, suivre les réglementations en vigueur en termes d'environnement et de sécurité des substances et qui ne feront que se renforcer au cours du temps. Mais, ils sont bien adaptés à pouvoir le faire car, par nature, ces procédés sont économes en matières premières : l'optimisation des formes poussera à toujours minimiser la consommation de matériaux (source de réduction de coût), comme la consommation en énergie.

Autant que cela sera possible, ces procédés tenteront de favoriser le recyclage, de permettre la réparation de pièces qui étaient tenues pour irréparables – donc prolongeront leur durée de vie –, traiter le sujet de fin de vie des pièces (recyclage, élimination des déchets). Les pièces pouvant être fabriquées à la demande, ou dans une localisation déportée (par exemple au plus près du client), une économie en temps, stockage et en transport est potentielle.

Une autre dimension va faire l'objet d'une préoccupation croissante. Outre la protection de l'environnement et des consommateurs, il convient de se préoccuper des personnels au sein de « l'atelier » de fabrication. Un certain nombre de substances sont interdites du fait de leur nocivité, mais **des substances non nocives peuvent le devenir au cours de leur transformation**. C'est le cas des poudres dont les grains peuvent atteindre la finesse d'une ou plusieurs dizaines de microns, représentant un vrai danger en cas d'inhalation. Par ailleurs, des instruments tels les lasers présentent des risques pour les utilisateurs, d'autant que ceux-ci font des gains de performance tout à fait remarquables : une capacité de puissance qui augmente significativement délivrée au cours d'une impulsion qui est de plus en plus réduite – sur certains lasers, en deça de 10-15 secondes. La combinaison de puissance significative délivrée sur des impulsions très courtes augmentent la précision des lasers, donc la précision de la soudure et fera évoluer les poudres vers des tailles encore plus réduites.

Nécessairement, les machines

vont se perfectionner, les manipulations autour de ces poudres, tant pour leur fabrication que pour leur utilisation vont probablement s'automatiser complètement et se faire en atmosphère confinée ou totalement nettoyée pour éviter tout contact avec les opérateurs.

Pour toutes ces raisons, les machines de fabrication additive sont potentiellement très adaptées à une production « propre » au sens des réglementations. En devenant de plus en plus sophistiquées, complexes et de qualité industrielle – comme les machines-outils les plus performantes, elles seront devront être opérées par un personnel qualifié au sein de sociétés industrielles ou de sociétés de service spécialisés, qui produiront pour le compte d'entreprises ou d'entrepreneurs – ce qui n'empêchera le développement d'imprimantes personnelles, mais probablement pour d'autres usages que la production d'objets avec une qualité industrielle.

La question de la formation et l'impact sur le marché du travail. De même pour la santé, il existe un risque de se retrouver avec un scandale de l'amiante dans 20 ans si on n'y prend pas garde immédiatement...

ANNEXE 9 :

AWA, ALM WITH AFRICA, UN PROJET DE R&D EN PARTAGE TECHNOLOGIQUE AVEC L'AFRIQUE

Christian Désagulier, l'un des spécialistes du groupe Airbus, est également passionné par le continent africain. Il est à l'origine du projet AWA qu'il a d'abord lancé à titre personnel, multipliant les contacts sur le thème de la fabrication additive avec certains pays africains. Son initiative pour développer l'ALM en Afrique est aujourd'hui appuyée par son employeur, AIRBUS Defence & Space.

Propos recueillis auprès de Christian Désagulier (AIRBUS Defence & Space).

1. Présentation des technologies de fabrication additives et intérêt pour l'industrie spatiale

L'ALM (Additive Layer Manufacturing) appelées dans le grand public "Impression 3D" (3D printing), est une famille de procédés de fabrication mécanique fondée sur des méthodes additives, à base de matériaux métalliques ou plastiques, qui se présentent sous forme de poudre ou de fil fondus-soudés, couche à couche, suivant la trajectoire CAO (Conception Assistée par Ordinateur) au moyen chauffant d'un faisceau laser ou d'électrons, d'un arc électrique ou d'une résistance électrique dans le cas du thermoplastique. La quantité de matériaux mise en œuvre est ainsi limitée au volume de la pièce fonctionnelle.

Ces procédés sont complémentaires des procédés conventionnels dits soustractifs, où l'on part d'un bloc de métal pour éliminer la matière excédentaire à l'aide d'un ou d'une succession d'outils de coupe pilotés suivant la trajectoire issue d'un programme de commande numérique transcrit à partir de la CAO de la pièce. Le retrait de matière à partir d'un bloc peut aller jusqu'à plus de 90% sur les pièces mécaniques d'équipement de Satellite dans le cas de pièces complexes et très ouvragées. Plus la pièce aura été optimisée en masse lors de sa conception, moindre sera la quantité de matériau mis en œuvre et donc plus rapide sera sa fabrication permettant d'atteindre cet optimum économique qui permet dès à présent de réduire les coûts de fabrication d'un facteur 2 à 10.

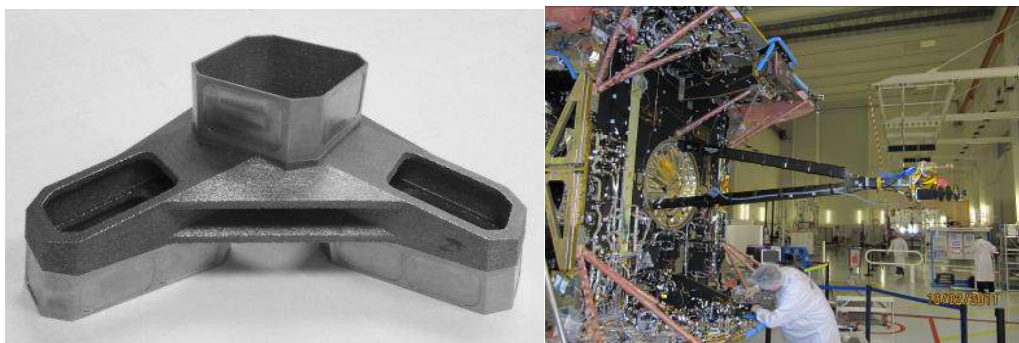
Mais c'est aussi potentiellement un facteur de réduction de consommation d'énergie qui est à proportion de la quantité de matière nécessaire à la fabrication de la pièce : le bilan énergétique global est par conséquent inférieur à celui des procédés d'usinage classique à partir d'un bloc de métal, production par atomisation de la quantité de poudre nécessaire et suffisante pour incluse, sans copeaux ni huiles de coupe qui ajoute un surcoût énergétique et de recyclage.

A cet égard, les procédés ALM sont identifiés par l'ESA (European Space Agency) au titre de l'initiative Clean Space en tant que Green Technologies capables de réduire l'impact environnemental de l'industrie spatiale.

Du fait de l'aptitude à maîtriser la trajectoire de la source de chaleur suivant un fichier directement issu d'une CAO, les degrés de liberté de réalisation et donc de conception ALM sont augmentés par rapport aux capacités de mouvements d'outils de coupe, de sorte que la forme de la pièce peut être optimisée (1) techniquement en direction d'un allègement, la masse étant l'ennemie dans le secteur spatial, et (2) économiquement, l'objet de la recherche optimum de l'industriel, l'allègement technico-économique et écologique sera obtenu par optimisation topologique.

Avec la mise à disposition sur le marché de machines de fabrication additive fiables, l'atelier de fabrication peut se doter de nouveaux moyens de production qui ne remplaceront pas totalement les centres d'usinage à Commande Numérique (CN), des retouches de finition aux interfaces étant toujours nécessaires.

Ces moyens de production améliorés où la conception a la part du lion paraissent conçus pour l'industrie spatiale : pièces uniques ou petites séries dont les allègements additionnés des pièces structurales sont autant d'augmentation de la masse de charge utile et donc de performance de ses Satellites de Télécommunication ou d'Observation spatiale, outre les gains de coûts de réalisation.



2. L'intérêt des technologies de fabrication additives en Afrique et dans les pays émergents – Le projet AIRBUS DS Alm With Africa

En tant que technologies durables, AIRBUS DS (AIRBUS Defence & Space) a identifié que les avantages des technologies de fabrication additives répondaient aux critères des Objectifs Millénaires pour le Développement avancés par l'ONU et travaille depuis 2011 à leur promotion en Afrique :

- Forum FRSIT en octobre 2012 à Ouagadougou (Burkina Faso) sous l'égide de l'IRD :



- Workshop en mai 2013 à l'ONG SONGHAI à Porto-Novo (Bénin) :



Fabrication de pièces d'applications agricoles et industrielles au moyen d'une imprimante 3D à l'ONG SONGHAI (Bénin)

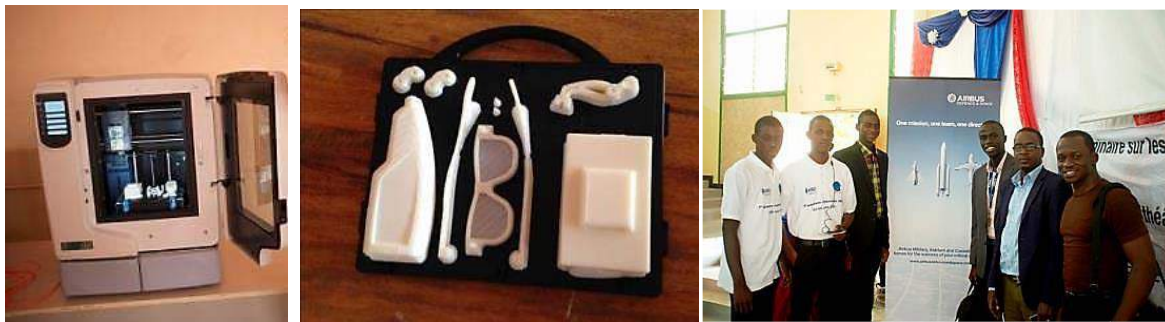
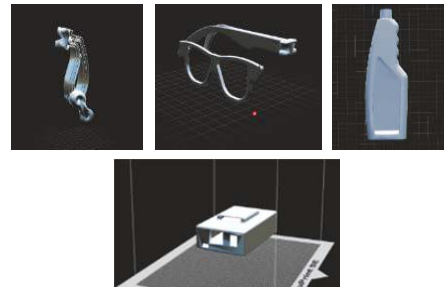
Cette dernière initiative a vu SONGHAI récompensée au titre du Forum Afrique 2013 organisé par le Ministère des Affaires Etrangères « 100 Innovations pour un développement durable ».



Une nouvelle étape a été franchie avec la signature d'un Accord de Coopération avec l'Université Cheikh Anta Diop le 3 juin 2014 pour la promotion de l'enseignement des techniques de conception et de fabrication additives dont le cursus sera adossé à une plateforme intégrée par AIRBUS DS au Sénégal, initiative soutenue par le SCAC de l'Ambassade de France :



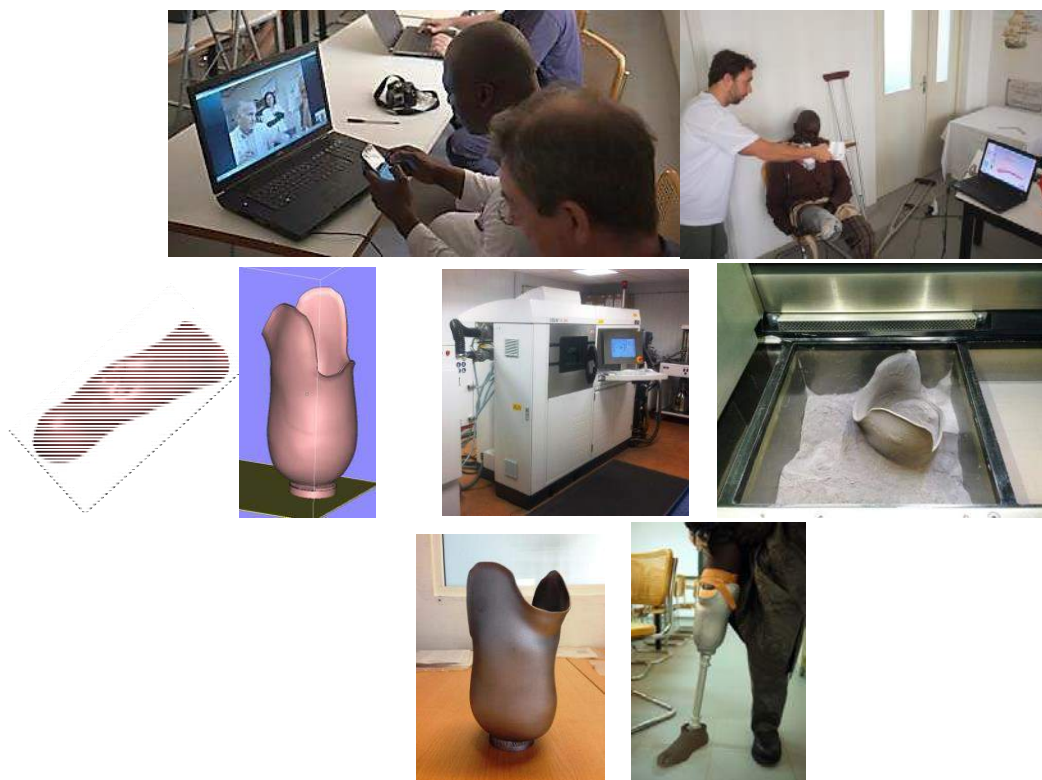
A cette occasion un Atelier de 2 jours en direction des étudiants de l'Université, futurs ingénieurs mécaniciens d'Afrique de l'Ouest, a permis de faire la démonstration du potentiel intellectuel à s'approprié en un temps record les principes de conceptions et fabrications additives.



En parallèle de ce soutien en direction du Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche du Sénégal, AIRBUS Defence & Space, s'est rapprochée du Centre Hospitalier de l'ONG Ordre de Malte de Dakar (CHOM) afin de faire une démonstration de télémédecine appliquée à l'appareillage orthopédique.

Deux patients sénégalais ont fait l'objet d'un diagnostic et de prescriptions orthopédiques à l'issue d'une visio-conférence entre le CHOM de Dakar et l'Hôpital de Garches.

Les images 3D des membres des patients ont été recueillies au moyen d'un scanner portable, lesquelles images numériques ont été envoyées par internet à un équipementier en France pour optimisation clinique par un orthoprothésiste. Les fichiers numériques optimisés ont ensuite été envoyés toujours par internet à une entreprise équipée d'une machine de fabrication additive pour réalisation. Les prothèses fabriquées par impression 3D/fabrication additive ont ensuite été transportées à Dakar où les patients, après essai et contrôle médical ont pu repartir équipés de leur prothèse.



AIRBUS DS a ainsi apporté la preuve de la capacité des procédés de fabrications additifs d'être compatibles de télé-fabrication permettant la mise en réseau des moyens de conception et de fabrication, ici appliquées au domaine particulier de la prothèse médicale.

On peut estimer le potentiel de réduction des délais par 4 (unité de compte en jour au lieu de la semaine) et celui de réduction des coûts par 10.

L'ONG Handicap International a manifesté un intérêt pour le projet : ce protocole est susceptible de se substituer à celui de moulage au plâtre du membre concerné (négatif), de coulée de plâtre dans ce moule pour récupérer l'empreinte (positif), de moulage d'une plaque de thermoplastique polypropylène ramollie à chaud à la surface de ce dernier moule pour l'obtention d'une coque (fragile) qu'il faut ensuite adapter aux interfaces pour le montage d'équipements standards (tige et pieds pour le membre inférieur.)

Outre des applications d'urgence, ce protocole est également susceptible de remplacer celui fastidieux au plâtre pratiqué partout dans le monde, auprès des patients dont la coquille est réalisée actuellement en matériaux composites coûteux, lesquels matériaux, venus du secteur spatial, pourrait être remplacé par un plastique très robuste, de la famille de ceux utilisés également dans le secteur spatial.

Fort de la conviction que ces nouveaux procédés sont en mesure de faire sauter l'étape de notre développement industriel reposant sur des procédés plus conventionnels, énergivores, à fort impact environnemental, il y a en Afrique des applications beaucoup plus généralisables sous l'aspect technico-économique : pour une problématique de production donnée, nous avons le choix entre plusieurs procédés, ils n'ont le choix qu'entre les nôtres qu'ils faut importer (et l'on sait ce que le transport et les taxes peuvent ajouter de surcoût) et les procédés de fabrication additifs que les techniciens et ingénieurs formés en Afrique sont en capacité de s'approprier et de valoriser comme c'est le cas pour le téléphone portable, plus répandu maintenant en Afrique qu'en Europe.

Ainsi, les pays du Sud qui le souhaitent peuvent désormais se doter de moyens autonomes rapides et abordables afin de réduire leur dépendance à l'égard du Nord pour la réparation, l'amélioration de la robustesse de pièces mécaniques au sens large : AIRBUS Defence & Space se positionne dans ce sens pour délivrer des plateformes de fabrication additives clé-en-main, formation et maintenance incluses.

A cet égard, dans le prolongement de l'Accord de collaboration signé avec l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, AIRBUS DS à la demande de l'Ambassade de France du Sénégal, s'apprête à faire une Offre de plateformes pédagogiques d'Impression 3D « plastique » et d'ALM « métal » qui seraient mises en réseau entre les 3 universités majeures du Sénégal (Dakar, Thiès et Saint-Louis), une proposition qui serait cofinancée par le Ministère français des Affaires Etrangères et du Développement International et par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche du Sénégal dans le cadre du projet PATRIE (Plateforme d'Appui Technique à la Recherche et l'Innovation pour l'Emergence Economique.)

Transport routier, naval, ferroviaire, matériel agricole et de transformation agro-industrielle, extraction minière et pétrolière et dans le secteur médical qui n'est pas le moindre, pour la fabrication de matériel médical et de prothèses légères, robustes et durables, toutes applications terrestres qui bénéficieront d'un retour d'expérience industrielle spatial, dont le Nord pourra trouver à s'inspirer à son tour des innovations venues du Sud et qui ne ferait pas mentir Pline l'ancien : « *Africa semper aliquid novi* »...

Avec la collaboration de :



ANNEXE 10 : **LES LEÇONS DU CONSUMER ELECTRONIC SHOW (CES) – LAS VEGAS**

Comme tous les ans, le Consumer Electronic Show (CES) de Las Vegas a lancé l'année high-tech en beauté, avec son lot d'innovations et la présence remarquée de la délégation française, portée par le mouvement French Tech. Bien sûr, l'année 2015 confirme le fort potentiel des objets connectés, mais ils n'étaient pas les seules stars du salon. On a notamment pu y découvrir une multitude d'imprimantes 3D, dont certaines destinées au grand public. La démocratisation de cette technologie est en marche, et elle s'apprête à bouleverser nos vies, comme l'ont fait avant elle des innovations telles que l'ordinateur personnel ou le téléphone portable. C'est tout sauf un phénomène de science-fiction.

Les domaines d'application de l'impression 3D semblent infinis. À l'heure actuelle, elle est par exemple utilisée dans le domaine de la médecine, notamment par des chercheurs qui ont réussi l'exploit de recréer des vaisseaux sanguins fonctionnels entièrement synthétiques. Une avancée qui permet d'envisager sérieusement la fabrication d'organes et de tissus artificiels destinés à la transplantation via cette technique, ce qui révolutionnerait la médecine. Mais déjà, les risques liés à l'impression 3D émergent en même temps que son développement, symbolisés notamment par la production d'armes maison indétectables et intraquables. Aujourd'hui, la question n'est même plus de savoir si l'impression 3D va changer le monde, car c'est déjà le cas.

UNE DÉMOCRATISATION GALOPANTE

Au départ réservée à l'industrie, qui s'en servait pour réaliser des prototypes industriels à moindre coût, cette technique a dépassé ce stade depuis 2011, avec la vente d'environ 15 000 imprimantes 3D. Aujourd'hui, il est possible d'imprimer à partir de matériaux variés tels que le plastique, le métal, le plâtre, le béton, le chocolat, le papier, et même des cellules. Et la technologie ne cesse de s'améliorer : vitesse d'impression de plus en plus rapide, imprimantes de plus en plus abordables et compactes, possibilités d'utilisation toujours plus étendues et complexes...

Aujourd'hui, tout le monde ou presque peut s'offrir une imprimante 3D performante. Au CES, début janvier, la société Ultimaker présentait ainsi deux nouveaux modèles destinés au grand public : un compact à 1 195 euros, et une version XXL à 2 495 euros. S'offrir une imprimante 3D devient accessible. Elle ne coûte pas plus cher qu'un ordinateur haut de gamme. Il existe des modèles premier prix, basiques mais ludiques, à quelques centaines d'euros.

LES DÉRIVES POSSIBLES

Si l'impression 3D évoque le progrès, et suscite bien des espoirs, elle soulève un certain nombre de problématiques, notamment en termes de propriété intellectuelle et industrielle, avec les craintes liées à une explosion de la contrefaçon. En effet, à l'aide d'un scanner couplé à imprimante 3D, il est déjà possible de reproduire des objets à la maison sans aucune entrave. En droit français par exemple, la reproduction est autorisée lorsqu'elle est réservée à un usage privé, et les objets eux-mêmes seront bientôt téléchargeables, et donc exposés au piratage. La prise en compte de ces paramètres fait apparaître qu'une évolution de la législation est inéluctable pour encadrer les pratiques.

Au-delà des questions de droit, de nombreux experts se posent des questions sur la nature des objets imprimés et leur degré de dangerosité. Cette problématique a notamment été mise en évidence par les agissements du jeune Américain Cody Wilson, qui fêtera demain ses 27 ans. En 2012, il a affolé tout le monde en présentant au grand public une association à but non lucratif, baptisée Defense Distributed, dont la vocation est de développer et de publier des fichiers open source afin d'imprimer des armes à son domicile, qu'il s'agisse de pistolets ou carrément de fusils d'assaut. Un danger d'autant plus grand que ces armes sont intraquables. Il y a trois ans, le magazine Wired plaçait Cody Wilson dans sa liste des 15 personnes les plus dangereuses du monde ! Mais les risques ne s'arrêtent pas là, et on imagine déjà de faux billets de banque imprimés grâce à ces technologies.

UNE SOURCE D'ESPOIRS

Comme la plupart des révolutions industrielles, l'impression 3D n'est pas sans risque et divise l'opinion. Mais il serait malhonnête de passer à côté des nombreux avantages et innovations qu'elle apporte, notamment dans le domaine de la médecine. Elle a déjà permis de reproduire un crâne, implanté à une patiente aux Pays-Bas, d'imprimer une vertèbre destinée à un enfant en Chine, et de fabriquer en série des prothèses en tous genres (dentaires, auditives, de main...) La prochaine grande avancée, actuellement à l'étude, est la possibilité d'utiliser des cellules souches comme matériau imprimable, afin de rendre possible à l'avenir l'impression d'organes humains sur-mesure destinés à la transplantation.

La médecine n'est pas le seul domaine d'application prometteur pour l'impression 3D. Tous les secteurs ou presque sont concernés. La NASA, par exemple, envisage d'utiliser les imprimantes 3D pour diverses applications, comme l'impression de nourriture dans l'espace, ou de pièces de rechange en cas de défaillances. Certains imaginent même que les imprimantes 3D pourraient mettre un terme à la faim dans le monde. Le domaine de la mode est également concerné. Depuis 2013, et la première robe intégralement fabriquée à partir d'une imprimante 3D, de nombreux couturiers s'intéressent à la technologie. L'industrie automobile n'est pas en reste non plus, car la première voiture totalement conçue via une imprimante 3D, l'Urbee, a vu le jour il y a déjà deux ans. D'ailleurs, le cabinet de consultant Barkawi estime qu'à partir de 2035, toute la production de Volkswagen sera réalisée à partir d'imprimantes 3D !

Le développement de l'impression 3D n'en est qu'à ses balbutiements, mais on entrevoit déjà le potentiel immense de cette technologie. Bientôt, il sera banal d'avoir une imprimante 3D à la maison, et notre quotidien s'en trouvera bouleversé. On vous aura prévenu !

ANNEXE 11 :

UN NOUVEAU GÉANT DE LA FABRICATION ADDITIVE MÉTALLIQUE : LA JOINT-VENTURE CONSTITUÉE PAR FIVES ET MICHELIN

Le 7 septembre 2015, Fives et Michelin ont officialisé un secret parmi les mieux gardés dans le développement industriel concernant la fabrication additive : Le groupe Michelin travaillait depuis une dizaine d'années sur la fabrication additive métal en recherchant à fabriquer ainsi des outillages absolument novateurs pour la fabrication de leurs pneus.

Par un communiqué publié pages suivantes, Michelin et Fives, spécialiste de rang mondial dans les machines-outils les plus complexes, annoncent ainsi la création d'une joint-venture – filiale commune à 50/50 – pour industrialiser et commercialiser les machines de fabrication additive que Michelin a mis au point pour ses besoins propres, et développer une gamme de futures machines.

Les aspects très innovants de cette technologie maîtrisée par le groupe de pneumatiques lui permettent en effet de graver des moules totalement optimisés : Le constructeur assure ainsi obtenir des performances pour tout type de pneus (tourisme comme utilitaires ou poids lourds) très supérieures à ceux de la concurrence. Par exemple, leur nouveau pneu « cross climate » efficace aussi bien par temps d'été que d'hiver - et qui évite donc une monte spéciale en pneus neige - est une application directe de ces motifs de moules réalisés en fabrication additive.

Un moule⁴⁴⁸ de pneu est en effet composé de lamelles qui permettent de graver des sillons ou des reliefs optimisant par exemple l'écoulement des eaux de pluies, la résistance à l'usure, l'adhérence sur tout type de routes (sèches, humides, etc.), les capacités de freinage sur des distances réduites – ce qui peut sauver des vies. Ces nouvelles technologies maîtrisées par l'industriel lui confèrent – d'après les termes mêmes du communiqué - la capacité à produire des moules qui ne sont pas réalisables par des technologies classiques à cause de leurs complexités et qui sont à l'origine du surcroît de performances.

A l'aide de fabrication additive métal, Michelin a ainsi produit à l'échelle industrielle et avec une parfaite qualité les outillages nécessaires pour réaliser des millions de pneus déjà commercialisés. Pour garder l'avance ainsi acquise par ce nouveau type de machine, l'industriel a fait le choix de les vendre et développer les gammes futures. Michelin est donc le premier industriel à faire rentrer la fabrication additive dans la production de masse d'objets très techniques : il s'agit de fabrication additive indirecte puisque ce sont les moules qui sont produits en fabrication additive. Il n'en demeure pas moins que c'est le premier exemple de production de grande série issue de la fabrication additive, et que le concepteur de la machine est cette fois un grand industriel plutôt qu'une PME ou une ETI qui a ainsi industrialisé son propre outillage de production.

L'objet de la joint-venture qui industrialisera ces machines – et qui elle, sera une PME, filiale de deux grands groupes - est bien entendu de les produire et les commercialiser, et d'adresser ainsi bien d'autres applications comme d'autres matériaux métalliques. Elle va s'appuyer sur le savoir-faire industriel de Fives, spécialiste de la machine-outil et qui possède un réseau de distribution et maintenance à travers le monde. Fives a déjà une expertise dans la fabrication de machines de fabrication additive puisque cette société a un partenariat avec BeAM, l'autre fabricant de machines 3D métal français : Fives produit et assure la maintenance des machines BeAM. Les machines de BeAM et celles de la nouvelle joint-venture ne sont pas en concurrence dans leurs applications.

⁴⁴⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=XQvUasbApKM>.



Les images ci-dessus sont des moules (ou des parties de moule) pour pneumatiques afin d'illustrer le propos. Aucune de ces images ne représente un moule réalisé en fabrication additive pour des questions de secret industriel bien compréhensibles.



Information presse

Paris, le 7 septembre 2015

Le Groupe Michelin et Fives s'associent pour créer FIVES MICHELIN ADDITIVE SOLUTIONS et devenir un acteur majeur de l'impression 3D Métal

Michelin et Fives annoncent aujourd'hui la création d'une joint-venture pour développer et commercialiser à l'échelle mondiale des machines et des ateliers de production industriels via la technologie de « fabrication additive métallique », communément appelée impression 3D Métal.

Une alliance de compétences

Selon les termes de l'accord signé le 4 septembre 2015 à Clermont-Ferrand par Jean-Dominique SENARD, président du Groupe Michelin et Frédéric SANCHEZ, président du Directoire de Fives, FIVES MICHELIN ADDITIVE SOLUTIONS sera détenue à 50% par Fives et 50% par Michelin et bénéficiera d'un apport financier d'au moins 25 millions d'euros au cours des trois premières années. Dans un premier temps, elle emploiera une vingtaine de personnes issues des équipes de Michelin et de Fives et intégrera des expertises complémentaires. Cette société sera implantée à proximité de Clermont-Ferrand.

Fives est un groupe français leader mondial de la conception et de la réalisation de machines et lignes de production à haute valeur ajoutée. Présent dans une trentaine de pays, il fournit des équipements et systèmes de production aux plus grands acteurs industriels mondiaux dans des secteurs variés. Fives apporte sa compétence, son expérience et sa capacité d'innovation en génie mécanique, automatisation et contrôle de processus industriels pour la réalisation des machines et systèmes intégralement numérisés répondant aux impératifs technologiques de la fabrication additive mais aussi aux contraintes de fiabilité et reproductivité d'une production industrielle maîtrisée.

De son côté, Michelin a développé depuis plusieurs années une expertise unique de fabrication additive métallique pour produire, à l'échelle industrielle, des pièces de moules irréalisables avec les moyens de production traditionnels (usinage, soudure, ...). Cette technologie permet de développer et de commercialiser, aujourd'hui, des pneumatiques Poids Lourds et Tourisme aux performances inégalées.

A travers cette joint-venture, Michelin valorise son expertise acquise dans des procédés industriels innovants.

L'ambition : devenir un acteur clé de l'impression 3D Métal

FIVES MICHELIN ADDITIVE SOLUTIONS proposera aux industriels des différents domaines d'application (comme l'automobile, l'aéronautique, la santé, etc.) une solution globale allant de la conception et la fabrication de machines ou de lignes complètes de production aux services associés (reconception des pièces, définition du processus de fabrication, installation, support à la production, formation...).

En créant FIVES MICHELIN ADDITIVE SOLUTIONS, Fives et Michelin ambitionnent de devenir un acteur clé sur le marché porteur de la fabrication additive métallique. L'objectif est de s'appuyer sur la complémentarité des expertises des deux groupes pour devenir un leader mondial sur ce segment innovant de solutions industrielles de grande production.

La fabrication additive métallique, un secteur en développement

Si la fabrication additive est déjà largement utilisée par les industriels pour le plastique, l'impression 3D métal est encore un marché de niche, mais en pleine mutation. D'abord destinée à la production de pièces uniques à forte valeur ajoutée, la technologie impression 3D métal est en train de gagner un marché plus large et commence à être utilisée par les équipementiers, accessoiristes ou encore les avionneurs. Cette technologie est assurée d'un fort potentiel de développement grâce à ses nombreux atouts : processus totalement digitalisé et donc totalement flexible, simplification des assemblages de pièce, gain de masse, suppression des pertes matières et possibilité quasi infinie de personnalisation des pièces à produire. Selon le rapport Wohlers, le marché annuel de la fabrication additive métallique représentait en 2014 déjà plus de 600 millions d'euros avec une croissance moyenne annuelle de plus de 20%. Cette même année, plus de 500 machines ont été vendues dans le monde.

Cette opération devrait être finalisée dans les mois qui viennent, étant soumise à la validation des autorités de la concurrence compétentes.

A propos de Michelin

La mission de Michelin, leader de l'industrie pneumatique, est de contribuer de manière durable à la mobilité des personnes et des biens. A ce titre, le Groupe fabrique, commercialise et distribue des pneus pour tous types de véhicules. Michelin propose également des services digitaux innovants, comme la gestion numérique de flottes de véhicules ou des outils d'aide à la mobilité. Il édite des guides touristiques, des guides hôtellerie et restauration, des cartes et des atlas routiers. Le Groupe, dont le siège est à Clermont-Ferrand (France), est présent dans 170 pays, emploie 112 300 personnes dans le monde et dispose de 68 sites de production implantés dans 17 pays. Le Groupe possède un centre de technologie en charge de la recherche et du développement implanté en Europe, en Amérique du Nord et en Asie. (www.michelin.com)

Contact presse : + 33 (0) 1 45 66 22 22 – Groupe-Michelin.Service-de-Presses@fr.michelin.com

A propos de Fives

Groupe d'ingénierie industrielle né il y a 200 ans, Fives conçoit et réalise des machines, des équipements de procédés et des lignes de production pour les plus grands acteurs mondiaux de l'aluminium, de l'acier, du verre, de l'automobile, de la logistique, de l'aéronautique, du ciment et de l'énergie, dans les pays émergents comme dans les pays développés. Dans tous ces secteurs, Fives conçoit et réalise des équipements et solutions innovants pour mieux anticiper et répondre aux besoins de ses clients en termes de performance, de qualité, de sécurité et de respect de l'environnement. En 2014, Fives a réalisé un chiffre d'affaires de 1,6 milliard d'euros et comptait près de 8 000 collaborateurs dans une trentaine de pays (www.fivesgroup.com).

Contact presse :

Claire Mathieu
+33 1 45 23 76 21
claire.mathieu@fivesgroup.com

ANNEXE 12 : BIBLIOGRAPHIE

- Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing A Literature Review and Discussion – Douglas S. Thomas, Stanley W. Gilbert Applied Economics Office, Engineering Laboratory Department of US Commerce - Décembre 2014
<http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1176.pdf>
- 3D printing and additive manufacturing state of the industry annual worldwide progress report - Wohlers Report 2014
- Economics of the U.S. Additive Manufacturing Industry - NIST Special Publication 1163 - Department of US Commerce - Douglas S. Thomas - August 2013
<http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1163.pdf>
- 50 Fab Labs en France (et 350 dans le monde) : État des lieux et pratiques
<http://www.netpublic.fr/2014/06/50-fablabs-en-france-et-350-dans-le-monde-etat-des-lieux-etpratiques/>
- Additive Manufacturing Technical Workshop Summary Report - Christopher Brown, Joshua Lubell, Robert Lipman Systems Integration Division, Engineering Laboratory. Department of US Commerce - November 2013
<http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/TechnicalNotes/NIST.TN.1823.pdf>
- Co-creation and User Innovation: the role of Online 3D Printing Platforms, Prof. Thierry Rayna, Dr Ludmila Striukova et Prof. John Darlington
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0923474815000296>
- From Rapid Prototyping to Home fabrication: How 3D Printing is changing Business Model Innovation, Prof. Thierry Rayna, Dr Ludmila Striukova
- Additive manufacturing : A game changer for the manufacturing industry? - Roland Berger - 2013
http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Additive_Manufacturing_20131129.pdf
- Additive Manufacturing : SASAM Standardisation Roadmap
www.sasam.eu
- AMF – The 3D printing format to replace STL ? - 3D Additive Fabrication - Novembre 2011
<http://3daddfab.com/blog/index.php?archives/5-AMF-The-3D-Printing-Format-to-Replace-STL.html>
- L'impression 3D, merveille ou menace ? - N°84, Supply chain magazine - M. Ferrey, S. Houette, M. Dougados - Mai 2014
<http://supplychainmagazine.fr/TOUTEINFO/Archives/SCM084/TRIBUNE841.pdf>
- La fabrication additive / Impression 3D - BPI France – 2014
<http://www.bpifrance.fr/VivezBpifrance/Dossiers/LafabricationadditiveImpression3D>
- Innovations technologiques et performance industrielle globale : l'exemple de l'impression 3D, rapport du CESE
http://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Rapports/2015/2015_07_innovations_techno_impression_3d_.pdf
- Les enjeux stratégiques de la fabrication additive : positionnement de l'académie des technologies, avis voté par l'Assemblée à la séance du 10 juin 2015
<http://www.academie-technologies.fr/blog/categories/avis-et-recommandations/posts/les-enjeux-strategiques-de-la-fabrication-additive-positionnement-de-l-academie-des-technologies>
- Timeline of 3D printing (en anglais seulement) - T. Towe Price - Décembre 2011
http://individual.troweprice.com/staticFiles/Retail/Shared/PDFs/3D_Printing_Infographic_FINAL.pdf
- Frontiers of Additive Manufacturing Research and Education An NSF Additive Manufacturing Workshop Report July 11 and 12, 2013 - Yong Huang & Ming C. Leu - Mars 2014
<http://nsfam.mae.ufl.edu/2013NSFAMWorkshopReport.pdf>
- 3D opportunity in aerospace and defense - Additive Manufacturing takes flight - Deloitte University Press - Juin 2014
<http://dupress.com/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-aerospace/>
- Report to the President on Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing. Executive Office of the President of the United States - July 2012
http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/pdfs/pcast_july2012.pdf
- Foresight A new era of opportunity and challenge for the UK - The Government Office for Science, London - 30 October 2013 (250 pages, et 54 pages "summary report")
<https://www.gov.uk/government/publications/future-of-manufacturing>
- Additive Manufacturing : Strategic Research Agenda - Commission européenne - février 2014
<http://www.rm-platform.com/linkdoc/AM%20SRA%20-%20February%202014.pdf>
- Additive Manufacturing in FP7 and Horizon 2020. Report from the EC Workshop on Additive Manufacturing held on 18 June 2014 - Commission européenne
<http://www.rm-platform.com/linkdoc/EC%20AM%20Workshop%20Report%202014.pdf>

- Airbus will be printing planes by 2050 futurologist tells Bristol business leaders - Gavin Thompson, The Bristol Post - July 2014
<http://www.southwestbusiness.co.uk/news/02072014094758-airbus-will-be-printing-planes-by-2050-futurologist-tells-bristol-business-leaders/>
- Obama's speech highlights rise of 3-D printing, Doug Gross, CNN, Updated 2022 GMT (0422 HKT) - February 13, 2013
<http://edition.cnn.com/2013/02/13/tech/innovation/obama-3d-printing/>
- President Obama Praises NAMII in State of the Union Address - October 10, 2013
<http://energy.gov/eere/amo/articles/president-obama-praises-namii-state-union-address>
- GKN Aerospace to lead research collaboration into additive manufacturing - July 7, 2014
<http://www.gkn.com/media/News/Pages/GKN-Aerospace-to-lead-research-collaboration-into-additive-manufacturing.aspx>
- Changing the future of additive manufacturing - Liz Nickels - July 14, 2014.
<http://www.metal-powder.net/view/39308/changing-the-future-of-additive-manufacturing/>
- NISTIR 8005 : Applicability of Existing Materials Testing Standards for Additive Manufacturing Materials - John Slotwinski, Shawn Moylan - June 2014
<http://dx.doi.org/10.6028/NIST.IR.8005>
- We Can't Wait: Obama Administration Announces New Public-Private Partnership to Support Consortium of Businesses, Universities, and Community Colleges - August 16, 2012
<http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2012/08/16/we-can-t-wait-obama-administration-announces-new-public-private-partners>
- Fact Sheet: Additive Manufacturing - Department of US Commerce - August 15, 2012
<http://www.commerce.gov/news/fact-sheets/2012/08/15/fact-sheet-additive-manufacturing>
- <http://camal.ncsu.edu/research/aerospace-and-automotive/>
Description de R&D dans un laboratoire universitaire. Certains projets aéronautiques sont soutenus par le NAMII et the NSF
- PWC - 3D printing: A potential game changer for aerospace and defense
http://www.pwc.com/en_US/us/industrial-products/publications/assets/pwc-gaining-altitude-issue-7-3d-printing.pdf
- Jeff DeGrange on the State of Additive Manufacturing in Aerospace
http://www.stratasys.com/~media/Main/Secure/White%20Papers/Rebranded/SSYS_WP_constant_improvement_jeff_degrange.pdf
- The University of Sheffield Advanced Manufacturing Research Centre (AMRC) with Boeing is a world-class centre for advanced machining and materials research for aerospace and other high-value manufacturing sectors.
<http://www.amrc.co.uk/>
- Nature and mathematics join forces to cut the cost of 3D printing - Kirsten Marring nature with mathematics has enabled the AMRC Design and Prototyping Group (DPG) to push the boundaries of new Additive Manufacturing (AM) technologies, cutting cost, manufacturing time and waste. The initiative combines the way nature makes insect wings with fractal mathematics to remove the need for additional support when curved structures are built up from layers of plastic on a 3D printer, using The Fused Deposition Modeling (FDM) process - December 3, 2014
<http://www.amrc.co.uk/featuredstudy/nature-and-mathematics-join-forces-to-cut-the-cost-of-3d-printing/>
- Top Asian innovation award for international partnership involving AMRC Composites Centre - January 6, 2015 (implicant Boeing et la Corée)
<http://www.amrc.co.uk/news/top-asian-innovation-award-for-international-partnership-involving-amrc-composites-centre/>

The AMRC team carried out the research in partnership with South Korean research centre KCTECH (Korea Institute of Carbon Convergence Technology) and the Ssangyoung Motor Company.

Won the JEC Asia award for innovation in automotive applications for their work on developing a complex composite acoustic cover for a car engine bay that can be cured in an industrial microwave. "Microwave curing is a new technology, which has only been used for simple shapes in the past. It offers a number of benefits over other methods, including saving time and energy (up to 30%).
- UK : Chancellor announces £60 million to support UK's world-leading - aerospace technology - 16 January 2014, Birmingham, England
<https://hvm.catapult.org.uk/documents/2157642/9117625/Chancellor+at+HVM+Summit/c1a81f66-5622-457a-af56-0e5877f7a05e>
- This strategic research and innovation agenda is proposing a new vision for production in Sweden 2030 and recommending long term efforts that are necessary to strengthen innovation, development and production of goods and services in Sweden.
<http://www.teknikforetagen.se/Documents/Produktion/Made%20in%20Sweden%202030-eng.pdf>
- Arcam : entreprise suédoise référence de l'AM, fabricant les seules machines produisant par faisceau d'électrons
<http://www.arcam.com/>
- Chine : Additive Manufacturing in China: Aviation and Aerospace Applications (Part 2) – May 2013
<http://iqcc.ucsd.edu/assets/001/504640.pdf>

- Vidéo sur le futur du 3D printing : 3 minutes de prospectives par General Electric allant des objets de la maison à la reproduction d'organes (plus publicitaire que scientifique).
<http://www.ge.com/stories/advanced-manufacturing>
- Une machine qui imprime en stéréolithographie du sable (applications pour des moules), ou une autre machine qui traite du verre pour des objets décoratifs
<http://www.exone.com/en/materialization/what-is-digital-part-materialization/sand>
- L'Usine Nouvelle - Turbomeca passe à l'impression 3D - 12 janvier 2015
<http://www.usinenouvelle.com/article/turbomeca-fabriquera-des-pieces-de-moteur-par-impression-3d-en-serie.N306023>

Turbomeca emboîte le pas de groupes tels que General Electric, Safran et Pratt & Whitney dans l'impression 3D dédiée au secteur aéronautique. Ce sont des injecteurs de la chambre de combustion du moteur Arrano et des tourbilloneurs pour l'Ardiden 3 qui seront produits en série. Il s'agira dans les deux cas de pièces en alliage base nickel fabriquées par fusion de poudre par laser.
<http://www.lesechos.fr/industrie-services/air-defense/0204067910788-turbomeca-se-met-a-limpression-3d-pour-ses-moteurs-dhelicoptere-1081793.php#>
- GE Maintains Momentum in Additive Manufacturing With \$32 Million Facility to Open in Pennsylvania - Bridget Butler Millsaps - November 12, 2014
<http://3dprint.com/24522/ge-pennsylvania-printing-3d/>
- Revenu (métallurgie)
http://fr.wikipedia.org/wiki/Revenu_%28m%C3%A9tallurgie%29

Les traitements thermiques dits de revenu font partie d'une famille de traitements ayant pour trait commun d'être toujours effectués à des températures inférieures aux températures de transformations allotropiques des métaux, lorsque celles-ci existent, avec deux effets :
 - une transformation métallurgique rendue possible par le mécanisme de diffusion amorcé pendant un séjour suffisant à température (voir Diagramme temps-température-transformation) ;
 - un abaissement de la limite d'élasticité et, de moindre façon, du module d'élasticité pendant la montée en température et une légère amorce de fluage pendant le temps de palier à température de revenu.
- Catégorie: Traitement thermique des métaux
http://fr.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A9gorie:Traitement_thermique_des_m%C3%A9taux
- Détensionnement (détente): Traitement thermique destiné à diminuer les tensions internes sans modifier sensiblement la structure (température inférieure ou égale aux températures de revenu).
http://www.thyssenfrance.com/glossaire_FR.asp?key=S&glossary_id=79
- Tribofinition : le polissage mécano-chimique ou tribofinition ou encore trovalisation est un procédé qui consiste à ébavurer et polir la surface de pièces métalliques ou autres.
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Tribofinition>
- Fabrication Additive : Une Révolution Industrielle en cours - 16 janvier 2014
<http://www.safran-group.com/site-safran/presse-et-medias/espace-medias/article/fabrication-additive-une?13539>

Plusieurs sociétés de Safran mettent déjà en œuvre cette technologie prometteuse, Chez Safran, l'impression 3D est une réalité : des pièces de plusieurs moteurs de Snecma, notamment du Silvercrest qui propulsera le Falcon 5X de Dassault, ou des composants du moteur spatial Vinci ont bénéficié de cette technologie.
- Air & Cosmos - Safran fête l'innovation - Gabrielle Carpel - 26 mai 2014
<http://www.air-cosmos.com/2014/05/26/22670->

Nouveaux matériaux et les procédés de fabrication innovants. Le "grand prix" a ainsi récompensé les équipes de Snecma et Aubert&Duval qui ont co-développé un nouveau matériau destiné aux arbres turbines. On verra ainsi bientôt ces nouveaux arbres en "ML340", acier ultra-performant, sur les moteurs LEAP et Silvercrest.
- Optoform est une société française d'impression 3D co-fondée par André-Luc ALLANIC et Philippe SCHAEFFER en 1997. En 2001, la société a été achetée par un des leaders mondiaux actuels, l'américain 3DSystems. Dès 2001, le PDG de 3DSystems parlait de l'innovation de M. Allanic de cette époque comme préfigurant "le futur" de l'impression 3D.
<http://www.prodways.com/propos-doptoform/>
- Optoform de haute précision (Valider avec AL Allanic qu'il s'agit bien de la même société)
<http://www.sterlingint.com/attachments/fts-1000/>
Sterling Ultra Precision FTS-1000 est un outil réduisant l'usure et le micro-éclatement d'une arête de coupe quand un matériau cristallin et un corps dur et fragile sont usinés par une méthode ultra précise sur des machines Optoform et Nanoform.
<http://www.sterlingint.com/attachments/fts-1000/>
- Impression 3D, une révolution industrielle - Académie de Paris - Gabrielle Carpel et François Julian – Avril 2014
https://www.ac-paris.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2014-11/articletechnologie191_impression3d_une_revolution_industrielle.pdf

En septembre 2012, à Peebles dans l'Ohio : le premier moteur Leap de CFM International (Snecma - General Electric) réalisait ses premiers essais au banc. Parmi la quantité d'innovations technologiques qu'il incorpore se trouvaient des injecteurs de carburant fabriqués en impression 3D. Quelques semaines plus tôt, c'était la Nasa qui testait un injecteur de moteur de fusée fabriqué de la même manière. En juin, l'A350 faisait son premier vol avec à son bord des pièces de structure également fabriquées en impression 3D.

L'impression 3D est une technique connue depuis déjà plusieurs années, que ce soit dans l'aéronautique, l'automobile, le domaine médical ou bien encore dans la joaillerie. Ainsi, le principe de la stéréolithographie qui, grâce à la polymérisation en plusieurs dimensions d'une poudre de résine, permettait déjà il y a une vingtaine d'années de créer rapidement et à moindres coûts des prototypes de pièces. Le problème, c'est que ces pièces ne pouvaient pas avoir d'autre utilité que le prototypage, du fait de leur faible solidité. Mais aujourd'hui les choses ont changé. Les techniques ont suffisamment évolué, et l'impression 3D est applicable à la production de pièces métalliques. Si bien que ce procédé intéresse aujourd'hui tous les grands industriels du secteur : Airbus, Dassault Aviation, General Electric, Snecma, MBDA, pour ne citer que les principaux. En fait, il n'est pas étonnant de constater que ce procédé a d'abord séduit les fabricants de moteurs. Les moteurs d'avions sont en effet un secteur où se côtoient mécanique de précision, géométries complexes, et pièces dont les tailles varient du très grand au très petit. Et, dans le domaine, deux motoristes sont en pole position : l'inséparable couple Snecma (groupe Safran) et General Electric. Si ce dernier est très avancé dans le domaine, c'est pourtant le motoriste français qui fut le premier à tester un moteur doté de pièces fabriquées par impression 3D.

- 3D printing in medicine: What is happening right now in patients – i.Materialise
<http://i.materialise.com/blog/entry/3d-printing-in-medicine-what-is-happening-right-now-in-patients#sthash.ir9HZq9H.dpuf>
Une courte présentation sur des applications de prothèses médicales, prothèses auditives (le marché est quasi exclusivement capté par la fabrication additive), prothèses dentaires... Une autre application en forte croissance est le modèle réalisée à partir d'un scanner ou d'un IRM qui permet au chirurgien de préparer une intervention dans une zone délicate.
- L'association Française du prototypage rapide a été créée dès 1992 pour saisir les opportunités présentées par ces technologies novatrices et à très fort potentiel, elle regroupe aujourd'hui la majorité des acteurs sur les trois technologies : impression 3D, fabrication additive laser et faisceau d'électrons.
www.afpr.asso.fr
- The Defense Industry Is Expanding the Use of 3D Printing - Marcus Weisgerber, DefenseOne - September 29, 2014
<http://www.defenseone.com/technology/2014/09/defense-industry-expanding-use-3d-printing/95396/>
L'utilisation de la fabrication additive pour des pièces, des outillages ou des équipements plus sophistiqués se répand rapidement dans l'industrie de Défense et au Pentagone : Aerojet Rocketdyne a annoncé avoir testé avec succès un moteur réalisé avec seulement trois pièces. Au Pentagone, on dénombre dans 70 projets de fabrication additive dans une douzaine de sites.
- The Army Is Developing 3D Printers to Make Food - Rick Docksai, DefenseOne - July 31, 2014
<http://www.defenseone.com/ideas/2014/07/army-developing-3d-printers-make-food/90284/>
Un centre de recherche de l'US Army travaille sur le développement d'imprimantes 3D pour de la nourriture : apporter aux combattants sur le terrain une nourriture plus variée, à des coûts plus réduits, et en évitant les gaspillages.
- Première conférence internationale sur le thème du 3D food printing en Belgique – 6 janvier 2015
<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/77603.htm>
- Rencontre professionnelle organisée à l'initiative des équipes de Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège) - 11 décembre 2014
<http://www.gembloux.ulg.ac.be/smart-gastronomy-lab/>
- Entre promesses et challenges : les marchés de l'impression 3D - Septembre 2014
<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/76653.htm>
- Développement à Tomsk d'une imprimante 3D pour l'industrie aérospatiale et nautique - Décembre 2014
<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/077/77271.htm>
- Skinprint propose de produire de la peau humaine
http://www.dailymotion.com/video/x1ichn0_skinprint-netherlands-english-netexplo-forum-2014_tech
<https://www.netexplo.org/fr/veille/innovation/skinprint>
Skinprint propose de produire de la peau humaine au moyen d'une imprimante 3D biotechnologique. Les cellules souches sont utilisées pour créer une peau unique, à partir des cellules du patient. Un patient qui aura fabriqué lui-même, en quantité suffisante, son propre greffon.
- Montréal, Paris, le 20 novembre 2014 – Le Bureau de normalisation du Québec (BNQ), AFNOR et l'Union de normalisation de la mécanique (UNM) annoncent la signature d'une entente tripartite de coopération en normalisation dans le domaine de la fabrication additive ou impression 3D.
<http://www.afnor.org/groupe/espace-presse/les-communiqués-de-presse/2014/novembre-2014/entente-de-cooperation-franco-quebecoise-sur-l-impression-3d-entre-les-organismes-de-normalisation>
Cette alliance portant sur les divers aspects coopératifs contribuera à augmenter la participation des parties prenantes francophones à la normalisation canadienne et internationale dans le domaine de la fabrication additive.

- Fabulous : Future Internet business Acceleration Programme for 3D printing Services in Europe : Petit appel à projet de la Commission Européenne.
- Impression 3D : Les prémisses d'une nouvelle évolution industrielle ? - Ambassade de France à Washington – Septembre 2014
http://sf.france-science.org/wp-content/uploads/2014/11/SMM14_025.pdf
Rapport du Service pour la Science et la Technologie – 40 pages bien documentés sur l'impression 3D et tous les aspects d'innovation [qu'elle peut amener](#).
- Entre promesses et challenges : les marchés de l'impression 3D – ADIT – 5/9/2014
<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/76653.htm>
Résumé du rapport (référence n°53 : Impression 3D : Les prémisses d'une nouvelle évolution industrielle ? - Ambassade de France à Washington – Sept 2014).
- Base de données : ADIT.
<http://www.bulletins-electroniques.com/cgi/htsearch>
- Développement à Tomsk d'une imprimante 3D pour l'industrie aérospatiale et nautique – ADIT – 3/12/2014:
<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/077/77271.htm>
Les chercheurs de l'Université de Tomsk espèrent mettre au point leur unité multirôle pour l'impression 3D de composants ultra-durs d'ici fin 2015, avec la conception d'une autre imprimante pour les composants très volumineux prévue pour 2016.
- NLR : fondation néerlandaise publique de recherche qui soutient l'industrie aéronautique défense espace, et d'autres industries hollandaises.
<http://www.nlr.nl/capabilities/additive-manufacturing/>
- Présentation à la 55ème Conférence Garteur des activités en fabrication additive du NLR (Pays-Bas) – 2013
"At the end of the Council 55 meeting B. Thuis (Department Manager at NLR and Dutch GARTEUR XC member) made a presentation on the NLR programme on Metal Additive Manufacturing. The 3D printing makes it possible to print products with a complex internal structure, which cannot be done using conventional production methods. With the commissioning of a state-of-the-art Selective Laser Melting machine (a 3D metal printer) NLR has secured a leading position in this promising high-technology field to support the Dutch manufacturing industry." GARTEUR : Group For Aeronautical Research and Technology in Europe.

Le GARTEUR est un mini Panel OTAN à l'échelon européen. Les pays « membres » sont la France l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne, la Suède, le Royaume Uni. Il regroupe des experts des administrations et des centres d'expertise dans le domaine de la R&T aéronautique, sur des sujets en général assez bas TRL. Il n'y a pas de financement, certains industriels participent aux travaux de recherche.

Le conseil GARTEUR (board) se réunit 2 fois par an. La réunion C55 (council 55) est la 55ème réunion du conseil, elle a eu lieu à Amsterdam les 17 et 18 octobre 2013.
- Demand for 3D Printing Skills Soars. By Ashley Zito Rowe 4/9/2014 et 21.08.2013
<https://www.wantedanalytics.com/analysis/posts/seeing-talent-in-3d-recruiting-for-3d-printing-skills-continues-to-grow>
La demande pour des compétences en Impression 3D explose.
- Deux minutes de vidéo pour poser les questions sur les business models de demain. Dupress.com (Deloitte).
<http://dupress.com/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-video/>

Un immeuble de 5 étages réalisés en Chine par une impression 3D
<http://qz.com/334629/you-may-soon-be-living-in-a-3d-printed-apartment/>

1100 mètres carré.
- Une solution pour le recyclage des déchets en Chine : Imprimer des maisons en 3D.
<http://qz.com/230032/how-3d-printing-10-buildings-in-a-day-could-help-china-clean-up-mountains-of-waste/>
- Gartner Forecast: 3D Printers, Worldwide, 2014. 20 October 2014. Analyst(s): Pete Basiliere, Zalak Shah
3D printer unit shipments will grow at a CAGR of 106.6% through 2018.

Corresponding annual average spending will grow at 87.7% for the same period. Sales will exceed \$13.4 billion in 2018 as consumers and organizations rapidly adopt 3D printers for home and business use.
- Gartner. Hype curve.
- 1^{ère} après-midi Impression 3D – Bpifrance le 7/10/2014
<http://www.bpifrance.fr/Vivez-Bpifrance/Actualites/Imprimantes-3D-la-revolution-a-deja-commence-!-6731>
http://tv.bpifrance.fr/Imprimantes-3D_v1859.html

Présentations de différents prestataires de service pour objets « grand public » ou de prototypage rapide, ainsi que les actions de plusieurs pôles régionaux.

- La fabrication rapide chez les particuliers - CubeX
<http://www.3dsystems.com/3d-printers/personal/cubex>
- MakerBot
<http://www.engadget.com/2013/01/29/3d-printer-guide/>
- DeltaMaker
<http://www.engadget.com/2013/01/29/3d-printer-guide/>
- UK Study Assesses Legal and Industry Ramifications of 3D Printing & Intellectual Property (10.02.2015). By Bridget Butler Millsaps.
<http://3dprint.com/42000/uk-study-legal-ramifications/>
- A Legal and Empirical Study into the Intellectual Property Implications of 3D Printing – Executive Summary. Intellectual Property Office. 2015.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/396465/3D_Printing.pdf
- Des objets « peu recommandables » et présentés « made in Germany », avec une vidéo de démonstration surprenante par le réalisme de l'objet produit à base de polymères (figurine reproduisant le modèle). Sans autre intérêt que de démontrer que les applications de l'impression 3D vont décidément toucher tous les secteurs.
<http://3dprintingindustry.us6.list-manage.com/track/click?u=bda8170a38ff902659605b718&id=fb53990f64&e=fc5fe90922>
- i.materialise : 3D printing in medicine: What is happening right now in patients. <http://i.materialise.com/blog/entry/3d-printing-in-medicine-what-is-happening-right-now-in-patients#sthash.yj7ynmtl.dpuf>
According to Phil Reeves best conservative estimate, there are "10,000,000 3D printed hearing aids in circulation worldwide", and that there are below 30,000 patients walking around with 3D printed orthopedic implants.
- Protimedical
<http://www.protimedical.com/en/page-21-2-larynx-cancer/>
PROTiP will revolutionize Larynx surgery with breakthrough implants greatly enhancing patient clinical condition and their quality of life.
- Corée du Sud : A Moment of Growth in East Asia, by mark lee on fri, january 30, 2015
http://3dprintingindustry.com/2015/01/30/moment-growth-east-asia-part-1/?utm_source=3D+Printing+Industry+Update&utm_medium=email&utm_campaign=9fa4852036-RSS_EMAIL_CAMPAIGN&utm_term=0_695d5c73dc-9fa4852036-64447257
- Rapport d'Ambassade / Consulat Général de France à San Francisco, Californie. Les prémisses d'une nouvelle (r)évolution industrielle ? Par Pierrick Bouffaron, sept 2014.
http://sf.france-science.org/wp-content/uploads/2014/11/SMM14_025.pdf
- Additive Manufacturing Technologies Capabilities and Costs. By Curtis Carson Head of Systems Integration - Manufacturing Engineering, Airbus
<http://www.3d-printing-additive-manufacturing.com/media/downloads/55-d1-11-40-a-curtis-carson-airbus.pdf>
Présentation, et mention de pièces essentiellement outillage ou essai en vol, quasiment toutes fabriquées avec le process plastique FDM à Hambourg et St Nazaire.
- Protocole Défense écologie : Synthèse de la de la Stratégie de développement durable de la Défense (S3D).
<http://www.defense.gouv.fr/salle-de-presse/dossiers-de-presse/protocole-defense-ecologie>
- As robots replace people, where will workers go? By Nouriel Roubini Source:Global Times Published: 08 janvier 2015
<http://www.globaltimes.cn/content/900737.shtml>
- Is This 3-D Printed Cast the Future of Healing Broken Bones? By Liz Stinson - 07.03.13 Permalink
<http://www.wired.com/2013/07/is-this-cast-the-future-of-healing-broken-bones/>
Les nouveaux types de plâtres pour réparer les fractures.
- La fabrication additive : un casse-tête terminologique 3D - par Louise Thériault
http://www.circuitmagazine.org/index.php?option=com_content&view=article&id=127:la-fabrication-additive-un-casse-tete-terminologique-3d&catid=27:chroniques&Itemid=354
Une synthèse terminologique en vue de s'y retrouver... un peu
- Nathan Myhrvold's Cunning Plan to Prevent 3-D Printer Piracy – MIT Technology Review
<http://www.technologyreview.com/view/429566/nathan-myhrvolds-cunning-plan-to-prevent-3-d-printer-piracy/>
Un brevet dont l'objet serait la prévention d'imprimer des objets en 3D à partir de fichiers piratés. Il semble cependant difficile de prévoir tous les cas de figures possibles.
- Métallurgie générale : Les aciers. Wikiversity
http://fr.wikiversity.org/wiki/M%C3%A9tallurgie_g%C3%A9n%C3%A9rale/Les_aciers_I_-_th%C3%A9orie
- Technologies to sustain the Army of 2025 and beyond. By Capt. MuShawn D. Smith. 8 Sept 2014. www.Army.mil
http://www.army.mil/article/132473/Technologies_to_sustain_the_Army_of_2025_and_beyond/

- Industry Briefing - Wohlers Associates - February 2013
<http://wohlersassociates.com/brief02-13.html>
Définition des 7 procédés : norme ASTM
- Femto
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Femto>
Des lasers ont aujourd'hui des impulsions de l'ordre de 1 à 0,1 le femtoseconde (fs, soit 10⁻¹⁵ seconde, c'est-à-dire un milliardième de seconde)
- How 3D Printing Could End The Deadly Shortage Of Donor Organs. The Huffington Post - 03/01/2015
http://www.huffingtonpost.com/2015/03/01/3d-printed-organs-regenerative-medicine_n_6698606.html?utm_source=Newsletter+list&utm_campaign=0feefee121-Newsletter_2014_07_17_2014&utm_medium=email&utm_term=0_efd6a3cd08-0feefee121-218695165&ct=%28Newsletter_2014_07_17_2014%29
Science is unpredictable, so it is impossible to make predictions. But the timeframe required to routinely print and implant complex organs is decades, rather than years. Video (17 min) about regenerative medicine and Dr. Atala's vision for 3D printing organs, check out his 2011 TEDTalk below.
- Laminated object manufacturing - Wikipedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Laminated_object_manufacturing
Stratification de couches : Cela peut comprendre dépôt et/ou fusion et/ou découpe de couches de matériau.
- USINE DIGITALE > TECHNO FOLIES. Vidéo : l'impression 3D passe à la polymérisation liquide, façon Terminator 2. Par Thierry Lucas - Mis à jour le 18 mars 2015
<http://www.usine-digitale.fr/article/video-l-impression-3d-passe-a-la-polymerisation-liquide-facon-terminator-2.N319562#xtor=EPR-169>
Avec une nouvelle technique de fabrication additive en continu, et non plus couche par couche, le temps de fabrication d'une pièce se compte en minutes et non plus en heures.
- La déposition par laser : la technique de la déposition par laser est connue sous différents noms, la plupart desquels sont des marques commerciales de différents constructeurs de machines ou établissements de recherche.
<http://www.lpwtechnology.com/informations-techniques/la-deposition-par-laser/?lang=fr>
- La chimie des polymères - Société Francophone de Biomatériaux Dentaires 2009-2010
<http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap3/site/html/cours.pdf>
La Sagrada Familia devrait pouvoir être achevée grâce aux imprimantes 3D - Le Monde.fr | 26.03.2015
Cela fait quatorze ans que le processus de construction s'appuie sur des imprimantes en 3D, la technologie, qui existe depuis les années 1980, ayant été intégrée dès 2001 afin d'avancer plus rapidement dans la réalisation de prototypes pour les éléments souvent problématiques à concevoir. « Antoni Gaudí a réalisé peu de dessins de la Sagrada Família, qui est de toute manière tellement complexe qu'elle est quasiment impossible à dessiner, en tout cas avec des projections architecturales normales », détaille pour sa part Peter Sealy, chercheur à l'école de design de Harvard cité par ArchDaily, site spécialisé en architecture. « Ce qu'il a laissé derrière lui à sa mort est un système géométrique de surfaces réglées (...) et une méthode de travail pour traduire ces géométries en des modèles de plâtre ».
Les imprimantes 3D stéréolithographiques utilisent de la poudre afin de créer, en quelques heures, des prototypes couche par couche, aboutissant à un matériau similaire à du plâtre, permettant aux artisans de retravailler facilement les modèles à la main pour une approche la plus fine possible. Le béton est coulé dans des moules imprimés en 3D.
http://www.lemonde.fr/culture/article/2015/03/26/la-sagrada-familia-devrait-pouvoir-etre-achevee-grace-aux-imprimantes-3d_4602336_3246.html
- Fab@Home and the Future of Personal Manufacturing
Des machines qui sont toutes accessibles en open source, qui peuvent assembler des composants, ou utiliser différents matériaux (cires, plastiques, poudre de métal en gel, matériaux biologiques, nourriture) :
http://library.fora.tv/2011/09/17/FabHome_and_the_Future_of_Personal_Manufacturing
Fab@home et la réalisation d'une Oreille en matériaux biologiques :
<http://www.bbc.com/news/science-environment-12507034>
- Revolutionary 3D metal production process developed at Cranfield University - 16 December 2013
An innovative 3D printing process that could revolutionise aircraft production has been developed at Cranfield University. The manufacture of the part used a specific kind of 3D printing known as Wire+Arc Additive Manufacture (WAAM) / Dépôt de matière apportée avec arc électrique, couche à couche, goutte à goutte.
<http://www.cranfield.ac.uk/about/media-centre/news-archive/news-2013/revolutionary-3d-metal-production-process-developed-at-cranfield.html>
- POINT D'ÉTAPE SUR LES 34 PLANS de la nouvelle France industrielle - PALAIS DE L'ÉLYSÉE - 7 MAI 2014
http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/politique-et-enjeux/competitivite/politique-industrielle/dp-point-etape-34-plans-07052014.pdf#page=5

- Fabrication de pièces fonctionnelles par process de Frittage laser Phenix-Systems sur poudres métalliques et céramiques. Présentation. Journée technique Via-Méca – 28/10/2014.
- Après le logiciel libre, voici le matériel libre – Les Echos. Jacques Henno. 14/04/2015
- 3D Innov Plateform – Présentation CEAtch Liten
- Solution d'authentification par nano traceurs optiques – CEA – François Tardiff.
<http://www.naomarq-alcen.com/fr>
- A Qualitative Assessment of Applications, Recent Trends and the Technology's Future Potential - Laura Bechthold, Veronika Fischer, Andre Hainzmaier, Daniel Hugenroth, Ljudmila Ivanova, Kristina Kroth, Benedikt Römer, Edyta Sikorska, Vincent Sitzmann - Center for Digital Technology and Management (CDTM), München – 2015
- La Sagrada familia
<http://www.bbc.com/news/technology-31923259> et [LeMonde.fr](http://www.lemonde.fr)
- IHS. The Impact of 3D Printing on the Industrial Manufacturing Sector – Sept 2014. Alex Chausovsky.
- Économie collaborative : Pourquoi Jeremy Rifkin se plante sur toute la ligne. Par Eric Raymond. Publié le 17 avril 2015 dans Lecture
<http://www.contrepoints.org/2015/04/17/204306-logiciel-libre-et-le-raisonnement-marginal-nul-de-jeremy-rifkin-pourquoi-se-plante-t-il-sur-toute-la-ligne>
La thèse générale du dernier livre de Jeremy Rifkin sur le coût marginal zéro est-elle fondée ? Pas le moins du monde, répond Eric Raymond, spécialiste mondial du logiciel libre. L'auteur y mentionne notamment l'impression 3D peut augmenter l'efficacité productive, mais que l'obtention des matériaux, des machines, comme les transporter, ont un coût.
- Euromold : LE salon mondial de la fabrication additive (un hall complet sur ces technologies et leurs applications) qui a lieu fin novembre tous les ans en Allemagne. En faire émerger un de même nature en France ?
- Rapport du CESE sur l'impression 3D, présenté en séance le 24 mars 2015.
- Le prototypage Rapide, Alain BERNARD et Georges TAILLANDIER, Edition Hermès, 1998 Fabrication Additive - Du prototypage Rapide à l'Impression 3D, Clau BARLIER et Alain BERNARD, Editions DUNOD (à paraître, juin 2015).
- 3D Print patents. Pages qui donne un flux actualisé de demandes de brevet ayant un lien avec l'impression 3D.
<http://tqs.freshpatents.com/3d-Print-bx1.php>
- Journal du geek - Lundi 27 avril 2015_10:05 GMT - Pas de redevance copie privée pour l'imprimante 3D :
<http://www.appy-geek.com/Web/ArticleWeb.aspx?regionid=2&articleid=40871699>
Proposée en amendement au projet de loi Macron pour la croissance et l'activité par le groupe socialiste au Sénat, la redevance copie privée appliquée à l'imprimante 3D a finalement été rejetée par les sénateurs.
http://epanews.fr/profiles/blog/show?id=2485226%3ABlogPost%3A2317534&source=msg_mes_network#.VVE0yfy8PRZ
C'est l'histoire émouvante d'une jeune femme enceinte, Tatiana. Elle a perdu la vue à l'âge de 17 ans. Son médecin a fait une impression 3D du visage de l'enfant à partir de l'échographie.
- Usinenouvelle.com
<http://www.usine-digitale.fr/editorial/une-moto-electrique-en-plastique-imprimee-en-3d.N330854#xtor=EPR-4>
Le moteur n'est pas imprimé. Comme la voiture « imprimée », cette moto fait encore un peu gadget et roule entre 16 et 24 km/h : si le siège s'en va, on peut déjà se faire mal.
- Usinenouvelle.com
<http://www.usinenouvelle.com/article/prodways-sur-les-bons-rails.N223931>
Prodways sur les bons rails - Par Patrice Desmedt - Publié le 05 décembre 2013.
- Usinenouvelle.com > Mécanique
<http://www.usinenouvelle.com/article/prodways-multiplie-les-annonces-sur-euromold.N300366>
Prodways multiplie les annonces sur Euromold Par Patrice Desmedt - Publié le 01 décembre 2014.
Prodways s'est affiché comme l'un des acteurs les plus dynamiques du salon, malgré sa petite taille. Gamme de machines présentée en avant-première, élargissement de la couverture commerciale et signatures de partenariats, Avec l'arrivée des ProMakers, Prodways lance véritablement une gamme de machines de tailles différentes, conçue autour de deux séries. Les modèles L utilisent des résines liquides photosensibles et les V des matériaux composites. Ces neuf ProMakers reposent sur la technologie Movinglight développée par Prodways qui assure à la fois une très grande rapidité de production et une excellente précision. Ces machines pourront travailler avec la gamme de quatorze matériaux développés en interne.

- Usinenouvelle.com > Mécanique
<http://www.usinenouvelle.com/article/groupe-gorge-accelere-en-3-d.N321737>
 Prodways Groupe Gorgé accélère en 3 D Par Patrice Desmedt - Publié le 02 avril 2015 | L'Usine Nouvelle n°3417
 Groupe Gorgé se renforce dans l'impression 3 D en rachetant simultanément deux entreprises très différentes. Initial (65 personnes, 8,6 millions d'euros de chiffre d'affaires) est le plus important prestataire de service français en fabrication additive. Norge Systems est une start-up britannique qui conçoit des machines utilisant le frittage.

- Usinenouvelle.com > Mécanique
<http://www.usine-digitale.fr/editorial/impression-3d-robot-flexible-objets-connectes-l-usine-du-futur-c-est-deja-demain.N320690>
 IMPRESSION 3D, ROBOT FLEXIBLE, OBJETS CONNECTÉS... L'USINE DU FUTUR, C'EST DÉJÀ DEMAIN le 08 avril 2015
 Pour la semaine de l'Industrie qui se tient du 30 mars jusqu'au 5 avril, le ministre de l'Economie, de l'Industrie et du numérique a multiplié les visites de sites de production. Dernière en date ? Celle de Prodways, le 3 avril, une filiale du groupe Gorgé spécialisé dans l'impression 3D.

- Usinenouvelle.com > Mécanique
<http://www.usinenouvelle.com/article/gorge-integre-la-fabrication-additive.N260030>
 Gorgé intègre la fabrication additive Par P. D. - Publié le 08 mai 2014 | L'Usine Nouvelle n° 3376 - Allemagne, France
 En rachetant le fabricant allemand de résines photosensibles DeltaMed, le groupe Gorgé (214,5 millions d'euros de chiffre d'affaires) renforce son activité dans la fabrication additive. Celle-ci a été créée en mai 2013, avec l'acquisition du fabricant français Phidias. Début mars, un communiqué du groupe annonçait la volonté d'accélérer la dynamique d'acquisitions. En intégrant DeltaMed dans sa filiale Prodways, Gorgé se consolide dans le domaine du médical et se donne les moyens de contrôler la conception et la fabrication de matériaux pour ses propres machines, qui utilisent des résines photosensibles. Il continuera également à fournir d'autres fabricants de machines, potentiellement concurrents. Avec le développement des ventes, ce marché récurrent ne sera pas anodin, puisque la vente de la matière première, élément très important pour la qualité finale du produit, est une source non négligeable de bénéfices.

- Usinenouvelle.com > Mécanique
 Avec une levée de fonds de 25 millions d'euros, Prodways, filiale de Groupe Gorgé, confirme ses ambitions. IMPRESSION 3D, INDUSTRIE 4.0, FINANCEMENT | PUBLIÉ LE 01 JUIN 2015- PATRICE DESMEDT
<http://www.usine-digitale.fr/article/groupe-gorge-leve-25-millions-d-euros-pour-renforcer-sa-filiale-d-impression-3d.N332996>
 Groupe Gorgé trace sa route dans la fabrication additive - ou impression 3D. Sa filiale Prodways vient de réaliser une levée de fonds pour un montant total de 25 millions d'euros, dont 15 apportés par Groupe Gorgé et 10 par le groupe Fimalac. Une fois l'opération finalisée, ce groupe d'investissement détiendra 4,45 % du capital de Prodways.

- Usinenouvelle.com > L'Usine des Matières Premières
 La France ne doit pas rater le cap de la fabrication additive métallique. Myrtille Delamarche - Publié le 04 juin 2015.
 L'impression 3D à partir de poudres de métaux est l'une des innovations qui pourraient marquer la métallurgie de demain. Et si la filière s'étoffe, certains, comme la Fédération forge fonderie, fournisseur traditionnel de produits de base à l'industrie, s'inquiètent de voir ce marché leur échapper au profit des importations.

Directeur de la publication : Etienne GUYOT
27 avenue de Friedland - 75382 Paris cedex 08
Rapports consultables ou téléchargeables sur le site :
www.cci-paris-idf.fr/etudes
Dépôt légal : septembre 2015
ISSN : 0995-4457 – Gratuit
ISBN : 978-2-85504-646-4

