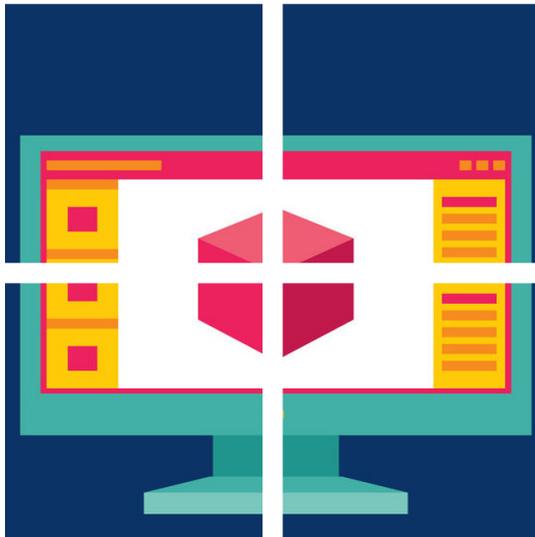




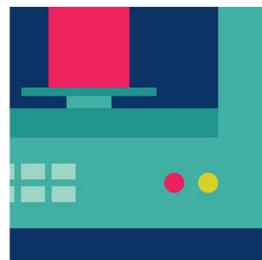
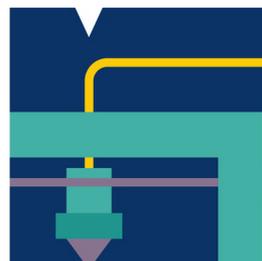
LES **AVIS**
DU CONSEIL
ÉCONOMIQUE
SOCIAL ET
ENVIRONNEMENTAL



Innovations technologiques et performance industrielle globale : l'exemple de l'impression 3D

Renée Ingelaere

Mars 2015



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
LIBERTÉ - ÉGALITÉ - FRATERNITÉ



CONSEIL ÉCONOMIQUE
SOCIAL ET ENVIRONNEMENTAL



Les éditions des
Journaux officiels

2015-07
NOR : CESL1500007X
Lundi 6 avril 2015

JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Mandature 2010-2015 – Séance du 24 mars 2015

INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES ET PERFORMANCE INDUSTRIELLE GLOBALE : L'EXEMPLE DE L'IMPRESSION 3D

Avis du Conseil économique, social et environnemental
sur le rapport présenté par

Mme Renée Ingelaere, rapporteur

au nom de la
section des activités économiques

Question dont le Conseil économique, social et environnemental a été saisi par décision de son bureau en date du 25 mars 2014 en application de l'article 3 de l'ordonnance n° 58-1360 du 29 décembre 1958 modifiée portant loi organique relative au Conseil économique, social et environnemental. Le bureau a confié à la section des activités économiques la préparation d'un avis et d'un rapport intitulés : *Innovations technologiques et performance industrielle globale : l'exemple de l'impression 3D*. La section des activités économiques, présidée par M. Jean-Louis Schilansky, a désigné Mme Renée Ingelaere comme rapporteur.

Sommaire

■ Avis	9
■ Introduction	9
■ L'impression 3D, une des technologies incontournables de l'ère numérique	10
■ L'impression 3D constitue désormais une réalité industrielle	10
➤ Des progrès récents considérables	10
➤ Des applications concrètes dans de nombreux secteurs	11
■ Un important potentiel de remise en cause du modèle productif actuel	11
➤ De la production de masse à la personnalisation des produits	11
➤ Des perspectives prometteuses pour une localisation de proximité des activités	12
➤ Des économies de matières premières et d'énergie	12
➤ De nouveaux acteurs dans les chaînes de production	13
➤ De nouvelles organisations du travail	13
➤ <i>Makers</i> et <i>Fab-Labs</i> , une nouvelle donne sociétale	13
■ La France doit saisir cette opportunité de renforcer son offre productive et sa compétitivité globale	14
➤ Une part aujourd'hui modeste au niveau mondial	14
➤ Des atouts certains en matière de logiciels, de services et de matériaux	14
■ Les préconisations du CESE à l'attention des pouvoirs publics et des professionnels : créer un « écosystème » favorable en France	15
■ Une meilleure information sur l'impression 3D	15
■ Un développement des formations et des qualifications à tous les niveaux	15
➤ Offrir des occasions de donner le goût des sciences et de l'innovation aux jeunes	16
➤ Créer de véritables spécialités	16
➤ Adapter la formation permanente aux nouveaux métiers	17

■ Un indispensable effort de recherche-développement	18
↳ Encourager la recherche dans les laboratoires publics et favoriser les partenariats	18
↳ Favoriser les synergies entre les structures en charge de la valorisation de la recherche	19
■ Renforcer le financement de l'innovation en France	19
↳ Améliorer le soutien public	19
↳ Mieux tirer parti des financements de l'Union européenne	20
↳ Structurer la recherche sur le long-terme (les « Investissements d'avenir »)	21
■ Relever les nouveaux défis en matière de propriété intellectuelle et de sécurité	21
↳ Faire prendre conscience aux entreprises des nouveaux risques	22
↳ Sécuriser l'environnement juridique des entreprises	22
↳ Prendre en compte les impacts écologiques et de santé	23
■ Participer davantage aux processus internationaux de normalisation	23
↳ Maintenir le processus de normalisation dans le cadre de l'ISO et du CEN	23
↳ Impliquer fortement les entreprises françaises intéressées	24
■ Favoriser l'émergence d'activités et d'emplois dans les territoires	24
↳ Clarifier et accélérer les plans industriels liés aux innovations technologiques	24
↳ Développer de nouvelles unités de production dans les territoires	25
↳ Valoriser les atouts des entreprises françaises en logiciels et développement de nouveaux matériaux et en faire une stratégie volontariste de la France	25
↳ S'appuyer sur les aspirations à l'autonomie et à la création collective	25
■ Conclusion	26

■ Déclaration des groupes	27
---------------------------	----

■ Scrutin	44
-----------	----

■ Rapport	49
-----------	----

■ Introduction	49
----------------	----

L'impression 3D, de la recherche à l'industrialisation	52
---	----

■ Une technologie déjà « vieille » de plus de 30 ans	52
--	----

■ Des premières réalisations prometteuses : du prototypage rapide à la personnalisation de masse	56
--	----

■ L'état du marché mondial et les perspectives	62
--	----

■ Le maintien de la suprématie des États-Unis	62
---	----

■ Les principales entreprises dans le monde	63
---	----

■ Un potentiel de croissance significatif	65
---	----

■ De l'utilisation professionnelle aux usages domestiques, une frontière de plus en plus floue (<i>makers et fab-labs</i>)	67
--	----

La réflexion et l'action des pouvoirs publics	70
--	----

■ Les économies les plus avancées	70
-----------------------------------	----

■ Les États-Unis	70
------------------	----

■ L'Allemagne	72
---------------	----

■ La Grande Bretagne	73
----------------------	----

■ Quelques états asiatiques	73
-----------------------------	----

■ La position de la France	75
----------------------------	----

■ Le rôle de l'Union européenne	77
---------------------------------	----

■ La stratégie numérique de 2010	77
----------------------------------	----

■ La traduction de cette réflexion : le programme « Horizon 2020 » et la « renaissance industrielle européenne »	79
--	----

L'impression 3D et ses conséquences sur les activités productives 81

- **L'impact de l'impression 3D sur les modes de production** 81
- L'impact économique 81
- L'impact écologique 82
- **Questionnements sur l'activité professionnelle** 83
- Le développement de nouveaux métiers et de nouvelles compétences... 84
- ... mais quel impact sur le volume globale de l'emploi ? 85
- **Formation et recherche publique/privée** 87
- La formation à l'impression 3D 88
- La recherche institutionnelle et les structures de soutien et d'accompagnement 88
 - ↳ Le CEA 89
 - ↳ L'INRIA 90
- L'action de quelques structures de soutien et d'accompagnement 90
 - ↳ Le réseau des instituts Carnot 91
 - ↳ Les centres techniques 92
 - ↳ Les pôles de compétitivité 92
 - ↳ Le rôle de l'Association française de prototypage rapide (AFPR). 93
- Le financement 94
- **Des exigences renouvelées en matière de sécurité** 97
- Sécurité juridique : impression 3D et propriété intellectuelle 97
 - ↳ La distinction entre usages commercial et privé 97
 - ↳ Les pistes évoquées pour améliorer la régulation 100

▪ Les autres incertitudes inhérentes à la fabrication additive	102
↳ Les interrogations liées à la qualité des produits	102
↳ Les incertitudes sur l'impact environnemental	102
↳ La possibilité d'applications dangereuses	103
▪ Une « diplomatie » normative de plus en plus intense	103
▪ L'avance américaine	105
▪ L'internationalisation de l'activité normalisatrice	105
▪ Conclusion	108
Annexes	109
Annexe n° 1 : composition de la section des activités économiques à la date du vote	109
Annexe n° 2 : liste des personnalités auditionnées et rencontrées	111
Annexe n° 3 : liste des références bibliographiques	113
Annexe n°4 : table des sigles	117

Avis

Innovations
technologiques
et performance
industrielle globale :
l'exemple de
l'impression 3D

présenté au nom de la section des activités économiques

par Mme Renée Ingelaere

INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES ET PERFORMANCE INDUSTRIELLE GLOBALE : L'EXEMPLE DE L'IMPRESSION 3D¹

Avis

Introduction

Alors même que les grands principes de l'impression 3D (ou « fabrication additive », les deux termes pouvant aujourd'hui être utilisés indifféremment) ont été mis au point il y a une trentaine d'années, cette technologie n'a attiré que depuis trois ou quatre ans l'attention des médias grand public en raison de l'accroissement considérable de ses applications, réelles ou potentielles. Une sorte de consécration pour cette innovation a été atteinte lorsqu'elle a fait l'objet d'un signalement particulier du Président des États-Unis, Barack Obama, affirmant, dans son discours sur l'état de l'Union de février 2013, qu'elle « *a le pouvoir de révolutionner la façon dont nous fabriquons presque tout* ».

L'impression 3D recouvre en réalité toute une série de procédés qui ont en commun de fabriquer des objets par dépôt de couches successives extrêmement fines de matière, lesquelles sont solidifiées au fur et à mesure par une source d'énergie (laser, par exemple). Permettant d'adopter directement des formes précises et complexes, elle s'oppose aux méthodes traditionnelles dites « soustractives » par lesquelles la matière est usinée pour parvenir au résultat souhaité. La fabrication additive est pilotée par un logiciel qui se base lui-même sur un plan virtuel en trois dimensions : son développement est donc intimement lié à celui des technologies numériques.

L'impression 3D est ainsi désormais considérée - avec l'internet mobile, l'internet des objets, le *Cloud computing*, le *Big data*, l'automatisation des métiers du savoir, la robotique de pointe ou encore les matériaux avancés - comme l'une des technologies liées au numérique susceptibles de transformer profondément - dans des proportions qui demeurent certes encore à préciser - les modes de production et, par conséquent, les modèles économiques actuels.

Cette nouvelle technologie est donc représentative de toutes celles dont notre pays doit prendre rapidement la pleine mesure pour améliorer sa performance industrielle globale. Si elles ont naturellement été plus spécifiquement adaptées à la fabrication additive, les préconisations avancées ci-dessous par notre assemblée reposent sur des fondamentaux qui sont communs à l'ensemble de ces grandes transformations. En ce sens, l'impression 3D est un bon exemple des équations que notre économie et, plus largement, notre société doit résoudre, un cas pratique des difficultés d'acclimatation d'une innovation dans notre pays.

¹ L'ensemble du projet d'avis a été adopté au scrutin public par 168 voix pour et 2 abstentions (voir l'ensemble du scrutin en annexe).

L'impression 3D, une des technologies incontournables de l'ère numérique

Une innovation employée seulement dans des marchés de niche à haute valeur ajoutée ou qui a vocation à remplacer, à terme, la quasi-totalité des modes de production actuels ? S'il est encore trop tôt pour répondre avec certitude à cette question, il apparaît d'ores et déjà évident que la fabrication additive tiendra - et commence déjà à tenir - une place significative dans le nouveau paysage industriel mondial qu'elle pourrait bien contribuer à bouleverser. Une raison plus que suffisante pour que notre pays, là comme ailleurs, écarte le risque de laisser passer une occasion de contribuer à sa compétitivité globale par une diffusion large de cette technologie.

L'impression 3D constitue désormais une réalité industrielle

L'impression 3D a tout d'abord été utilisée pour le « prototypage rapide », permettant une amélioration en termes de délais, de coût et de prise en compte de la complexité dans la réalisation des maquettes et des travaux expérimentaux. Ce besoin demeure aujourd'hui important, par exemple pour les ingénieurs, les architectes ou les designers de produits (ainsi que pour certains artistes). La diffusion des machines de fabrication additive s'est également traduite par une production variée de petites pièces en plastique qui a pu, un temps, laisser croire que cette technique risquait d'être confinée à la diffusion de gadgets. Mais ces premières étapes apparaissent aujourd'hui clairement dépassées.

Des progrès récents considérables

Le développement permanent des capacités de cette technologie se traduit par une amélioration combinée touchant à la fois la diversité des machines disponibles sur le marché (il existe aujourd'hui plus de 80 modèles de machines d'impression 3D industrielles dans le monde, auxquels s'ajoutent ceux utilisés par les particuliers), les vitesses de fabrication (dont les spécialistes estiment qu'elles doublent tous les deux ans) et la variété des matériaux qui peuvent désormais être utilisés.

Ces derniers, de l'ordre de 200 en 2014 et dont le nombre augmente chaque année, sont aujourd'hui constitués non seulement de plastiques et de composites mais aussi de métaux (et de leurs alliages), de céramiques ou encore de matières organiques. Les perspectives les plus fascinantes se profilent ainsi avec les immenses potentialités d'utilisation des tissus biologiques ou des nanomatériaux.

En outre, certaines machines sont désormais capables d'utiliser simultanément plusieurs matériaux de même nature, plastiques ou métaux et il sera sans doute possible, à l'avenir, d'employer en même temps plusieurs matériaux de nature différente. Des progrès immenses ont également été réalisés quant à la taille des produits fabriqués (allant de quelques centimètres à plusieurs mètres) et à leur précision (de l'ordre du micron).

Des applications concrètes dans de nombreux secteurs

Les activités les plus variées sont d'ores et déjà concernées, à des degrés divers, par ce tournant.

C'est le domaine de la santé qui vient aujourd'hui le premier à l'esprit avec la mise au point de prothèses et d'implants sur mesure, parfaitement adaptés à chaque patient grâce à la numérisation de ses caractéristiques morphologiques. Les prothèses dentaires et auditives sont désormais couramment réalisées en impression 3D. Cette dernière est également utilisée pour la reconstruction faciale, non seulement pour la simulation des interventions délicates mais aussi pour les opérations elles-mêmes (la restauration de la fonction des organes posant encore des problèmes délicats à résoudre, notamment la revascularisation des tissus).

Le secteur aéronautique a également été l'un des tous premiers utilisateurs : des milliers de pièces complexes sont produites en fabrication additive pour les avions (ailes, moteurs). À noter que les agences spatiales (États-Unis, Europe, Japon) s'intéressent aussi de très près à cette technologie. De son côté, l'industrie automobile, au-delà des prototypes et de la réalisation d'outillages, commence à s'en servir pour la fabrication de pièces proprement dites. Dans le secteur de l'énergie, d'importantes dépenses d'investissements ont aussi été engagées par de grandes entreprises du secteur avec la perspective de réaliser des pièces de turbines à gaz.

On peut également citer, parmi les domaines les plus en pointe, la bijouterie y compris la joaillerie, l'horlogerie ou la cristallerie (pour la conception d'objets complexes d'un seul tenant et d'une extrême précision) et le secteur alimentaire (pour des professionnels et, à partir de capsules d'ingrédients frais prêts à l'emploi, pour les particuliers). L'industrie du jouet, celle de l'ameublement ou encore les professionnels du BTP (jusqu'à la construction de maisons), sans oublier les acteurs de l'internet - qui tendent à devenir globaux - réfléchissent sérieusement aux possibilités nouvelles offertes par l'impression 3D.

Un important potentiel de remise en cause du modèle productif actuel

Certes la fabrication additive est encore loin de pouvoir rivaliser avec les rendements (et donc les coûts de production par unité) de la production de masse qui caractérise aujourd'hui l'industrie. Mais, outre que les progrès évoqués plus haut commencent à permettre à certaines fabrications en grandes séries de trouver leur équilibre économique, les atouts spécifiques de cette technologie pourraient bien être porteurs de changements profonds dans le fonctionnement de l'industrie manufacturière, voire dans l'organisation de la société tout entière.

De la production de masse à la personnalisation des produits

Le premier de ces atouts consiste à permettre, à partir d'un même investissement, la production d'objets personnalisés, rendue possible à partir d'une modification des fichiers numériques de base. Cette « customisation » permet à l'utilisateur final - qu'il s'agisse d'un particulier créant ou modifiant un modèle à partir d'une imprimante 3D personnelle ou du client bénéficiant des services d'un intervenant professionnel - de choisir certaines

caractéristiques particulières du produit, voire d'être associé plus ou moins étroitement à sa conception même.

C'est ainsi qu'aujourd'hui la fabrication additive peut répondre aux besoins de petites séries très spécifiques, par exemple dans le sport automobile ou la bijouterie de luxe (pour aboutir à des pièces uniques d'une grande finesse).

Davantage tournées vers le grand public et des volumes de production plus importants, la fabrication de figurines à la demande ou la possibilité de choisir certaines formes ou les coloris de meubles montrent que les intervenants traditionnels ou de nouveaux concurrents plus réactifs seront amenés, plus ou moins rapidement, à prendre ce tournant.

Des perspectives prometteuses pour une localisation de proximité des activités

Cette nouvelle technologie porte en elle un potentiel de raccourcissement des distances et des délais entre la conception, la production et la consommation des produits. Alors que l'impression 3D est souvent associée, dans de nombreux rapports, à l'idée de « relocalisation de la production », il faut éviter de laisser croire que celle-ci pourrait se traduire par le retour de productions de masse actuellement réalisées dans les pays émergents. Il faut plutôt entendre par là qu'une partie significative des activités futures - à fort contenu numérique - pourrait se développer en favorisant une assise territoriale à proximité de leurs marchés de consommation. Cela suppose un écosystème qui soit favorable à l'impression 3D comme, par exemple, l'existence de nouvelles qualifications, ce qui soulève donc la question de formations initiales et continues adaptées.

Dans ce nouveau contexte, il faut bien souligner que l'impact global sur le volume de l'emploi demeure encore très incertain compte tenu, parallèlement, des suppressions dues à l'automatisation accrue des processus et de la réduction de l'activité, par exemple dans les transports et la logistique. On peut néanmoins s'attendre à un certain développement de l'emploi local appelant des qualifications de tous niveaux. Les PME du commerce et de l'artisanat, pour ne prendre que cet exemple, pourront ainsi jouer un rôle significatif dans le développement de la réparation des biens, facilitée par la possibilité d'imprimer les pièces détachées. Parallèlement à l'activité des particuliers pour leur propre compte, cette filière professionnelle apporterait des garanties de sécurité.

C'est donc bien à « l'usine du futur » qu'il faut se préparer, sachant que ce concept doit s'entendre comme la combinaison - dans un tissu productif renouvelé - d'entreprises de toutes tailles, depuis celles demandant d'importants investissements en capital jusqu'à des unités beaucoup plus petites et spécialisées situées à l'interface entre industrie et services.

Des économies de matières premières et d'énergie

La fabrication additive semble aussi présenter des avantages tangibles en termes d'optimisation des ressources naturelles. Des économies de matières premières sont en effet permises - par comparaison aux procédés traditionnels de fabrication « soustractive » - en n'utilisant que les quantités strictement nécessaires. Cela conduit aussi à des économies d'énergie : ainsi, par exemple, dans l'aéronautique, l'allègement du poids des avions qui résulte de l'impression 3D de certaines pièces se traduit-il par un gain de combustible.

Le bilan environnemental de l'ensemble des activités économiques pourrait également s'améliorer grâce à la limitation des transports de marchandises due à une fabrication plus proche du marché.

Simultanément, le recyclage des matériaux utilisés (avec une consommation accrue des matières plastiques qui constituent aujourd'hui encore l'essentiel des matériaux utilisés) et les risques de pollution de l'air (microparticules) restent une préoccupation qu'il faut impérativement prendre en compte.

De nouveaux acteurs dans les chaînes de production

Il sera également nécessaire de lever certaines inquiétudes relatives à la qualité et à la sécurité des produits ainsi qu'à la détermination des responsabilités en cas de malfaçons et de dommages compte tenu du nombre accru d'intervenants nouveaux tout au long de la chaîne de production (fabricants et vendeurs de machines et de matériaux, concepteurs des logiciels et des fichiers numériques, fabricants proprement dits, qu'il s'agisse d'un professionnel ou d'un particulier).

Ce point est particulièrement sensible en ce qui concerne le domaine de la santé et la fabrication des dispositifs médicaux par impression 3D. L'avis du CESE sur *La place des dispositifs médicaux dans la stratégie nationale de santé* (rapporteurs : Thierry Beaudet et Edouard Couty, janvier 2015) a formulé des préconisations pour assurer la sécurité et la qualité de ces dispositifs.

De nouvelles organisations du travail

La généralisation progressive des technologies numériques transforme en profondeur les organisations du travail. La technique de l'impression 3D peut amplifier ces transformations par les liens plus directs qu'elle permet entre innovation, conception et réalisation des productions. Associé à un mode de management plus coopératif, elle peut aussi favoriser des formes de travail plus transversales et collaboratives faisant davantage appel à la créativité de chaque salarié.

Makers et Fab-Labs, une nouvelle donne sociétale

Au-delà des transformations potentielles dans le domaine économique, c'est bien la société dans son ensemble qui semble devoir être affectée par ces nouvelles technologies qui n'offrent pas seulement de nouveaux outils mais une nouvelle approche dans les démarches d'innovation. C'est ainsi que la philosophie basée sur le *Do it yourself* (« faire les choses soi-même ») et sur le partage des informations (*l'open source*), alliée à la généralisation rapide de l'utilisation des technologies numériques (parmi lesquelles l'impression 3D), a donné naissance au mouvement des *Makers* et à de nouveaux lieux - à la fois points physiques de rencontre et espaces interconnectés - les *Fab-Labs*.

Il en résulte aujourd'hui une frontière de plus en plus poreuse entre l'activité purement personnelle (loisir, bricolage) et la création d'entreprises, notamment artisanales, ayant potentiellement accès à un marché quasiment mondial. C'est cette nouvelle réalité qui doit impérativement être prise en compte pour mettre en place un écosystème favorable à l'innovation dans notre pays.

La France doit saisir cette opportunité de renforcer son offre productive et sa compétitivité globale

L'impression 3D a été inventée au même moment (1984) en France et aux États-Unis. Mais l'excellent niveau de recherche ne s'est pas aussitôt transformé, de ce côté-ci de l'Atlantique, en activité économique. Il y a bien urgence aujourd'hui à définir une stratégie claire et déterminée dans ce domaine.

Une part aujourd'hui modeste au niveau mondial

Les données publiées dans le *Wohlers Report 2014* montrent une nette prédominance des États-Unis qui représentent 38 % du nombre total des imprimantes 3D installées à ce jour dans le monde, assez loin devant le Japon, l'Allemagne et la Chine (de l'ordre de 9 % chacun). Dans ce classement des utilisateurs, la France apparaît au 7^e rang mondial avec un peu plus de 3 %, un peu derrière le Royaume-Uni et l'Italie et devant la Corée du Sud.

Les États-Unis comptent également les deux leaders mondiaux du secteur, 3D Systems et Stratasys qui procèdent régulièrement à des acquisitions - tant dans le domaine des équipements professionnels que dans celui des imprimantes 3D personnelles - pour maintenir leur position dans le foisonnement actuel de créations au sein d'un secteur qui est encore loin d'être arrivé à maturité. Au niveau européen, les entreprises allemandes sont en pointe, tout particulièrement sur le segment, encore réduit mais en forte croissance, des machines utilisant des poudres métalliques.

En France, les acteurs significatifs dans la fabrication de machines apparaissent aujourd'hui en nombre très limité après le rachat en 2013 de la société Phénix Systems par 3D Systems. L'industrie indépendante de machines professionnelles d'impression 3D en France repose désormais essentiellement sur le groupe Gorgé via sa filiale Prodways, notamment spécialisée dans les imprimantes 3D pour prothèses dentaires et qui se positionne sur les marchés du médical, de l'aéronautique ou encore de la joaillerie. On peut également signaler la « jeune pousse » alsacienne BeAM, active dans l'industrie aéronautique.

Des atouts certains en matière de logiciels, de services et de matériaux

Si le marché des équipements échappe désormais largement aux entreprises françaises, il faut aussitôt souligner qu'au sein du marché global de l'impression 3D (3 milliards de dollars au niveau mondial en 2013), ces machines n'en représentent qu'un tiers (1 milliard de dollars), la moitié étant constituée des services qui lui sont associés (1,5 milliard de dollars), le solde correspondant aux matériaux utilisés (0,5 milliard de dollars).

Pour bénéficier de l'important potentiel de croissance d'un marché encore en phase de décollage (de l'ordre de 33 % par an, avec la perspective d'un marché global de la fabrication additive qui pourrait dépasser les 20 milliards de dollars en 2020), les entreprises françaises devraient prioritairement s'appuyer sur les atouts qui leur sont reconnus dans le domaine des logiciels (avec des leaders mondiaux tels que Dassault Systèmes), des services (à l'exemple de Sculpteo) ou de la recherche sur de nouveaux matériaux.

Parallèlement, il est indispensable que l'appropriation de cette technologie progresse au sein du tissu industriel et artisanal de notre pays, tout particulièrement au sein des PME,

les quelques études de terrain disponibles montrant encore une grande méconnaissance des possibilités offertes par l'impression 3D.

Les préconisations du CESE à l'attention des pouvoirs publics et des professionnels : créer un « écosystème » favorable en France

Il s'agit ici d'envisager les principales conditions d'une intégration la plus rapide possible de la fabrication additive et de ses applications dans l'appareil productif de notre pays. Comme pour la plupart des innovations technologiques, des améliorations sont à apporter dans les domaines de la formation, de la recherche-développement et du financement. Il convient également de s'interroger sur les modifications parfois profondes à prendre en compte en matière de sécurité juridique et de normes. Enfin et surtout, il est indispensable d'examiner les implications potentielles de l'intégration de cette nouvelle technologie en matière de développement des activités économiques et de création d'emplois sur le territoire.

Une meilleure information sur l'impression 3D

Les travaux de notre assemblée ont révélé un déficit d'information tant des entreprises que du grand public sur l'impression 3D, sur la nature, le rythme et le contenu des transformations qui peuvent en découler pour le système productif, la structuration de la chaîne de valeur, les métiers et l'organisation du travail.

C'est pourquoi, afin de permettre ou d'aider à la mise en œuvre des autres recommandations du présent avis, le CESE demande aux acteurs économiques et sociaux de prendre les moyens d'observer les évolutions en cours dues aux technologies du numérique, parmi lesquelles l'impression 3D, notamment dans le cadre des observatoires analytiques prospectifs des métiers et des qualifications, sur les territoires et dans les branches professionnelles, d'informer toutes les parties intéressées de leurs analyses prospectives et d'adapter, pour ce qui les concerne directement, leurs politiques d'anticipation de ces évolutions (GPEC, formation, qualifications, normes, etc.).

Le CESE invite les pouvoirs publics, le Conseil national de l'industrie (CNI), avec ses comités stratégiques de filière, et la commission nationale des services à susciter des analyses prospectives pour enrichir leurs travaux et ainsi mieux définir leurs actions.

Un développement des formations et des qualifications à tous les niveaux

La France ne peut espérer constituer un écosystème favorable au développement de l'impression 3D - comme de toute autre innovation de cette ampleur - que si elle se donne les moyens d'augmenter en permanence le niveau des connaissances et des compétences dans ce domaine.

Offrir des occasions de donner le goût des sciences et de l'innovation aux jeunes

Il existe une réelle désaffection à l'égard de la science et de ses métiers qui mène à l'affaiblissement de la culture de l'innovation dans notre pays, que notre assemblée a souvent relevée (cf. *La compétitivité : enjeu d'un nouveau modèle de développement*, rapporteur : Isabelle de Kerviler, 2011). Une meilleure reconnaissance des métiers scientifiques conduirait nombre de diplômés de nos écoles d'ingénieurs à faire valoir leurs formations et leurs capacités dans ces secteurs plutôt que dans d'autres activités comme la finance.

Alors que l'innovation basée sur le numérique ne fait que se développer, les différentes enquêtes sur l'innovation (conduites notamment par l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), et par l'Union européenne) montrent que les entreprises considèrent le manque de personnel qualifié comme un des principaux obstacles à l'innovation.

L'enseignement de l'informatique sous ses différentes formes et l'immersion dans l'univers du numérique doivent être prévus le plus tôt possible dans le cursus scolaire (primaire, collège) et être valorisés tant auprès des garçons que des filles. Une plus grande mixité des métiers de l'informatique et du numérique est une nécessité pour répondre aux besoins de l'économie. Dans le cadre d'une refonte du programme scolaire au Royaume-Uni destiné à mieux préparer les jeunes actifs de demain, le ministère de l'éducation britannique a débloqué 500 000 livres pour aider les écoles à s'équiper en imprimantes 3D et prévoit **l'apprentissage de la programmation informatique et l'utilisation d'imprimantes 3D dès l'âge de cinq ans. Le CESE préconise qu'un programme ambitieux soit expérimenté dans ce sens en France.**

Il devrait s'agir d'une démarche autorisant l'expérimentation et la manipulation, ce que l'impression 3D facilite, à la suite des programmes de « La main à la pâte » au milieu des années 1990. Le contexte apparaît particulièrement favorable dans la mesure où, pour les enfants du XXI^e siècle, l'informatique sous toutes ses formes est tout sauf une « nouvelle technologie » puisqu'ils n'ont jamais connu le monde sans elle. Si l'on suit les réflexions et propositions de l'Académie des sciences en mai 2013 (« *L'enseignement de l'informatique en France - Il est urgent de ne plus attendre* »), c'est au primaire que doit commencer la sensibilisation des jeunes enfants, poursuivie par l'acquisition de l'autonomie, initiée au collège. **La phase du perfectionnement, quant à elle, doit intervenir au lycée. Elle doit également concerner les jeunes des Centres de formation d'apprentis (CFA) en lien avec les spécialités professionnelles préparées.**

Parallèlement, **le CESE considère que, pour le corps enseignant, des formations adaptées à ces différents niveaux d'apprentissage devront impérativement être proposées.**

Notre assemblée considère que le développement des *Fab-Labs* locaux répond aussi à cette nécessité d'initiation attractive aux technologies numériques le plus en amont possible.

Créer de véritables spécialités

Le rapport a montré que les formations à l'impression 3D sont assez peu visibles, en comparaison d'autres spécialités du numérique, comme la robotique par exemple. Seuls quelques lycées professionnels, des universités et des écoles d'ingénieurs proposent des

modules de formation telle que, par exemple, la filière « Ingénieur informatique et applications ingénierie graphique et technologies 3D » proposée par l'ESIEE Paris (école d'ingénieurs consulaire). Lorsque les professionnels - industriels - sont interrogés, ils ne manquent pas de déplorer cette situation qui impose *de facto* la mise en œuvre de formations maisons.

Pour le CESE, il est indispensable de créer ou de mieux faire apparaître les pôles d'excellence de la formation 3D du niveau « écoles d'ingénieurs », qu'il s'agisse de la fabrication des machines, de l'élaboration des logiciels ou de l'ensemble des services associés. La constitution de plusieurs pôles en réseau donnerait la visibilité indispensable aux compétences nationales. À l'heure de l'économie de réseau, il n'est pas opportun de procéder à un regroupement physique. Mieux vaudrait créer un signe distinctif dans le cadre, par exemple, des instituts Carnot donnant une information contrôlée sur les formations dispensées.

Si pour ce qui concerne la formation des ingénieurs et techniciens, de véritables spécialités 3D se justifient, **le développement de nouvelles compétences professionnelles spécialisées s'impose aussi dans les domaines logistiques, commerciaux, juridiques et, plus généralement, dans les activités de services.** Ces compétences « technologiquement intensives » peuvent tout particulièrement concerner la fonction de l'éco-efficience qui implique une optimisation dans l'utilisation des ressources.

Il importe également d'**encourager le développement des formations à l'utilisation de l'impression 3D au sein des Universités régionales des métiers et de l'artisanat (URMA)** qui dispensent des formations du CAP jusqu'à la licence.

Adapter la formation permanente aux nouveaux métiers

La vitesse à laquelle l'innovation numérique pénètre le monde de la production est sans égale avec ce qui était connu traditionnellement et qui permettait à chacun une réelle adaptation à la nouveauté technique. Les besoins des entreprises en termes de qualifications ne sont pas toujours satisfaits par le système de la formation initiale. Le nombre d'étudiants sortant chaque année des écoles d'ingénieurs ou des universités ne suffit pas à couvrir la demande de l'appareil productif. Le rôle de la formation permanente est alors déterminant d'autant qu'on constate une accélération de l'obsolescence des compétences. Certes, les connaissances que l'on pourrait qualifier de base demeurent ; néanmoins, le recours à des cycles de formations spécifiques de durées variables est désormais une composante de la formation permanente et justifie **le développement d'une veille relative aux qualifications et à leur évolution, étroitement associée à une veille technologique sur les perspectives de l'impression 3D.**

Notre assemblée engage à la réflexion sur certains domaines de formation qui correspondent à des spécialités numériques naissantes ou très spécialisées. Ces compétences, comme le souligne le secteur professionnel du numérique, sont celles que les entreprises demandent pour certains de leurs services (marketing, communication ou commerciaux). Cependant, elles éprouvent beaucoup de difficultés à satisfaire leurs besoins de recrutement et, de ce fait, recherchent les savoir-faire au sein des sociétés prestataires dans ces domaines.

Il faut souligner que les besoins en formation continue à l'usage des imprimantes 3D doivent d'ailleurs concerner tous les secteurs d'activité et pas uniquement les professionnels du numérique. **Le CESE souligne le rôle des organisations professionnelles et des chambres consulaires pour, d'une part, contribuer à la sensibilisation des**

professionnels sur les opportunités offertes par cette nouvelle technologie et pour, d'autre part, participer au développement de formations dans ce domaine.

Un indispensable effort de recherche-développement

En matière de R&D, les progrès sont à attendre, non seulement en termes de montants investis mais également d'accroissement de leur efficacité.

Encourager la recherche dans les laboratoires publics et favoriser les partenariats

Notre assemblée s'est interrogée à de multiples reprises sur les logiques présidant à la structuration du dispositif de la recherche en France ainsi qu'à son financement. Depuis près de vingt ans, de nombreux dispositifs ont été créés et très peu supprimés, ce qui aboutit à en rendre le système peu lisible et parfois redondant.

La recherche publique en France est de qualité reconnue et justifie le maintien de notre pays dans le peloton de tête de la recherche. Dans le domaine du numérique et particulièrement de l'impression 3D, le rapport a montré que la recherche - quel que soit le pays où elle s'opérait - se situait à un stade tel que les coûts étaient souvent partagés entre les budgets publics et ceux des entreprises, ce qui constitue un partenariat d'importance. Ce fait se vérifie particulièrement aux États-Unis par le jeu des différentes agences fédérales. Il se concrétise aussi en Allemagne fédérale par le biais des instituts Fraunhofer.

En France, depuis quelques années, l'accroissement de l'impact économique de la recherche publique (laboratoires, universités) par le transfert de la R&D vers la production et la commercialisation, est devenu un objectif prioritaire et, à ce titre, est intégré dans l'agenda stratégique « France Europe 2020 ». Ainsi, certains des grands organismes de recherche publics assurent des partenariats avec des entreprises. Tel est le cas du CEA LITEN avec l'entreprise Prodways du groupe Gorgé. Ce partenariat consiste, pour le LITEN, à remplir un rôle d'accélérateur d'innovation au service des industriels et contribue à placer l'entreprise dans une position de leader sur différents segments du marché de l'impression 3D en pleine expansion.

Pour le CESE, ce type de partenariat entre recherche publique et entreprises innovantes est naturellement à développer, d'autant que les entreprises spécialisées dans la technique de la 3D sont, à quelques exceptions près, plutôt des PME que des ETI ou de grands groupes. **Une accélération de la recherche s'impose tout particulièrement dans un domaine où la France dispose d'atouts importants, celui des matériaux innovants (métaux et leurs alliages, matières organiques).**

Dans cette optique, le CESE apprécie et suivra avec intérêt la mise en place et les développements de l'appel à projets « LabCom » de l'Agence nationale de la recherche qui vise à la création de 100 laboratoires communs entre recherche académique et PME ou ETI et à faciliter, ainsi, le rapprochement de la recherche publique avec le monde de l'entreprise.

Favoriser les synergies entre les structures en charge de la valorisation de la recherche

La valorisation de la recherche est assurée par un nombre important de structures, à tel point que la Cour des comptes a pu évoquer à leur sujet « *un dispositif foisonnant* ». Il n'en demeure pas moins que ce foisonnement rend l'ensemble peu lisible notamment pour les acteurs du terrain, surtout si on y ajoute quelques structures à vocation européenne.

La multiplicité des dispositifs induit aussi, selon l'OCDE, « *une impossibilité - ou du moins des difficultés - quant à la coordination et au pilotage des dispositifs pour atteindre les objectifs fixés par l'État* ». Elle ne facilite guère, non plus, la recherche par les petites entreprises des meilleurs interlocuteurs en réponse à leurs besoins.

Notre assemblée perçoit l'intérêt des instituts Carnot, des pôles de compétitivité, des instituts de recherche technologique, ainsi que celui des Sociétés d'accélération du transfert de technologie (SATT), créées dans le cadre du fonds national de valorisation et du programme d'investissements d'avenir. Elle perçoit, tout autant, l'intérêt des centres techniques industriels qui fonctionnent avec l'appui des organismes professionnels et qui irriguent l'ensemble du territoire ainsi que celui des pôles d'innovation de l'artisanat.

Néanmoins, **pour le CESE, il y a urgence, à l'heure de la « révolution numérique », d'organiser les synergies nécessaires pour dégager un guichet unique accessible aux entreprises.**

L'objectif de cette initiative est de renforcer sur tous les territoires les liens entre les acteurs de l'écosystème d'innovation, la détection de projets et leur accompagnement vers le marché.

Renforcer le financement de l'innovation en France

Trouver des sources de financement est nécessaire à tous les stades de développement d'une innovation, depuis la recherche initiale jusqu'à la mise sur le marché, la phase la plus périlleuse étant souvent le passage aux démonstrateurs puis le processus d'industrialisation.

Si de nouveaux instruments existent déjà ou se mettent en place - Crédit d'impôt recherche (CIR), aide des grands groupes aux PME innovantes (*corporate venture*), dispositifs à l'initiative des territoires, financement participatif (*crowdfunding*)... -, il reste aujourd'hui nécessaire de combler certaines lacunes dans la trajectoire du financement.

Améliorer le soutien public

Bpifrance est un acteur essentiel des politiques de soutien à l'innovation en France qui supplée le rôle aujourd'hui très insuffisant du système bancaire dans le financement de l'économie et, tout particulièrement, de l'innovation. Créée en 2013, de la fusion d'OSEO, de CDC-Entreprises et du fonds stratégique d'investissement, la banque publique offre une palette d'outils complémentaires au service des PME et ETI et ses interventions se caractérisent par leur capacité d'entraînement.

Outre son action qui s'accompagne d'une offre bancaire classique, Bpifrance développe des outils de financements complémentaires répondant à des besoins spécifiques des entreprises insuffisamment couverts par le marché : prêts de développement, de création, financements de court terme. Elle apporte aussi des garanties pour permettre le financement

de projets plus risqués sur trois segments : la création d'entreprises ou leur transmission ; les prêts de développement des entreprises ; le renforcement de leur trésorerie.

Bpifrance s'est emparée de l'impression 3D récemment dans le cadre de séminaires thématiques ayant pour objet de faire travailler ensemble des entreprises de toutes tailles sans omettre la recherche académique et en s'appuyant sur un avantage comparatif national que l'on peut résumer ainsi : la France est un des pays les plus numériques dans le monde mais n'est pas en avance dans l'utilisation de cette technologie dans l'entreprise. Alors que, selon certains experts, la bataille de la production de machines semble être perdue, il reste dans les domaines des logiciels et des services, des segments importants sur lesquels les entreprises françaises sont bien placées dès lors qu'elles sont soutenues dans leurs efforts.

Le CESE préconise que Bpifrance dispose de moyens humains et financiers suffisants afin de poursuivre ses efforts dans la durée et atteindre ainsi - grâce à un effet de levier - ses objectifs affichés dans le secteur de l'impression 3D.

Comme l'a souligné le Conseil national de l'industrie, la comparaison internationale du taux de satisfaction des demandes de prêts bancaires des PME, réalisée par la Banque centrale européenne, place la France à un niveau nettement moins favorable que l'Allemagne. Les chefs d'entreprise déplorent une insuffisante connaissance du secteur de l'industrie de la part des établissements bancaires de proximité. Dans ce contexte, **le CESE invite le secteur bancaire à construire dans la durée des relations de confiance entre les PME et les responsables des établissements de crédit.**

Parallèlement, afin notamment de pallier l'attitude frileuse du système bancaire français, **le CESE recommande aux pouvoirs publics de mettre en place une incitation à orienter l'épargne longue gérée par les investisseurs (y compris les compagnies d'assurance) vers l'innovation et la prise de risque.**

Le CESE invite également les collectivités territoriales à s'associer avec des partenaires locaux pour lancer des fonds de financement de l'innovation à l'instar des premières expériences régionales dans ce domaine (Auvergne, Nord-Pas de Calais...). L'ancrage territorial des activités productives ne pourrait qu'en sortir renforcé.

Mieux tirer parti des financements de l'Union européenne

Les différents Programmes-cadres de recherche et développement technologique (PCRDT) de l'Union européenne représentent des enjeux d'importance. Les bilans tirés des sept PCRDT font apparaître le même constat après chaque campagne : la participation française est relativement faible et inférieure au montant de sa contribution au budget de l'Union. La France a ainsi reçu 8,2 % du total des contributions versées au titre du 7^e PCRDT (2007-2013) dans le domaine qui comprend les « matériaux et nouvelles technologies de production », se situant au 5^e rang, loin derrière l'Allemagne (20,3 %). Il y aurait là, pour le CESE, un champ intéressant d'investigation d'autant que les PCRDT représentent, depuis quelques décennies, le seul moyen d'une action concertée de recherche communautaire sur certaines thématiques.

Le 8^e PCRDT « Horizon 2020 », entré en vigueur en 2014, comporte des priorités répondant aux attentes des acteurs français de la recherche et regroupera les différents programmes communautaires de recherche et d'innovation en un seul document.

L'agenda stratégique français « France Europe 2020 » ambitionne d'organiser et de renforcer le dispositif national d'accompagnement sur les projets européens notamment ceux portant sur « l'usine du futur ».

On soulignera de nouveau que les moyens financiers alloués au 8^e PCRDT ont fortement crû sur proposition de notre pays (de 54 % par rapport au précédent PCRDT) passant de 50 à 77 milliards d'euros.

Pour le CESE, le programme « Horizon 2020 » est une occasion importante à saisir pour la structuration de la recherche européenne et nationale - et leur déclinaison territoriale - concernant les technologies du numérique. Les montants qui seront alloués à ces technologies devraient permettre au continent européen de ne pas se laisser distancer par les États-Unis et les économies d'Asie.

Enfin, notre assemblée souligne l'avancée effectuée par l'Union européenne au service de l'innovation par la création d'instruments de financement du risque pour les PME. Cet effort est relayé en France par Bpifrance qui propose également des formations au financement du risque à destination des intermédiaires de l'accompagnement. **Le CESE insiste sur la nécessité d'améliorer encore l'accompagnement des entreprises petites et moyennes dans le montage de ces dossiers, en particulier en rendant le dispositif européen beaucoup plus lisible.**

Structurer la recherche sur le long-terme (les « Investissements d'avenir »)

La structuration de la recherche sur le long terme est assurée par les investissements d'avenir. Le secteur du numérique constitue l'un des axes stratégiques retenus à la fois en sa qualité de secteur porteur de croissance mais aussi par son « *impact diffusant sur le reste de l'économie, en contribuant à améliorer la compétitivité globale de l'industrie et des services et en étant le support d'offres innovantes dans tous les secteurs* » (rapport *Investir pour l'avenir : priorités stratégiques d'investissement et emprunt national*, Michel Rocard et Alain Juppé, 2009).

Un deuxième programme d'investissements d'avenir a été annoncé en juillet 2013 pour financer certaines priorités de la transition énergétique mais aussi de l'innovation, de la compétitivité industrielle, du numérique, de la recherche et de la santé. Un montant de 12 milliards d'euros a été ouvert à ce titre par la loi de finances initiale pour 2014.

Le CESE insiste pour que les sommes dégagées constituent un investissement de long terme pour la recherche et ses applications.

Relever les nouveaux défis en matière de propriété intellectuelle et de sécurité

On a vu que le développement de la fabrication d'objets par la technique de l'impression 3D est étroitement lié aux progrès les plus récents enregistrés dans le domaine de la numérisation. Il est donc logique de retrouver ici les questions déjà soulevées depuis quelques années par les secteurs de l'édition (musique, films, livres...) en matière de protection des droits des créateurs. La problématique du respect de la propriété littéraire et

artistique (le droit d'auteur et ses droits voisins) est, en effet, sensiblement la même que celle du respect de la propriété industrielle (brevets, dessins et modèles, marques).

Parallèlement, l'application de la règle traditionnelle du Code civil qui incrimine le « fabricant » en cas de dommages causés par une malfaçon doit s'adapter à l'apparition de nouveaux intervenants dans la chaîne de production (créateurs de fichiers numériques, plateformes de partage ou de vente, services d'impression...). Il en va de même pour la responsabilité élargie du producteur qui rend celui-ci responsable du bien qu'il fabrique y compris pour sa fin de vie (recyclage ou traitement).

Faire prendre conscience aux entreprises des nouveaux risques

Il apparaît tout d'abord que les règles juridiques en vigueur ne sont pas, dans leur principe même, remises en cause par les innovations numériques, en l'occurrence par l'impression 3D : ainsi, en l'absence d'autorisation du titulaire des droits, la fabrication de l'objet protégé sera considérée comme une contrefaçon impliquant aussi bien le producteur que le client final, quelle que soit la technologie employée. Dans le cas de la fabrication additive aussi, ce sera le rôle de la jurisprudence d'établir les responsabilités de chacun et donc de clarifier progressivement le cadre juridique.

À ce stade, il est donc primordial d'attirer l'attention des entreprises qui se lancent dans la fabrication additive sur les risques encourus, tout particulièrement dans une période de jurisprudence naissante. **Pour le CESE, les différentes instances consulaires - dans le cadre de leurs nouvelles stratégies et en liaison avec les fédérations professionnelles - devraient se mobiliser et se donner les moyens en matière de conseil et de formation** pour permettre aux entrepreneurs d'éviter les deux écueils contraires : se lancer inconsidérément dans une nouvelle technologie ; laisser passer une occasion de développer leurs activités par crainte d'un risque non maîtrisé.

Sécuriser l'environnement juridique des entreprises

Le droit de l'usage privé - qui considère, globalement, que la contrefaçon n'est pas établie lorsqu'une copie est réalisée en dehors de toute relation commerciale - semble susciter une inquiétude particulière dans la mesure où l'impression 3D pourrait permettre aux particuliers de fabriquer - pour leurs besoins personnels mais au détriment de l'activité des professionnels - des objets usuels en nombre important.

Il faut tout d'abord souligner que, compte-tenu des contraintes techniques et de coût, ce risque est encore très loin de correspondre à une réalité tangible. Ensuite, les mésaventures du dispositif Hadopi ont prouvé qu'il sera de plus en plus illusoire d'essayer de faire porter la responsabilité sur les utilisateurs finaux (dont la suppression du principe même de l'exception de copie privée - en droit d'auteur - ou d'usage privé - en droit de la propriété industrielle - ne serait qu'une variante).

Certaines formes nouvelles de régulation doivent pouvoir cependant permettre de concilier un encadrement juridique accru de ce nouveau mode de production et son développement. Au-delà des dispositifs techniques d'accès conditionnels (« Gestion des droits numériques ») qui peuvent être mis en place par les entreprises elles-mêmes, **le CESE considère notamment que la responsabilité des plateformes d'intermédiation (hébergeurs de fichiers) devrait être plus clairement engagée afin de les inciter à réellement contrôler le caractère licite des fichiers qu'elles hébergent.**

Plus largement et compte-tenu de l'ampleur des enjeux en termes économiques et d'emploi, le CESE encourage les pouvoirs publics à soumettre au débat leurs propositions, notamment dans le cadre de la « grande loi sur le numérique » annoncée il y a plusieurs mois mais qui tarde à se concrétiser et qui devrait notamment préciser de nouveaux dispositifs juridiques de protection face à la contrefaçon.

Prendre en compte les impacts écologiques et de santé

Comme l'avait déjà souligné l'avis du CESE sur les *Transitions vers une industrie économe en matières premières* (rapporteur : Yves Legrain, 2014), le concept d'économie circulaire prend en compte l'ensemble du cycle de vie des produits et repose sur l'écoconception, privilégie l'allongement de la durée de vie des produits et anticipe leur recyclage. Elle est complémentaire de l'écologie industrielle qui vise à optimiser la circularisation des flux de produits et déchets et le développement d'une économie de l'usage.

Dès la conception, les critères de durabilité, de modularité, de réparabilité et de recyclabilité doivent être intégrés.

Par ailleurs, face aux risques de pollution de l'air et d'impact sur la santé lors des processus de fabrication additive, **le CESE attire l'attention des acteurs sur le respect de la législation en vigueur concernant les matériaux, les équipements et leur utilisation.**

Participer davantage aux processus internationaux de normalisation

S'ils ont assurément un coût direct ou indirect pour les entreprises, ces processus sont particulièrement utiles dans la diffusion de l'innovation en apportant des garanties aux entreprises. Il reste que participer le plus étroitement possible à la définition des nouvelles normes peut se révéler être un atout concurrentiel significatif.

Maintenir le processus de normalisation dans le cadre de l'ISO et du CEN

Symbole du passage au stade de l'industrialisation, l'activité de normalisation internationale de l'impression 3D se développe sur un rythme rapide. Ainsi, au niveau international, le nombre des pays participants ne cesse de croître et les représentants des pays asiatiques s'ajoutent à ceux des États-Unis et de l'Europe. D'après les dernières informations en notre possession, le programme de normalisation s'étoffe et plusieurs groupes de travail supplémentaires se sont mis à l'œuvre.

On sait, certes, que les normes sont en principe d'application volontaire. Néanmoins, certaines, ayant valeur réglementaire, entraînent une application obligatoire. De leur respect, dépend, par exemple, la possibilité d'accéder à certains marchés, y compris des marchés sur appels d'offre internationaux. **Le CESE considère comme de la première importance que la normalisation soit portée au niveau de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et du Comité européen de normalisation (CEN)**, ce qui permet ainsi une confrontation entre organes nationaux ou « régionaux » de normalisation.

Impliquer fortement les entreprises françaises intéressées

Le CESE a noté avec intérêt que notre pays et notre industrie sont représentés par l'Union de normalisation de la mécanique (par délégation de l'AFNOR). Le tissu entrepreneurial de l'impression 3D en France ne comptant pas suffisamment de grandes entreprises fortement intéressées, tout au moins dans la fabrication des machines, il est clair que cette représentation garantit une présence active de notre pays dans les comités chargés de rédiger les différents textes techniques. La veille technique est, en tout état de cause, déterminante pour apprécier les évolutions dans le système de normalisation.

Le CESE invite à une plus forte implication des entreprises françaises dans les comités de normalisation dédiés, le cas échéant par l'intermédiaire de leurs fédérations professionnelles.

Le ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique a mis en place un dispositif d'aide financière afin d'encourager la participation des PME dans les travaux de normalisation européens et internationaux. L'aide financière est allouée à des experts issus de PME qui souhaitent s'investir dans ces travaux via une structure collective (association professionnelle, pôle de compétitivité) qui sera titulaire de la convention. **Le CESE souhaite que ce dispositif fasse davantage l'objet d'une promotion auprès des PME afin qu'il soit utilisé de manière optimale.**

Favoriser l'émergence d'activités et d'emplois dans les territoires

Les nouveaux outils numériques autorisent une production plus efficace et plus libre. À cet égard, l'impression 3D permet de personnaliser les objets - il suffit de modifier le fichier numérique -, de rentabiliser de courtes séries et de flexibiliser l'organisation de la chaîne de production.

Pour de nombreux experts, l'impression 3D pourrait permettre la « relocalisation » des moyens de production industriels dans les pays développés. Les professionnels du secteur font tous référence à cette possibilité, étant entendu, cependant, qu'il serait illusoire de penser à un retour à l'identique. Parce que l'impression 3D offre l'occasion d'innover de manière plus agile et de gagner de la rapidité dans l'innovation, elle possède les atouts qui permettent de développer de nouvelles activités sur les territoires.

Clarifier et accélérer les plans industriels liés aux innovations technologiques

Des projets de réindustrialisation ont fait, depuis quelques années, leur apparition dont le soutien aux filières et secteurs industriels, illustré par la mise en place d'un Conseil national de l'industrie et par les 34 plans de « La nouvelle France industrielle ». Parmi ces plans, celui intitulé « Usine du futur » précise qu'il « *permettra à la France d'être au rendez-vous du prototypage rapide, de la convergence des réseaux sociaux, de l'hyper-connexion des entreprises, des interfaces homme-machine, de la robotique, de la réalité augmentée, du numérique, de l'impression 3D, de l'intelligence artificielle et du design* ».

Le CESE souhaite une clarification rapide des intentions des pouvoirs publics quant à l'avenir des 34 plans industriels et, plus particulièrement, celui dédié à

« **l'usine du futur** » dont le **financement des sept expériences pilotes n'est pas encore assuré**. En effet, la définition d'une vision claire de la politique industrielle qui sera menée dans les prochaines années - pour la promotion de la fabrication additive comme des autres innovations technologiques - est indispensable pour que puisse se mettre en place un système productif adapté à la compétition mondiale.

Développer de nouvelles unités de production dans les territoires

Le CESE considère que le développement des technologies du numérique, et notamment celle de l'impression 3D, doit être davantage pris en compte et encouragé dans la démarche globale de transition vers une économie plus circulaire.

Le développement « industriel » de l'impression 3D pourrait avoir comme conséquence de mieux répondre à la demande du marché en petites séries et générer le développement de petites unités de production.

La fabrication additive est d'ailleurs elle-même une technologie qui se prête particulièrement bien à la production de pièces détachées, donc au développement des activités de réparation qui est potentiellement génératrice d'emplois locaux. Elle se prête au développement d'une filière maintenance et réparation. **Le CESE recommande que les fabricants puissent permettre aux réparateurs agréés d'avoir accès aux fichiers 3D de fabrication des pièces détachées et aux modes de réparation.**

Valoriser les atouts des entreprises françaises en logiciels et développement de nouveaux matériaux et en faire une stratégie volontariste de la France

Les entreprises françaises ont des atouts reconnus parmi les leaders mondiaux dans le domaine des logiciels, des services et de la recherche et la fabrication de nouveaux matériaux. **Le CESE recommande que ces potentiels soient valorisés et soutenus.**

S'appuyer sur les aspirations à l'autonomie et à la création collective

Le développement de la 3D ne saurait s'expliquer sans l'avènement en parallèle de la génération des *Makers* dont le développement doit beaucoup à la généralisation de l'utilisation des technologies numériques de pointe et de l'internet. Ainsi, l'impression 3D, au même titre que les autres technologies de l'univers numérique, fait essentiellement appel à l'activité dans sa dimension qualitative. Cette dimension intéresse les entreprises « agiles » capables de trouver la bonne niche au bon moment. Les *start-ups* et leurs jeunes collaborateurs auront d'ailleurs vraisemblablement toujours un temps d'avance sur les « grosses structures ».

Pour le CESE, ces modifications du paysage productif devraient entraîner des évolutions dans l'organisation du travail permettant la combinaison des nouvelles compétences qui en découlent avec les compétences existantes, l'élargissement des capacités d'autonomie, d'initiative et d'innovation, le développement de nouveaux dispositifs de collaboration au sein de l'entreprise avec des relations et des organisation de travail réinterrogées.

Le CESE recommande que l'observation prospective et l'anticipation des évolutions intègrent cette dimension d'organisation pour progresser dans le sens de l'humanisation et de la valorisation du travail.

Conclusion

S'il est encore trop tôt pour cerner avec précision la place que va prendre l'impression 3D dans l'ensemble des activités économiques, il est d'ores et déjà assuré que cette technologie sera de plus en plus incontournable dans de nombreux secteurs et elle apparaît porteuse de potentialités élevées dans des domaines-clés de l'avenir.

À l'évidence, la France ne peut donc pas se permettre de prendre le risque que son appareil productif ne se saisisse pas pleinement de cette innovation. Les recommandations faites par le CESE dans cet avis visent à conforter ses atouts et à remédier à certaines des faiblesses dont pâtissent les entreprises françaises notamment en matière de formation, de recherche et de financement.

Au-delà de la fabrication additive elle-même, cet avis permet de soulever des questions qui peuvent aujourd'hui s'appliquer à l'ensemble des innovations technologiques les plus récentes, en particulier celles qui sont étroitement liées au développement du numérique. Elles ont en effet pratiquement toutes en commun de pouvoir bouleverser la nature des productions (davantage adaptées à l'utilisateur final du produit ou du service), la localisation des activités (pouvant conduire à un renouveau du développement des territoires), le nombre des acteurs (et la répartition de la valeur ajoutée entre eux) ou encore les qualifications professionnelles et l'organisation du travail.

À partir de cet exemple de l'impression 3D, le CESE plaide ainsi pour que les pouvoirs publics et l'ensemble des acteurs économiques et sociaux du pays se saisissent de ses propositions pour améliorer la performance globale de l'économie française.

Déclaration des groupes

Artisanat

Désormais, l'impression 3D ne se limite plus à la réalisation de prototypes ; elle est de plus en plus utilisée pour la fabrication de produits finis dans les secteurs de l'industrie, de l'artisanat ou encore de la santé.

Toutefois, en France, sa diffusion reste encore modeste en comparaison à d'autres pays, y compris au niveau européen.

Or, cette technologie numérique est susceptible de transformer profondément nos modes de production dans les années à venir, et de contribuer à améliorer la performance globale de notre appareil productif. Il importe donc d'encourager son développement.

L'impression 3D ouvre en effet des perspectives nouvelles pour un grand nombre de secteurs :

- faciliter la personnalisation des produits et une production à la demande ;
- améliorer également l'impact environnemental des activités économiques, grâce à une moindre consommation de matières premières, une fabrication plus rapide et plus proche du marché de consommation. Autant d'avantages par rapport aux procédés classiques de fabrication.

Cette technologie devrait aussi relancer les métiers de la réparation en facilitant la fabrication de pièces détachées ; elle peut donc contribuer à l'objectif d'une économie plus circulaire.

Plus largement, elle pourrait favoriser la réappropriation d'une partie de notre production au niveau local.

C'est pourquoi, il est nécessaire de mettre en place tout un écosystème favorable à la diffusion de cette technologie.

Il faut notamment aider les PME à identifier les leviers à actionner pour concevoir et développer un projet innovant, mais aussi pour assurer sa commercialisation. À ce titre, la création d'un « guichet unique » serait souhaitable.

En matière de financement, en plus du rôle d'accompagnement de BPIFrance, de nouveaux dispositifs devraient être conçus pour orienter l'épargne vers l'innovation, notamment au profit d'activités ancrées dans les territoires.

Faire progresser l'appropriation de cette technologie au sein du tissu industriel et artisanal, suppose également d'améliorer les connaissances et les compétences sur l'impression 3D.

La mobilisation des acteurs, tant au niveau de la formation initiale que de la formation continue, est donc primordiale. À l'égard des PME, les organisations professionnelles et les réseaux consulaires ont notamment un rôle à tenir pour les sensibiliser aux opportunités de la production additive et participer au développement de formations adaptées.

Au-delà de toutes ces initiatives, il n'en reste pas moins que l'usage de cette technologie suscite encore des questions : notamment en termes de propriété industrielle, de responsabilité du fabricant, de sécurité et de normes des produits...

C'est donc à juste titre que l'avis appelle les pouvoirs publics à avancer sur la sécurisation de son environnement juridique; ce sera en effet un élément déterminant de sa diffusion à une échelle la plus large possible.

Le groupe de l'artisanat émet le vœu que cet avis du CESE puisse au moins contribuer à améliorer la connaissance sur les nombreuses promesses offertes par cette technologie du numérique pour renforcer notre compétitivité.

Il a donc voté l'avis.

Associations

Fabriquer par addition de matière plutôt que par soustraction a un impact d'autant plus important que cette technologie est aujourd'hui ultra performante. La France est malheureusement absente du marché de production des machines industrielles qu'elle aurait pourtant pu initier puisque la première demande de brevet dans le domaine de l'impression 3D a été déposée par un Français, en 1984. L'incapacité de notre pays à transformer une découverte en activité économique semble être un mal récurrent. En Europe, l'Allemagne a su saisir cette opportunité pour concurrencer la suprématie des États-Unis.

Notre pays dispose cependant d'atouts à faire valoir et la préconisation demandant une accélération de la recherche dans le domaine des matériaux innovants est capitale pour assurer notre présence industrielle. Au-delà de la chimie, on pense également à la biologie puisque l'on va jusqu'à se poser la question d'imprimer des tissus vivants.

L'impression 3D intéresse l'ensemble du secteur productif, l'usine comme les petites unités, elle concerne aussi les pratiques individuelles. Les applications concrètes sont multiples dans de nombreux secteurs. Il s'agit donc d'intégrer cette innovation technologique tant dans l'industrie que dans les services qui sont, particulièrement dans ce domaine, intimement liés.

Il convient de maîtriser les risques, sous forme de défis à relever comme proposé, notamment à travers la normalisation, pour assurer la protection juridique des entreprises et celle de la propriété intellectuelle, la protection des utilisateurs, la protection de l'environnement avec des garanties écologiques.

Comme toute innovation, l'impression 3D a des conséquences en termes d'activités (localisables à proximité) et d'emplois. Cette mutation interpelle naturellement la recherche et le financement mais elle appelle aussi de nouvelles organisations du travail. Pour gagner en productivité, l'entreprise doit s'appuyer sur une main d'œuvre plus qualifiée. La technologie, à la portée du plus grand nombre, développe les capacités créatrices de tous les acteurs de l'entreprise, elle favorise ainsi un management plus collaboratif.

De tout cela on retient aisément que la question de la formation conditionne fortement la performance industrielle dans l'innovation technologique. Dans cette ère du numérique, il est indispensable de produire des logiciels et de savoir les utiliser.

Le groupe des associations soutient - une fois de plus - très fortement la proposition de donner le goût des sciences et de l'innovation aux jeunes. L'impression 3D offre une méthode attractive d'initier aux technologies numériques. L'école, dans toutes ses dimensions, ne peut rater cette occasion. Notre pays a besoin d'artisans, d'ouvriers, de techniciens, d'ingénieurs formés dans les domaines scientifiques - et cette qualification doit être valorisée - pour faire face à cette mutation. Il ne s'agit pas seulement de répondre à un besoin immédiat mais

de donner un niveau de culture scientifique et technique qui offre à chacun les moyens d'assumer les évolutions. De plus, dans ce domaine des sciences de l'ingénieur, le potentiel de création d'emplois pourrait bénéficier à une meilleure mixité des métiers.

Au-delà de l'entreprise, c'est la société dans son ensemble qui est interpellée par le « fabriquer soi-même » et le mouvement des *makers* qui se développe rapidement. Par une dynamique territoriale avec, par exemple au niveau local, des *Fabs-Labs* scolaires ou de quartier, le grand public s'appropriera mieux les enjeux de fabrication des entreprises. Ainsi, les préconisations de cet avis servent autant la compétitivité des entreprises que la créativité des citoyens et le discernement des consommateurs.

Le groupe des associations rend hommage au travail de le rapporteur. Il approuve l'ensemble des préconisations. Il a voté l'avis.

CFDT

Bien qu'ancienne, l'imprimante 3D reste un objet peu connu même si quelques images ou articles ont montré des réalisations soit grandioses, soit « gadgets » mais en tout état de cause qui ne donnent pas une perception de la réalité de l'utilisation de cette technique.

L'aéronautique et l'automobile sont des secteurs qui l'ont déjà intégrée dans leur modèle de production. Pour les intervenants auditionnés, l'impression 3D pourrait reconfigurer les processus de fabrication classique dans tous les domaines, sous réserve d'un écosystème favorable à son développement.

L'avis suggère des propositions en ce sens en améliorant le lien entre recherche et développement, les modes de financements, la sécurité juridique des produits, l'offre de formation et l'organisation du travail.

La CFDT approuve l'ensemble de ses préconisations. Elle insiste sur la nécessité d'anticiper les effets potentiels du développement de cette technologie, notamment pour préparer aux métiers de demain.

Des industriels déjà utilisateurs de cette technique nous ont décrit ses conséquences : prototypage virtuel avec le client, accélération dans la conception et la commercialisation, fabrication immédiate en séries et sans stock donc moins de logistique, moins de transport, moins de déchets etc. Cette évolution nécessite une montée en compétences des salariés, la transformation de la maintenance et pourrait permettre la réparation par des artisans ou par les utilisateurs eux-mêmes.

Dans quelle proportion l'impression 3D participera-t-elle de « l'usine du futur » et d'une évolution de l'artisanat ? Une nouvelle dynamique est-elle en train de naître dans les territoires ? Les *makers* - ceux qui font eux-mêmes dans les *Fab-Labs* - sont-ils les précurseurs de nouveaux types d'emplois ? Ces questions n'ont pas aujourd'hui de réponses précises.

Constatant un déficit d'informations, la CFDT a soutenu la proposition d'inviter les acteurs économiques et sociaux à utiliser les observatoires prospectifs des métiers et des qualifications pour analyser les évolutions en cours liées à toutes les technologies du numérique et adapter ainsi les politiques en matière de formation et de mutation professionnelle.

L'avis invite à suivre l'exemple de pays qui favorisent la sensibilisation à l'impression 3D dès le primaire. Cela nécessite de former les enseignants à tous les niveaux et la formation continue doit aussi permettre aux salariés concernés d'accéder à ces technologies.

Devant ces enjeux, il est urgent de redonner le goût des sciences aux élèves y compris aux filles : la mixité des emplois du numérique est une nécessité pour répondre aux besoins de l'économie du futur. En parallèle, soutenir le développement des *Fab-Labs* dans les quartiers est aussi une action susceptible de faire naître une appétence pour les métiers du numérique.

L'impression 3D ouvre une nouvelle ère dans la fabrication des objets. Elle peut participer d'une organisation du travail plus collaborative, plus créative, et de l'apparition d'un nouveau paysage industriel. Ce rapport du CESE contribue à éclairer les mutations en cours.

La CFDT approuve les préconisations de cet avis et l'a voté.

CFE-CGC

Affirmer que notre industrie a de l'avenir, c'est croire en sa capacité à rester dans la course à l'innovation, gage de performance et de haute valeur ajoutée. Ceci impose à l'ensemble des parties prenantes, collectivités territoriales incluses, de mobiliser les moyens et l'énergie nécessaires, à temps, de l'amont (les centres de recherche publics, privés), à l'aval (la production effective de biens et de services). Le tout devant s'appuyer sur des incitations à l'investissement de long terme.

L'exemple de la fabrication additive, communément appelée impression 3D, illustre parfaitement les enjeux et défis auxquels la France industrielle est confrontée : *big data*, *cloud*, objets connectés, robotique, cyber-services. La vague numérique emporte tous les secteurs et toutes les filières. Nous n'en sommes qu'au commencement et tous les jours de nouveaux usages sont inventés. D'ailleurs Michel Serre, dans un essai philosophique, *La petite poucette*, l'a pointé.

Que l'ensemble de notre appareil productif s'en saisisse n'est donc pas une option mais une incontournable nécessité offrant de nombreuses opportunités de rebond pour le développement d'activités nouvelles pouvant faciliter l'ancrage local.

Nous remercions Mme le rapporteur de porter cet avis, dont nous partageons nombre de recommandations. Nous saluons également le travail très fourni du rapport qui l'a précédé. Tous deux concourent, selon nous, à sensibiliser les acteurs, tout particulièrement la puissance publique, au risque de décrochage face aux innovations de rupture. Pas suffisamment investies et intégrées dans les modèles économiques, elles peuvent se révéler alors un handicap difficile à surmonter.

La fabrication additive, pourtant co-inventée en France et aux États-Unis, a vu ces derniers prendre le *leadership* en matière de fabrication d'équipements et de machines 3D.

Si ce marché semble désormais nous échapper, celui du logiciel en revanche est notre marque. Il doit le rester. La CFE-CGC insiste sur la normalisation qui doit être vue comme un outil stratégique au service d'une politique industrielle.

De l'apprentissage du code numérique en formation initiale dès le plus jeune âge, ou en continu pour assurer l'évolution des métiers, la formation constitue un élément-clé de cette transformation à marche forcée.

Notons que la France dispose d'écoles d'ingénieurs reconnues, performantes, s'agissant des sciences des matériaux ou de la métallurgie des poudres nécessaires à la mise en œuvre de cette technologie. C'est un atout supplémentaire, il faut le souligner.

Dans ce contexte d'opportunités mais aussi de risques forts, l'emploi et l'employabilité demeureront au cœur des préoccupations de notre organisation.

« Usine du futur », usine durable, d'une industrie acceptable et acceptée à une industrie désirée, de nombreuses étapes restent à franchir. Notre organisation insiste tout particulièrement sur la clarification et l'accélération des 34 plans industriels liés aux innovations technologiques. C'est ce que nous défendons activement dans le cadre de la CNI. De plus, la CFE-CGC tient à souligner que le modèle de la pression très agressive par les coûts des donneurs d'ordre sur les fournisseurs a montré ses limites (il existe de nombreux rapports sur le sujet), et ce au risque de fragiliser de nombreuses PME-PMI et, *in fine*, l'ensemble de filières d'approvisionnement. Dépasser cette logique pour tendre vers l'innovation collaborative, illustrée depuis peu dans la filière aéronautique, devient une voie salutaire pour l'industrie en général.

La CFE-CGC a voté cet avis, et affirme que notre pays réunit tous les ingrédients de la réussite. En attestent les filières d'excellence ou les très nombreuses *start-up* présentes, reconnues dans les salons internationaux du numérique.

Disruptive ou continue, l'innovation caractérise une nation dans sa capacité à croire en son futur, en ses nouvelles générations qui cherchent, osent, se lancent.

Alors oui, nous affirmons que notre industrie a de l'avenir, et qu'innovations technologiques et performance industrielle globale sont liées.

CFTC

En proposant ce sujet à la section des activités économiques, le rapporteur nous a permis de constater que l'impression 3D ne relevait pas du domaine prospectif mais connaissait, dans les entreprises, des applications dans des secteurs très diversifiés : aéronautique, bijouterie, jouets, ameublement, construction dans le BTP, agroalimentaire.

Mais le secteur le plus impressionnant concerne vraiment la santé. L'audition d'un chirurgien, spécialiste de la réparation faciale nous a montré l'intérêt de l'impression 3D, non seulement pour rendre un visage à un grand blessé mais surtout pour restaurer les fonctions des organes abîmés, permettant ainsi à une personne victime de traumatisme de retrouver une vie presque normale.

Cette fabrication additive présente au plan économique de véritables atouts : les matières premières utilisées le sont de manière rationnelle et sans gaspillage, elles nécessitent donc, pour de petites unités de production dans les territoires moins de stockage et moins de transport. C'est un changement véritable dans l'acte de production et une technologie qui favorisera la réparation des objets.

Le groupe de la CFTC partage l'essentiel des préconisations développées dans l'avis et choisit de commenter trois conditions qui lui apparaissent comme fondamentales au développement de l'impression 3D.

Il s'agit en premier lieu de la nécessité de former les élèves dès leur plus jeune âge aux nouvelles technologies pour préparer de nouveaux cursus adaptés au monde du travail.

La curiosité scientifique, l'appétit à créer des objets seront d'autant plus fortifiés chez les jeunes si les enseignants ont eux-mêmes été formés à l'impression 3D.

Cet enseignement doit se poursuivre dans les lycées, les CFA, les écoles d'ingénieurs en essayant d'attirer davantage de filles vers les filières scientifiques.

Dans les entreprises industrielles, dans le cadre du plan de formation, il est aussi indispensable que des modules soient proposés aux salariés pour les initier à ces nouvelles technologies.

La CFTC approuve la préconisation de l'avis incitant les banques à devenir partenaires de projets industriels. Un message de recommandation à l'AFB, autorité de tutelle, pourrait consister à demander aux banques de dédier des salariés sur une longue période aux PME. Le *turn-over* incessant constaté dans les banques démotive, en effet, les salariés et désespère les clients. La connaissance du travail des PME finirait par dissiper la peur de prêter.

Enfin, la CFTC insiste sur l'urgence d'une loi sur le numérique pour stabiliser l'environnement juridique des entreprises.

La jurisprudence viendra ensuite au fil de l'eau enrichir le droit, mais c'est au législateur qu'il appartient d'abord de se mobiliser.

La CFTC a voté cet excellent avis.

CGT

La technique d'impression 3D est loin de se résumer à un gadget innovant et amusant ! Grâce à des auditions judicieusement choisies, notre section a découvert une technique industrielle déjà expérimentée et utilisée dans de nombreux secteurs, une technique à forts potentiels susceptible, si elle est bien conduite, de bouleverser le modèle industriel productif actuel.

Le rapport fait œuvre de pédagogie pour faciliter la compréhension des enjeux liés au développement de la technique dite de production additive. Il permet de concentrer l'avis sur les préconisations pour que la France se donne les moyens d'en concrétiser les potentialités.

Partie prenante du processus numérique, cette technique permet d'utiliser des logiciels produits partout dans le monde pour des fabrications territorialisées, adaptées à des demandes locales, diversifiées, voire individualisées. De ce fait, elle est compatible avec de petites et moyennes unités de production, appuyées sur l'emploi local. Par des politiques bien conduites, la France pourrait transformer en atouts ce qui est présenté aujourd'hui comme son handicap premier : un appareil productif reposant sur des unités de taille faible. Cette technique est économe en utilisation des matières premières et en nécessités de transports, elle se prête à une meilleure réparabilité des produits. Elle participe donc des ressorts de développement de l'économie circulaire.

Si l'impact global sur le volume d'emplois est difficilement mesurable, l'avis oriente, à juste titre, ses préconisations pour un effet dynamique sur la localisation des emplois et leur développement à tous les niveaux de qualification. Il préconise de bousculer les organisations du travail et les pratiques managériales pour laisser une plus large place à la créativité des salariés, à des organisations transversales et de coopérations, touchant aussi bien les relations hiérarchiques dans l'entreprise que les relations entre entreprises. L'information et la sensibilisation du grand public sont une question clé, comme l'accessibilité de la technique aux jeunes, dès l'école, pour leur donner le goût de la science et de l'innovation.

Anticiper, accroître sur le long terme, l'effort de recherche, accélérer les plans industriels liés aux innovations, accroître la place de la France dans les processus de normalisation, développer une stratégie volontariste, l'avis ne laisse rien dans l'ombre.

Sauf peut-être la pugnacité politique nécessaire, dans la durée, à un tel changement pour dégager les moyens de tous ordres définis par l'avis, et aussi pour vaincre les obstacles, notamment ceux tenant aux choix court-termistes actuels des directions d'entreprises et à la pression permanente de la financiarisation.

La CGT a voté l'avis.

CGT-FO

Cet excellent avis sur l'impression 3D appelée aussi « production additive » constitue, aux yeux du groupe FO, un texte de référence sur le sujet. À travers un état des lieux, une présentation des principes de fonctionnement, des applications en cours et des usages possibles, ce rapport donne un nouveau coup de projecteur sur cette technologie de fabrication en plein essor et stimule la réflexion sur les perspectives et défis industriels qu'elle suscite ou pourrait provoquer. Techniquement, les possibilités de l'impression tridimensionnelle semblent illimitées et il existe une demande forte pour des usages professionnels de l'impression 3D chez les grands groupes industriels et les PME-PMI. Cette technologie compétitive séduit également les centres d'études, les ingénieurs, architectes, designers qui y voient un moyen économique d'expérimenter, tester facilement et rapidement des prototypes. Grâce à des imprimantes dont le prix baisse rapidement, les particuliers manifestent aussi un intérêt croissant, voire un engouement pour des machines qui fabriquent à domicile divers objets.

En effet, les avancées dans les procédés d'impression tridimensionnelle autorisent la fabrication d'objets de toute sorte et de très bonne résolution dans une grande variété de matériaux soit à l'usine, à l'atelier ou même à la maison. Ces techniques d'impression 3D présentent l'avantage d'offrir une plus grande liberté dans la fabrication des objets permettant d'obtenir des formes souvent très complexes possédant de nouvelles propriétés physiques (résistance, légèreté) qui n'étaient même pas envisageables et réalisables auparavant, tout en diminuant tant la quantité de matières premières utilisées, que la quantité de déchets produits par rapport aux procédés manufacturiers classiques.

Le prototypage de nouveaux produits demeure l'application commerciale la plus utilisée par l'impression 3D et concerne des pans entiers de l'industrie tels que les secteurs de la santé, de l'automobile, de l'aéronautique, du jouet, de la lunetterie, de la bijouterie et de l'horlogerie. À titre d'exemple, dans le domaine de la santé, l'impression 3D est devenue incontournable, notamment dans la fabrication de prothèses ou d'implants, les biomatériaux utilisés étant hautement personnalisables par le biais de la numérisation, permettant ainsi une adaptation idéale à la physiologie du patient. L'impression tridimensionnelle révolutionne également les traitements à l'attention des grands brûlés via la reproduction de tissus humains à partir de cellules souches, ou encore les greffes d'organes, limitant ainsi, tant les risques de rejet que les délais d'attente d'une transplantation.

Malgré l'existence de freins à l'essor de l'impression 3D, technologiques (matériaux compatibles trop peu nombreux, vitesse d'impression), économiques (coût des machines, coût des matériaux), juridiques (cadre législatif et réglementaire à définir, traçabilité et sécurité des produits, gestion de la propriété intellectuelle, piratage, etc.), cette technologie s'apprête à bouleverser les habitudes de fabrication et de consommation. L'industrie manufacturière semble donc vouée à se réinventer et à se transformer sous l'effet des nouvelles technologies de production.

S'il est pratiquement certain que l'impression 3D pourra faciliter le développement de petites industries innovantes et d'un artisanat « numérique », il est encore difficile aujourd'hui d'affirmer que cette nouvelle révolution industrielle sera une opportunité pour relocaliser la production manufacturière en France et ainsi contribuer à la réindustrialisation de notre pays. En l'absence de politique industrielle volontariste à l'époque, la France qui était dans les années 1980 pionnière dans le secteur de l'impression 3D a raté ce marché estimé, en 2014, à 1,7 milliards de dollars de chiffre d'affaires. Les États-Unis et l'Asie qui se disputent le *leadership* de l'impression 3D ont pris depuis longtemps la décision de soutenir le développement de la fabrication additive. La France ne compte aujourd'hui aucun producteur d'imprimante et il n'est pas certain qu'elle puisse rattraper son retard. Dotée en industriels de la chimie spécialistes des matériaux innovants, elle est en revanche bien placée dans la fabrication des composants chimiques de base. Pour FO, les pouvoirs publics doivent urgemment soutenir cette filière et favoriser les logiques d'écosystèmes à travers des filières regroupant l'ensemble des parties prenantes comme dans le secteur de l'aéronautique.

Cela étant, pour FO, l'introduction de ces nouvelles technologies a et aura des répercussions profondes sur l'organisation, les méthodes et procédés de travail. Celles-ci modifient profondément en termes de repères (modification de l'organisation du travail, contraintes et recours accru au temps partiel), de communication (culture de l'urgence, réduction des communications verbales), de charge de travail (accroissement de la demande, pression temporelle, flexibilité, disponibilité permanente, stress), d'exigences d'aptitudes (polyvalence des opérateurs et banalisation des tâches), de rémunération des découvertes, inventions et créations réalisées par le salarié. Il est donc primordial, pour FO, de regarder l'impact des contraintes potentielles sur les salariés de l'introduction des nouvelles technologies et ce, dès à présent.

Enfin, pour Force Ouvrière, les entreprises françaises ne pourront pas tirer parti de ce relais de croissance que pourrait constituer la troisième révolution industrielle annoncée si les salariés continuent à être perçus comme un coût.

Le groupe Force Ouvrière, tout en saluant le travail de le rapporteur, souhaite que cet avis fasse forte impression. Il l'a voté.

Coopération

L'étude de l'impression 3D illustre parfaitement comment une technologie nouvelle peut avoir, en synergie avec d'autres, un impact majeur sur notre modèle économique. L'avis offre un panorama très complet des opportunités et risques liés à l'introduction de la technologie (ou des technologies) de l'impression 3D, en particulier sur trois points.

Le premier porte sur la compétitivité de la France. Nos laboratoires de recherches et nos entreprises, en particulier les PME, sont souvent à l'initiative du développement des technologies sans que nous soyons au rendez-vous de leur valorisation commerciale. Ce constat est une nouvelle fois dressé concernant l'impression 3D. Il convient d'amplifier encore nos efforts en termes de politique industrielle, et le groupe soutient pleinement la demande de l'avis d'une clarification sur les 34 plans industriels dont « l'usine du futur ».

En deuxième lieu, le groupe de la coopération est particulièrement attentif à l'impact sur l'emploi de la diffusion de cette technologie. Il semble que les conséquences soient extrêmement incertaines. Il est probable que des mutations en termes de localisation des

activités aient lieu. Il est par ailleurs certain que cette technologie participe et participera à transformer les compétences recherchées dans l'industrie, en accélérant encore la nécessité de l'élévation des qualifications. L'enjeu de la formation initiale comme professionnelle doit être à nouveau souligné comme un des premiers leviers de compétitivité de notre pays. Il est impératif de poursuivre sur le long terme l'investissement éducatif, et d'être en capacité d'inventer également des modes d'éducation et de formation adaptés au monde de demain.

Le dernier point porte sur la transformation des modes d'organisations économique, à la fois entre les entreprises, dans les filières, entre donneurs d'ordre et sous-traitants, et dans les entreprises avec des modes nouveaux d'organisation du travail. Le travail conduit rejoint ici les enjeux pointés par l'avis adopté par le CESE sur *Performance et gouvernance des entreprises*.

Nous projetons souvent notre monde futur comme une simple évolution de notre réalité présente. Cet avis nous accompagne dans l'exercice de penser la transformation de notre système économique au sens le plus large.

Le groupe de la coopération a voté en faveur de l'avis.

Entreprises

La systématisation de l'impression 3D fait partie des révolutions technologiques qui sont en mesure de bouleverser notre quotidien. Même si cette révolution n'est pas forcément perceptible par le grand public, elle est de nature à changer profondément les modes de consommation et le modèle économique auquel nous sommes habitués.

La fabrication additive a des conséquences dans de nombreux domaines :

- elle permet de passer d'une production de masse à de petites séries personnalisables ;
- elle va raccourcir considérablement les délais de fabrication et peut permettre une relocalisation de la fabrication si elle rencontre un écosystème favorable ;
- elle permet des économies de matières premières en utilisant seulement ce qui est utile à la fabrication et évite ainsi le gaspillage ;
- elle va avoir des conséquences sur l'organisation du travail en permettant des liens plus directs entre innovation, conception et réalisation des productions ;
- enfin, elle va amplifier les tendances actuelles telles que l'*open source* ou le « *faire les choses soi-même* » et gommer ainsi les frontières entre l'activité purement personnelle et la création d'entreprises, notamment artisanales.

La France, par son expertise dans le domaine du numérique, peut profiter de ce marché en croissance pour peu que l'appropriation de cette technologie progresse, notamment dans les TPE/PME. Le déficit d'information aujourd'hui constaté doit se résorber si nous souhaitons devenir des leaders dans ce domaine.

L'impression 3D doit gagner en visibilité, donner lieu à un développement de nouvelles compétences professionnelles dans les écoles d'ingénieurs mais aussi au sein des universités régionales des métiers et de l'artisanat.

Pour éviter d'être distancés par d'autres pays qui sont aujourd'hui en avance sur nous, il est important de prendre dès maintenant les mesures qui s'imposent. Nous en citerons quatre qui nous paraissent être les plus importantes :

- réaliser une meilleure synergie entre recherche privée et publique ;

- rendre les dispositifs de valorisation de la recherche plus lisibles ;
- doter BPIFrance de moyens humains et financiers suffisants pour qu'elle puisse jouer tout son rôle dans ce domaine ;
- enfin, il faut que les collectivités locales, en lien avec les partenaires locaux, puissent lancer des fonds de développement de l'innovation pour renforcer l'ancrage local des activités.

La bataille pour le développement de la 3D dans notre pays passera aussi par une bonne information juridique des entreprises et une présence accrue de celles-ci dans les comités de normalisation. Ne pas permettre à tous les acteurs d'intégrer efficacement les instances qui créent la norme serait une faute majeure. Les branches professionnelles ont un rôle primordial à y jouer.

Presque tous les champs de l'économie sont concernés par cette révolution. Riche de ses talents, de ses filières de formation et de l'expertise de ses entreprises, la France doit accompagner et prendre un rôle de leader. Aucun secteur d'activité ne sera en dehors de ces changements. Depuis la plus petite prothèse sur mesure à la fabrication en série de maisons, l'impression additive va entrer de plus en plus dans notre vie de citoyen et de consommateur.

Le travail mené par Renée Ingelaere sur ce thème est remarquable. Son avis est court, précis, extrêmement bien documenté et permet d'éclairer les membres de notre assemblée sur cette révolution qui n'en est qu'à ses débuts. Ses recommandations sont celles de quelqu'un qui connaît parfaitement le sujet et le groupe des entreprises s'y associe totalement.

Pour toutes ces raisons, le groupe des entreprises a voté cet avis.

Environnement et nature

L'innovation est parfois considérée comme pouvant répondre à tous les problèmes par certains et jugée comme accessoire par d'autres. L'impression 3D est un bon exemple de cette dualité.

Si l'impression 3D n'a pas vocation à remplacer les modèles de production classiques, elle peut néanmoins remettre en question certains fondements et offrir de réelles opportunités pour la fabrication en petites séries.

En effet :

- alors que traditionnellement il est nécessaire de produire en masse pour obtenir des prix compétitifs, l'impression 3D permet de répondre aux besoins réels en termes de quantité, et donc – en théorie – peut éviter la surproduction ;
- alors que la fabrication classique de biens engendre des « chutes » des pertes de matières, l'impression 3D, dite additive, évite ce gaspillage et peut réduire jusqu'à 40 % les besoins de matières ou d'énergie ;
- alors que les usines de production sont majoritairement délocalisées, l'impression 3D peut être installée près des besoins de consommation dans les territoires ;
- enfin, alors que certains produits sont non réparables - entre autres par manque de mise à disposition de pièces détachées par les producteurs -, l'impression 3D pourrait permettre de développer une nouvelle filière de réparation et ainsi lutter contre l'obsolescence programmée et être source de création d'emploi.

Le groupe Environnement et nature veut aussi soutenir l'idée que la France a toute capacité à se positionner sur la création et le développement de nouveaux matériaux – particulièrement à partir de matières recyclées.

Bien sûr, ces potentiels requièrent des points de vigilance et des nouvelles compétences qui sont en partie soulignés dans l'avis. Le groupe Environnement et nature est particulièrement sensible :

- aux enjeux de santé car les matières utilisées actuellement sont essentiellement des plastiques et la méthode de fabrication additive peut engendrer l'émanation de composés organiques volatiles lors du chauffage ;
- à la nécessité d'éco-concevoir les produits fabriqués pour qu'ils puissent intégrer les cycles de réparabilité, de recyclabilité.

Nous espérons que la visibilité offerte à l'impression 3D par cet avis permette aux différents acteurs de mieux coopérer pour développer à bon escient son potentiel et ainsi donner du sens au progrès.

Tout en regrettant qu'une vision prospective n'ait pas été plus développée, le groupe Environnement et nature a voté cet avis.

Mutualité

L'imprimante 3D, tout comme les objets connectés, fait partie des technologies liées au numérique qui nous interroge sur notre modèle économique, les mutations technologiques et plus globalement sur ses conséquences sociétales.

Longtemps considérée comme « gadget » l'impression 3D semble avoir trouvé une véritable opportunité de croissance notamment dans le domaine médical : en effet, elle semble en voie de s'imposer comme l'un des piliers de la médecine de demain.

Si la fabrication par impression 3D de dispositifs médicaux comme les prothèses orthopédiques est courante depuis plusieurs d'années, certaines applications fortement médiatisées constituent un exploit scientifique et suscitent de grands espoirs dans le domaine médical.

Ainsi, parmi les applications les plus attendues figurent la fabrication d'organes ou le *bio-printing* : la fabrication par impression 3D d'organes vitaux (rein, cœur...) à partir des cellules souches du patient. Cette perspective offrirait la possibilité de contourner deux difficultés : la carence de dons d'organes et le rejet des organes implantés.

Le groupe de la mutualité ne peut qu'encourager la recherche dans ce domaine d'autant plus qu'elle viserait à améliorer la qualité des soins apportés aux patients.

Cependant, il rappelle que les exigences de santé publique imposent une vigilance accrue en matière de sécurité et de qualité des dispositifs médicaux qui seraient fabriqués par impression 3D. Comme l'avis le rappelle, l'avis du CESE sur les dispositifs médicaux avait formulé des préconisations dans ce sens.

Pour notre groupe, il est également important de prendre en compte les impacts écologiques et de santé liés à ce mode de fabrication. Si d'un côté l'impression 3D permet des gains de matières premières, de temps et de transport, il peut exister des risques pour la santé liés à l'émission de particules émises lors de l'impression et le dépôt de matières plastiques qui peuvent être dangereuses si elles sont inhalées.

Au-delà de la révolution technologique, l'impression 3D, et plus largement les technologies numériques, comme le souligne justement l'avis, modifie nos rapports à l'acte de produire, de consommer et d'innover. Les nouvelles manières de « faire ensemble » à travers notamment les *Fab-Labs* qui permettent l'accès direct aux imprimantes 3D développent en effet de nouvelles formes collaboratives et de partage.

Cette culture de l'innovation et l'apprentissage de démarches collaboratives doivent non seulement intervenir très tôt dans le cursus scolaire mais plus largement irriguer l'ensemble de la population.

Enfin le groupe de la mutualité soutient les préconisations de l'avis visant la valorisation et le soutien des entreprises françaises dont les potentiels notamment dans le domaine des logiciels et de la recherche sont réels. La question du financement de l'innovation rejoint ici les préoccupations soulevées dans l'avis sur les dispositifs médicaux et notamment la place de Bpifrance.

Le groupe de la mutualité a voté l'avis.

Organisations étudiantes et mouvements de jeunesse

L'avis illustre, avec l'exemple de l'impression 3D, les enjeux d'adaptation de notre industrie aux nouveaux paradigmes techniques et plus globalement notre capacité à y intégrer l'innovation. Si l'impact potentiel de cette technologie sur nos modes de production et nos modèles économiques est évoqué, les fortes incertitudes qui demeurent aujourd'hui sur son usage réel dans les différents secteurs et l'absence de visibilité nous laissent cependant un peu sur notre faim.

Parmi les freins à l'intégration de cette innovation dans notre économie, l'avis déplore la désaffection des jeunes à l'égard de la science et de ses métiers et souligne en particulier l'enjeu de la mixité des métiers de l'informatique et du numérique. Nous avons déjà eu l'occasion de soulever ces enjeux dans un précédent avis du CESE dans lequel nous avons pu observer que l'enseignement supérieur était loin d'échapper aux enjeux de non mixité. Alors que la majorité des étudiants sont des filles et que leur taux de scolarisation dans l'enseignement supérieur est supérieur à celui des garçons, les étudiantes demeurent sous-représentées dans les filières les plus sélectives. Ce différentiel est particulièrement marqué dans les formations d'ingénieur, secteur particulièrement déséquilibré.

Il nous faut être particulièrement vigilant quant aux enjeux d'orientation qui demeurent le facteur prépondérant de la mixité des métiers. C'est la logique d'orientation française elle-même qu'il s'agit de questionner. En multipliant les paliers de sélection à chacun des niveaux dans une volonté assumée d'écramer, et en permettant encore trop peu de passerelles, elle constitue également un frein à la progression de la mixité.

L'avis montre bien de quelle façon le développement de cette technologie s'inscrit dans le cadre de la nouvelle économie numérique et dans quelle mesure elle s'accompagne de pratiques de création et de développement qui lui sont propres. On voit bien notamment l'importance de disposer de structures légères et de moyens permettant l'expression de la créativité de chacun. Dans le récent avis de notre assemblée sur le développement de la pédagogie numérique nous avons déjà souligné l'importance de développer les *Fab-Labs*,

en particulier au sein des universités, et de soutenir les projets portés par les étudiants. Nous réitérons cette recommandation.

Le groupe des organisations étudiantes et mouvements de jeunesse a voté en faveur de cet avis.

Personnalité qualifiée

Mme de Kerviler : « Je voudrais tout d'abord remercier Renée Ingelaere d'avoir proposé à la section d'étudier l'impression 3D, dont nous avons tous entendu parler mais sans bien en cerner le potentiel industriel.

Je commencerai par aborder l'impact de cette nouvelle technologie sur le goût des sciences et sur l'innovation. Puis, je soulignerai pourquoi la BPI doit financer les PME qui œuvrent dans ce secteur. Enfin, je conclurai sur l'incertitude juridique qui règne autour de l'impression 3D.

1. Tout d'abord l'impact sur le goût des sciences et sur l'innovation

Dans son avis sur la compétitivité, le CESE avait rappelé que les métiers scientifiques et techniques faisaient l'objet d'une réelle désaffection dans notre pays. Or, la création d'objets personnalisés à l'aide de l'impression 3D permet de donner un aspect ludique à cette technologie et devrait susciter des vocations scientifiques chez les jeunes. Par ailleurs, l'impression 3D a la capacité de libérer l'innovation. En effet, elle permet de fabriquer des objets en quelques semaines et non plus en quelques mois. Elle permet de baisser considérablement le montant de l'investissement initial, qui est divisé au moins par 100 par rapport à l'investissement dans l'industrie traditionnelle. Elle permet, enfin, d'accroître la diversité des objets qui nous entourent.

Passons maintenant au financement.

2. Pourquoi la BPI doit investir dans ce secteur?

L'impression 3D a été inventée la même année (1984) en France et aux USA. Or, en 2014, les USA représentent 38 % du total des imprimantes 3D installées dans le monde et la France 3 % ! Dans la fabrication des machines, après le rachat en 2013 de la société française Phénix System par le groupe américain 3D Systems, la France ne compte plus que le groupe Gorgé, via sa filiale Prodways, et une *start up* alsacienne. Alors que la France a des atouts importants en matière de logiciels (avec un leader mondial - Dassault System) et en matière de services, il faut éviter que les jeunes entreprises ne soient rachetées avant d'atteindre le stade des ETI. Pour ce faire, des financements par la BPI sont très importants. En effet, en tant qu'actionnaire, la BPI serait informée de toute cession potentielle et pourrait éviter que des jeunes « fleurons » de l'industrie française soient achetés par des pays concurrents.

Je conclurai sur l'incertitude juridique, qui est un autre gros enjeu de ce secteur. Cette insécurité est très forte du fait de l'apparition de nouveaux acteurs dans la chaîne de production, ce qui dilue les responsabilités.

Certes, comme le dit le projet d'avis, la jurisprudence va clarifier progressivement le cadre juridique. Mais je pense que - si nous voulons voir l'impression 3D se développer en France - nous devrions demander aux juristes spécialisés dans la propriété littéraire et industrielle de travailler sur ce sujet et d'anticiper les réponses qui pourraient être apportées par les magistrats.

Je voterai, bien sûr, pour le projet d'avis ».

Professions libérales

La fabrication additive, autrement appelée impression 3D, est une technologie qui connaît un véritable enthousiasme. Si les produits fabriqués aujourd'hui sont essentiellement des maquettes et des prototypes, des produits de consommation à la demande et des pièces industrielles en plastique, une extension du champ des applications est envisagée, entre autres, pour les moules et outils industriels, les pièces industrielles en métal, les prothèses et implants ou encore des tissus biologiques vivants etc. Demain est prévue la fabrication de machines et de véhicules entiers, y compris pour l'exploration spatiale, ou encore d'organes humains fonctionnels. Le champ est vaste et c'est ce que nous rappelle l'avis.

L'utilisation médicale est particulièrement intéressante. La fabrication de prothèses auditives ou dentaires en sont l'exemple le plus connu. L'audition du Professeur Devauchelle, concernant la reconstruction faciale, était à ce titre très instructive. Il a rappelé qu'après avoir permis la création des premiers objets anatomiques, l'impression 3D permet aujourd'hui la chirurgie reconstructrice, non seulement en redonnant un visage mais aussi une véritable identité au patient, avec ses propres expressions, ou encore en redonnant - autre exploit - la sensibilité du toucher, en recréant des cellules, des tissus, voire des organes entiers. Demain, fabriquer la peau sera possible.

Tout cela n'est pas sans risque juridique ! L'impression 3D est un nouvel outil au service des créateurs mais aussi des éventuels contrefacteurs. En permettant de fabriquer et donc de répliquer en trois dimensions tout objet physique existant, l'impression 3D impacte le droit d'auteur, mais également la propriété industrielle que sont les brevets, les dessins et modèles, les marques etc. Le spectre est large. L'impression 3D n'entraînera pas de révolution juridique puisque les titulaires de droits et de titres de propriété intellectuelle bénéficient déjà d'armes légales et jurisprudentielles adéquates pour y répliquer de manière efficiente. En revanche, elle nécessitera des adaptations : il faut repenser ou réinventer les exceptions de copies ou d'usages privés, afin d'éviter les erreurs commises dans le passé concernant les domaines musicaux, cinématographiques et audiovisuels.

De façon générale, l'arsenal légal est bien adapté. Mais il faudra préciser ou adapter les conditions de la mise en œuvre de la responsabilité civile et pénale. Les systèmes de prévention et de répression des fraudes devront eux aussi évoluer. Sans oublier d'autres problématiques juridiques nouvelles, en particulier la responsabilité du fabricant ou encore le statut de l'hébergeur.

D'ores et déjà, les perspectives laissent supposer que cette technologie va changer radicalement la donne pour des pans entiers de l'industrie, nous devons, pour être prêt, faire des efforts importants en matière de recherche et développement. Il nous faut être très prudent quant à l'effet globalement positif à attendre pour l'emploi même s'il est évident que des besoins apparaissent en termes de nouvelles compétences. Cette innovation technologique nous rappelle notre insuffisance des formations alors que se fait sentir un besoin en ressources humaines qualifiées pour ces nouveaux métiers. En voulant encourager la culture de l'innovation et adapter la formation permanente aux nouveaux métiers, l'avis plaide en ce sens.

Le groupe des professions libérales l'a voté.

UNAF

L'impression 3D présente tous les aspects d'une « technologie de rupture » capable de bouleverser des pans entiers de notre industrie mais aussi de notre vie quotidienne. Le présent avis permet d'en appréhender ses multiples facettes. L'impression 3D cultive des avantages : c'est une force pour la réindustrialisation, elle repousse les limites de la créativité par son alliance avec internet, elle permet de se réappropriier l'innovation des produits par leur singularité, leur originalité.

Pourtant, pour le groupe de l'UNAF, cette troisième révolution industrielle, annoncée par certains, doit être accompagnée pour bénéficier aux familles et pour que les plus jeunes soient associés à cette nouvelle ère industrielle.

L'exemple de l'Angleterre et de la Chine sont à souligner avec intérêt. En octobre 2013, le Ministre de l'éducation britannique a annoncé l'ajout de l'impression 3D aux programmes scolaires avec l'objectif de sensibiliser les plus jeunes à ces nouveaux outils de fabrication. Depuis la rentrée 2014, des dizaines d'écoles en Angleterre se sont équipées et forment dorénavant leurs élèves aux imprimantes 3D. La Chine, quant à elle, a créé en 2014 à Canton la première école exclusivement dédiée à cette nouvelle technologie.

En France, cette année, le campus Arts et Métiers de Lille vient d'ouvrir une formation à l'impression 3D destinée aux chefs d'entreprise, aux salariés et aux demandeurs d'emploi. L'enjeu est clairement affiché de permettre aux PMI/PME de rester compétitives et de maîtriser l'impression 3D.

L'effort d'éducation en France doit être accéléré pour faciliter la rencontre des jeunes avec ces nouvelles technologies. Cela nécessite que les écoles s'équipent pour permettre aux jeunes de s'exercer avec les outils qu'ils retrouveront ensuite dans l'entreprise facilitant ainsi l'accès à l'emploi.

Le groupe de l'UNAF partage donc la recommandation de voir expérimenter un programme ambitieux en France à l'image de l'initiative anglo-saxonne.

Deuxième point sur lequel le groupe de l'UNAF veut insister : les atouts de l'impression 3D pour la santé des Français. En effet, le domaine de la santé n'a pas tardé à s'approprier ces technologies. L'opportunité de délivrer des traitements personnalisés, sur mesure, est perçue comme l'une des meilleures voies d'amélioration de l'efficacité thérapeutique. 100 % des prothèses auditives sont faites par impression 3D. Si imprimer des organes tels que le cœur ou le rein reste du domaine du rêve en raison de leur complexité, la recherche médicale alliée à l'impression 3D permet d'envisager les premiers essais cliniques à moyen terme pour des tissus plus simples tels que la cornée, la peau ou l'os.

Le groupe de l'UNAF a voté l'avis.

UNSA

L'avis qui nous est soumis aujourd'hui pourrait très bien illustrer, s'il en était besoin, l'utilité de notre assemblée. Sur un thème qui pourrait apparaître particulièrement ardu car très technologique, et donc réservé aux seuls spécialistes, l'avis s'est attaché à expliciter les contenus, mais aussi les problématiques et les enjeux que la fabrication additive ouvre, avant de formuler un certain nombre de recommandations pratiques pour ne pas en rester au constat.

Pour réussir cet exploit, il aura fallu beaucoup de travail et un souci pédagogique constant. C'est, pour l'UNSA, une réussite et nous tenons à en remercier le rapporteur ainsi que les personnels du CESE qui l'ont épaulée.

L'impression 3D est un excellent vecteur pour démontrer les potentialités économiques que l'innovation numérique peut apporter de façon générale mais aussi la façon dont elle peut renouveler les problématiques industrielles, sociales ou sociétales, voire, parfois, les bouleverser, appelant à adapter des réponses ou même, carrément, à en construire d'inédites.

L'impression 3D n'en est plus, si l'on se réfère à l'échelle désormais très raccourcie du temps de l'innovation technologique, depuis longtemps au stade expérimental. Elle a déjà commencé à atteindre le stade industriel. Et, parce que c'est une technologie du 21^{ème} siècle, elle se joue d'emblée sur le terrain mondial.

Dans quelle mesure ira-t-elle au bout de ses potentialités ? Il est impossible de le dire et l'avis a raison de conserver une certaine prudence sur ce point en observant que ses secteurs d'application resteront sans doute limités. Mais la prudence ne doit pas empêcher de comprendre que, si le train de la fabrication additive est parti, il est encore possible que l'économie française, ses entreprises comme ses salariés, soient bien dans ses wagons, voire dans ses locomotives, dans des domaines où notre compétitivité est certaine comme celui des logiciels, des services et des matériaux.

Comme toutes les technologies, l'impression 3D n'est pas riche que de ce qu'elle permet matériellement de produire, même si elle ouvre vraiment un nouveau champ des possibles en la matière. Elle offre également cette capacité à répondre en même temps à des questions aussi fondamentales que celle de la localisation des emplois sur le territoire national, que celle aussi d'une nouvelle organisation du travail ou encore d'un circuit de qualification professionnelle à penser et à construire. Elle offre aussi, pour notre société et ses citoyens, des opportunités pour construire de l'initiative et du coopératif, donc de l'autonomie, à travers une technologie de fabrication qui, certes, intéresse les entreprises mais aussi le citoyen « lambda » à travers les *Fabs-Labs*.

Si cet avis informe et donc sensibilise, et c'est, pour l'UNSA, une véritable vertu, il ouvre aussi des pistes par ses recommandations. Certaines sont forcément générales dans un domaine où les citoyens, mais aussi les acteurs économiques, sociaux et environnementaux, sont très loin de maîtriser massivement les enjeux posés.

D'autres sont plus précises et opérationnelles. Parmi celles-ci, on peut citer les préconisations qui touchent au niveau européen, celles qui concernent les politiques éducatives et de formation ou encore celles qui appellent à des politiques publiques résolues quant au cap stratégique industriel et de recherche à tenir.

L'UNSA a donc voté l'avis.

Scrutin

Scrutin sur l'ensemble du projet d'avis
présenté par Renée Ingelaere, rapporteur

Nombre de votants	170
Ont voté pour	168
Se sont abstenus	2

Le CESE a adopté.

Ont voté pour : 168

<i>Agriculture</i>	Mme Bernard, MM. Ferey, Giroud, Pelhate, Roustan, Mme Sinay, M. Vasseur.
<i>Artisanat</i>	Mme Amoros, MM. Bressy, Crouzet, Mmes Foucher, Gaultier, MM. Griset, Le Lann, Liébus.
<i>Associations</i>	M. Allier, Mme Arnoult-Brill, MM. Charhon, Da Costa, Mme Jond, M. Leclercq, Mme Prado.
<i>CFDT</i>	M. Blanc, Mme Boutrand, MM. Cadart, Duchemin, Gillier, Mmes Hervé, Houbairi, MM. Le Clézio, Mussot, Mme Nathan, M. Nau, Mmes Nicolle, Pajères y Sanchez, Prévost, M. Ritzenthaler.
<i>CFE-CGC</i>	M. Artero, Mmes Couturier, Couvert, MM. Dos Santos, Lamy, Mme Weber.
<i>CFTC</i>	M. Coquillion, Mme Courtoux, M. Louis, Mme Parle.
<i>CGT</i>	Mmes Crosemarie, Dumas, M. Durand, Mmes Farache, Hacquemand, MM. Mansouri-Guilani, Marie, Michel, Naton, Teskouk.
<i>CGT-FO</i>	Mme Baltazar, MM. Bellanca, Bernus, Mme Boutaric, MM. Chorin, Lardy, Mme Millan, M. Nedzynski, Mme Nicoletta, M. Peres, Mme Perrot, MM. Pihet, Porte, Mme Thomas, M. Veyrier.
<i>Coopération</i>	M. Argueyrolles, Mme de L'Estoile, M. Lenancker, Mmes Rafael, Roudil, M. Verdier.
<i>Entreprises</i>	MM. Bailly, Bernasconi, Mmes Castera, Coisne-Roquette, Dubrac, Duhamel, Duprez, Frisch, M. Gailly, Mme Ingelaere, MM. Jamet, Lebrun, Marcon, Mariotti, Mongereau, Pottier, Mmes Prévot-Madère, Roy, M. Schilansky, Mme Vilain.
<i>Environnement et nature</i>	MM. Beall, Bonduelle, Bougrain Dubourg, Mmes de Béthencourt, Ducroux, MM. Genest, Genty, Guérin, Mmes de Thiersant, Laplante, Mesquida, Vincent-Sweet, M. Virlouvet.
<i>Mutualité</i>	MM. Andreck, Davant, Mme Vion.
<i>Organisations étudiantes et mouvements de jeunesse</i>	M. Dulin, Mmes Guichet, Trelle-Kane.
<i>Outre-mer</i>	MM. Budoc, Janky, Kanimoa, Osénat, Mmes Romouli-Zouhair, Tjibaou.

<i>Personnalités qualifiées</i>	M. Bailly, Mme Ballaloud, Brishoual, Brunet, Cayet, Chabaud, M. Delevoye, Mmes Dussaussois, El Okki, Flessel-Colovic, Fontenoy, MM. Fremont, Geveaux, Mmes Gibault, Grard, Graz, Hezard, M. Jouzel, Mme de Kerviler, M. Le Bris, Mme Levoux, M. Martin, Mmes de Menthon, Meyer, M. Obadia, Mme Ricard, M. Richard, Mme du Roscoât, MM. Soubie, Terzian, Urieta.
<i>Professions libérales</i>	MM. Capdeville, Gordon-Krief, Mme Riquier-Sauvage.
<i>UNAF</i>	Mme Basset, MM. Damien, Farriol, Feretti, Fondard, Joyeux, Mmes Koné, Therry, M. de Viguerie.
<i>UNSA</i>	MM. Bérille, Grosset-Brauer.

Se sont abstenus : 2

<i>Personnalités qualifiées</i>	MM. Hochart, Khalfa.
---------------------------------	----------------------

Rapport

Innovations
technologiques
et performance
industrielle globale :
l'exemple de
l'impression 3D

présenté au nom de la section des activités économiques

par Mme Renée Ingelaere

Rapport

Introduction

Entrée de plein pied dans la mondialisation, bousculée par le cycle accéléré du renouvellement des produits et des processus induits par l'innovation, la France parvient difficilement à adapter son modèle productif aux nouveaux déterminants de la croissance et de la demande mondiale. Comme l'attestent les classements internationaux, les performances du système d'innovation placent la France derrière les économies les plus innovantes².

Le fort potentiel en ressources scientifiques et technologiques de la recherche publique ne trouve pas suffisamment le chemin de la valorisation dans les entreprises vers le marché et la création d'emploi.

Or, la dynamique de la mondialisation se caractérise très précisément par un basculement dans un monde de haute valeur ajoutée tiré par l'innovation, définie comme cette capacité « à porter le nouveau, à changer les paradigmes technologiques, organisationnels, économiques, sociétaux »³, apte à transformer les économies et les sociétés, à modifier les futurs. Cette dynamique de fond entraîne de profondes mutations.

Au cœur de ce vaste mouvement, nos économies et, plus généralement, nos sociétés sont confrontées à l'émergence de technologies disruptives, issues de la grande vague d'innovation qui bouleverse déjà nos vies quotidiennes de citoyens, la vie professionnelle et notre appareil de production. Elles structurent les stratégies de redéploiements industriels à venir et leur performance. Elles sont l'enjeu des prochaines batailles concurrentielles et de compétitivité entre économies développées et émergentes.

Quelles sont-elles ? Une étude prospective à 2025⁴ définit plusieurs technologies comme autant de ruptures dont l'impact est susceptible de transformer profondément des pans importants de l'économie. Une majorité de ces technologies sont et seront issues du domaine du numérique. Plusieurs d'entre elles sont reprises dans un récent rapport sur « la transformation numérique de l'économie française »⁵. Il s'agit de l'internet mobile, de l'internet des objets, du *cloud computing*, du *big data*, de l'automatisation des métiers du savoir, de la robotique de pointe, des matériaux avancés et de l'impression 3D.

L'enjeu majeur à venir se situe autour de la maîtrise des compétences, de l'invention d'usages inédits et de la transformation des entreprises et de leurs organisations face au développement du numérique.

2 Le *Global Innovation Index* (Johnson Cornell University, INSEAD, WIPO) classe ainsi la France au 22^e rang mondial et au 10^e rang de l'Union européenne. Quant à la Commission européenne, son « Tableau de bord de l'innovation » 2014 situe la France à la 11^e place de l'UE, juste au-dessus de la moyenne de l'Union.

3 Jean-Luc Beylat et Pierre Tambourin, *L'innovation, un enjeu majeur pour la France*, Ministère du Redressement productif et Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche, avril 2013.

4 McKinsey France, *Industrie2.0. Jouer la rupture pour une Renaissance de l'industrie française*, novembre 2013.

5 Philippe Lemoine, *La nouvelle grammaire du succès - La transformation numérique de l'économie française*, rapport au gouvernement, novembre 2014.

Raison de plus pour s'emparer du foisonnement de ces technologies, maîtriser leur développement et leurs usages et dépasser nos faiblesses que tant de rapports et d'études ont identifiées, qu'il s'agisse de la dégradation continue de notre compétitivité industrielle, de la vulnérabilité des secteurs exposés à la concurrence mondiale, de la baisse de rentabilité de nos entreprises, de l'inadaptation de notre système de formation et du niveau du chômage.

*

L'impression 3D ou fabrication additive - deux termes aujourd'hui utilisés indifféremment - est née il y a une trentaine d'années et correspond aux « *procédés par ajout de matière consistant à fabriquer directement des pièces à partir d'un modèle numérique 3D sans recourir à un outillage* »⁶. Elle s'est développée progressivement pour figurer aujourd'hui, pour certains, comme l'une des technologies disruptives phare de la nouvelle croissance. Permettant de transformer l'information numérique pour produire toute sorte d'objets complexes qu'il est impossible à fabriquer selon les procédés industriels traditionnels, l'impression 3D séduit au-delà des chercheurs et des entrepreneurs, des millions d'utilisateurs individuels dans le monde.

Sa maîtrise résume l'équation que l'économie française doit résoudre pour bénéficier de cette nouvelle croissance fondée sur l'articulation entre innovations technologiques et performance industrielle, le respect des ressources naturelles et l'évolution des modes de consommation.

L'impact du numérique et des technologies qui en sont issues sur le cycle de production et sur sa performance préfigure un véritable changement de paradigme. Toutes les étapes du cycle sont concernées et le client final y trouve une place centrale. Il a la possibilité désormais, par les technologies, de s'emparer des capacités de production. C'est le mouvement des *Makers*, parfaitement illustré par le déploiement des usages de l'impression 3D. Parmi les trois leviers de la stratégie produit de l'entreprise, à savoir prix bas, innovation continue (performance), offre personnalisée (« intimité du client »), cette dernière revêt une importance tout particulière.

Face à une telle mutation économique, technologique et sociétale, il convient de s'interroger sur :

- les choix de politique industrielle et d'innovations technologiques que les décideurs publics doivent opérer, afin d'en faire bénéficier l'économie et la société, en termes de nouvelle croissance et d'emploi. Or, il est difficile d'identifier aujourd'hui les nouveaux produits, services, ou les nouvelles technologies qui émergeront dans les années à venir. Cela nécessite un travail d'anticipation des besoins futurs et nouveaux des populations, ainsi que des nouveaux marchés. Il convient alors d'explorer plusieurs trajectoires, d'entretenir les compétences dans plusieurs domaines et de gérer cette complexité ;
- le degré d'acceptabilité de l'économie et de la société vis-à-vis de ces profondes mutations ;
- la nouvelle organisation productive découlant de la mise en œuvre et du développement de ces innovations et donc le visage de l'usine du futur ;
- les nouvelles compétences requises et la structure de l'emploi engendré.

6 Définition de l'*International Organization for Standardization* (ISO), cf. *infra*.

À travers l'exemple de l'impression 3D, le présent rapport propose d'aborder ce changement de paradigme et d'analyser ses conséquences à la fois sur le système de production industrielle, sur les métiers et l'emploi et sur les usages, plaçant « le client-fabriquant », c'est-à-dire les *Makers*, dans la chaîne de fabrication de nouveaux produits.

Il ambitionne de souligner la rupture que pourrait introduire l'impression 3D et l'ampleur de ses applications. Plusieurs types d'enjeux peuvent alors être définis :

- les enjeux géoéconomiques et géopolitiques sont liés à la conquête technologique et celle des marchés. Quelle est aujourd'hui la place de la France, qui fut pionnière en ce domaine ? L'analyse des dépôts de brevets dans le domaine de l'impression 3D montre que les États-Unis semblent détenir l'avantage compte tenu du nombre de brevets et du nombre de pays d'application de ces brevets. La Chine apparaît comme le premier déposant dans ce domaine⁷ ;
- les enjeux productifs sont liés à la capacité des acteurs économiques à promouvoir et mettre en œuvre une telle technologie pour transformer profondément l'organisation productive et les relations au marché du plus grand nombre de filières concernées et ouvrir de nouvelles voies d'innovation et de création de richesse : se placer en quelque sorte en « empathie » permanente avec la demande du marché ;
- les enjeux juridiques et de sécurité sont révélés par le bouleversement des usages induits par la socialisation de la technologie et en particulier par les pratiques du « client-fabriquant ». Il s'agit des questions inédites de droit de propriété intellectuelle et industrielle et de sécurité des produits ;
- les enjeux sociaux sont ceux liés à la mise en œuvre et à la diffusion des technologies disruptives. Elles bouleversent les modes actuels de production, les modèles économiques, réduisent le plus souvent le volume des emplois, modifient sensiblement les qualifications professionnelles, et rendent inopérant à la fois les organisations et les compétences qu'il convient de repenser entièrement. L'accompagnement du changement, l'innovation collaborative, la prospective des nouveaux métiers qui en découle, la réponse en terme de formation tant initiale que continue deviennent des enjeux majeurs ;
- les enjeux écologiques sont liés à l'utilisation de la matière et à la consommation d'énergie ;
- les enjeux financiers sont liés à l'attitude de l'appareil bancaire, lui-même assez hostile à l'égard de la prise de risques, surtout en relation avec des innovations ;
- un dernier enjeu concerne plus largement la relation de notre pays à l'innovation et à la prise de risque. Or, l'innovation, par définition, s'accompagne d'une prise de risques supplémentaires qui ne peut exclure l'échec⁸. Il est vrai que notre système culturel de référence - à commencer dans le domaine scolaire - a tendance à stigmatiser l'échec au lieu d'en retenir les acquis et l'expérience. Alors que l'innovation constitue un élément déterminant de la compétitivité, il est urgent d'en développer la culture et le goût, particulièrement auprès des jeunes, ce qui passe naturellement par la reconnaissance du droit à l'erreur mais surtout par la construction d'un écosystème qui lui soit favorable.

7 Cf. Dou Henri, Clerc Philippe, *Trends in 3D printing from a Patent Information Analysis (APA)*, International Journal of Multidisciplinary Research and Advanced in Engineering, à paraître mars 2015.

8 Interview d'Anne Lauvergeon, La Cohorte, mai 2014.

L'impression 3D, de la recherche à l'industrialisation

Une technologie déjà « vieille » de plus de 30 ans

En juin 2014, l'Office européen des brevets (OEB) décernait son prix de l'inventeur dans la catégorie « pays non européens » à Charles W. Hull, l'ingénieur américain qui a développé, au début des années 1980, la technologie de la fabrication additive (désormais popularisée sous le nom d'« impression 3D ») sous son premier procédé, la « stéréolithographie ».

Célébrée à cette occasion par l'OEB comme une étape qui « *pourrait un jour prendre sa place parmi les plus grands progrès techniques réalisés dans le secteur manufacturier depuis la révolution industrielle* »⁹, cette innovation n'avait initialement pour objectif que de faciliter la création des pièces en plastique destinées à la réalisation de maquettes ou de prototypes pour la mise à l'essai de nouveaux produits : la méthode traditionnelle du moulage est alors remplacée par la superposition - et la solidification par une source d'énergie (un laser, par exemple) - de milliers de couches extrêmement fines de matières permettant d'adopter directement les formes précises souhaitées, aussi complexes soient-elles. Cette fabrication par empilement est pilotée par un logiciel qui, lui-même, se base sur un plan virtuel en trois dimensions : son développement est donc intimement lié à celui des technologies numériques.

Pourtant, si Charles W. Hull, alors installé à Valencia en Californie, est ainsi aujourd'hui considéré comme le « père » de cette technologie, son invention doit être replacée dans un contexte de multiples recherches parallèles dans le même domaine. Sans remonter jusqu'aux premiers essais utilisant une source laser pour réaliser des objets solides à base de matières plastiques à la fin des années 1960, les années 1980 ont vu les premiers aboutissements¹⁰ avec, notamment, les travaux de Hideo Kodoma (Nagoya) puis de Yori Marutani (Osaka) au Japon ou encore les publications d'Alan Herbert aux États-Unis. La première demande de brevet a même été déposée en juillet 1984 par le Français Jean-Claude André (Institut national polytechnique de Lorraine à Nancy, CNRS) précédant de peu celle de Charles W. Hull lui-même en août de la même année (accordée en mars 1986).

Quoi qu'il en soit, ce mois de mars 1986 a aussitôt vu la création, par Charles W. Hull et Raymond Freed de la société *3D Systems* qui a commercialisé, à partir d'avril 1988, les toutes premières machines de fabrication additive au monde. Cotée au sein de l'indice boursier Nasdaq, le marché d'actions des États-Unis spécialisé dans les valeurs technologiques, cette entreprise est aujourd'hui un des leaders mondiaux du secteur avec *Stratasys*, société créée en 1989 par Scott Crump dans le Minnesota, également cotée au Nasdaq (cf. *infra* la présentation des grandes entreprises du secteur).

⁹ http://www.epo.org/learning-events/european-inventor/finalists/2014/hull_fr.html.

¹⁰ Cf. Terry Wolhers et Tim Gornet, *History of additive manufacturing*, Wohlers Report 2012.

D'aucuns voient d'ailleurs dans cette différence entre les deux côtés de l'Atlantique - un excellent niveau de recherche dans notre pays pouvant rivaliser avec celui de la première puissance mondiale mais une incapacité à transformer concrètement cette découverte en activité économique - une sorte de symbole d'un « mal français ».

Au-delà des activités professionnelles de pointe, la fabrication additive a simultanément connu un engouement auprès de particuliers mettant en commun leurs savoirs - dans l'esprit du *Do it yourself* (DIY) et des logiciels « *open source* » dont le code peut être lu, amélioré ou modifié par chacun - notamment au sein des *Fab-Labs* (contraction de l'anglais *fabrication laboratory*, laboratoire de fabrication). Ces lieux ouverts au public - dont l'idée est née au sein du *Center for Bits and Atoms* du Massachusetts Institute of Technology (MIT) à l'initiative de Neil Gershenfeld - mettent à sa disposition des machines pilotées par ordinateur et permettant la conception et la réalisation d'objets. On compte en 2014 plus d'une centaine de ces *Fab-Labs* en France, labellisés ou non par le MIT (et au sein desquels l'impression 3D est une méthode utilisée parmi d'autres). La démocratisation de ces outils de production est d'ailleurs accélérée par la baisse régulière de leur prix¹¹, la frontière entre activités professionnelles et activités personnelles et de loisirs tendant à s'estomper : chacun peut désormais se considérer comme un entrepreneur potentiel. On peut ainsi penser que, parallèlement au développement attendu de l'utilisation des imprimantes 3D à domicile, des « *systèmes de production collaboratifs de proximité dotés d'un matériel beaucoup plus perfectionné disposeraient de bien plus d'atouts pour s'imposer* »¹².

Au niveau mondial, en 2013, il s'est vendu 9 800 machines industrielles de fabrication additive (contre 7 800 en 2012, soit + 26 %) et 72 500 imprimantes 3D personnelles (contre 35 500 en 2012, soit plus qu'un doublement)¹³.

Corollaire de ce développement et de certaines réalisations particulièrement spectaculaires notamment dans le domaine de la santé, l'impression 3D a dernièrement fini par attirer l'attention de tous les médias grand public. L'hebdomadaire *The Economist* lui consacrait ainsi sa couverture en février 2011 : « *Imprime moi un Stradivarius - Comment une nouvelle technologie de production va changer le monde* »¹⁴. La fabrication additive commence également à faire l'objet de déclarations de la part de responsables politiques, la plus emblématique étant celle du Président des États-Unis affirmant que l'impression 3D « *a le pouvoir de révolutionner la façon dont nous fabriquons presque tout* »¹⁵ (Barack Obama, discours sur l'état de l'Union, février 2013). Enfin, des intellectuels se sont aussi emparés du sujet jusqu'à y voir, non seulement la perspective d'un changement profond dans le fonctionnement de l'industrie manufacturière mais bien aussi dans l'organisation de la société toute entière. Jeremy Rifkin en est l'un des représentants les plus emblématiques qui voit, à terme, dans l'impression 3D, un passage « *de la production de masse à la production*

11 Quelques centaines d'euros pour les imprimantes destinées aux particuliers. Les fabricants escomptent cependant - à l'image des imprimantes classiques - que les matériaux leur procureront des marges supérieures aux machines elles-mêmes (dont certaines ne peuvent d'ailleurs fonctionner qu'avec les cartouches de matériaux fournies par le fabricant).

12 Arthur Guillouzouic-Le Corf, *L'impression tridimensionnelle, une technologie clé pour les usines du futur ?*, Réalités industrielles (Annales des Mines), novembre 2013.

13 Source : *Wohlers report 2014*.

14 « *Print me a Stradivarius - How a new manufacturing technology will change the world* ».

15 « *the 3D printing that has the potential to revolutionize the way we make almost everything* ».

par les masses »¹⁶. Il s'est d'ailleurs vu confier en 2012, par la Chambre de commerce et d'industrie de région Nord de France et le Conseil régional Nord-Pas-de-Calais, une mission de prospective originale, celle de l'élaboration d'une « feuille de route » visant à faire du Nord-Pas de Calais une région pionnière pour la « *Troisième révolution industrielle* » et les créations d'activités et d'emplois qui lui sont associées.

Les services (édition de logiciel, services d'impression, marché des fichiers en ligne...) et les matériaux associés à ces imprimantes occupent d'ores et déjà la place principale sur ce marché (1,8 milliard de dollars contre 700 millions de dollars pour les machines elles-mêmes). Ces données sont à la fois déjà significatives et encore très modestes rapportées à l'ensemble de l'économie.

L'enjeu désormais est bien de savoir quelle sera, à terme, sa place dans le nouveau paysage industriel mondial : un procédé simplement dédié à la réalisation de gadgets pas toujours indispensables ? Une innovation employée dans des marchés de niche à haute valeur ajoutée ? Ou bien une technologie ayant vocation à remplacer, à terme, la quasi-totalité des modes de production traditionnels ?

16 Voir Jeremy Rifkin, *La troisième révolution industrielle - Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde* (éditions Les Liens qui Libèrent, 2013) et *La nouvelle société du coût marginal zéro - l'internet des objets, l'émergence des communaux collaboratifs et l'éclipse du capitalisme* (éditions Les Liens qui Libèrent, 2014).

Encadré 1 : Les différents procédés d'impression 3D

Au-delà des principes de base communs (ajout de matière couche par couche, procédé à commande numérique, modèle 3D), il existe en réalité plusieurs techniques d'impression 3D qui comportent chacune de nombreuses variantes. Elles ne nécessitent ni les mêmes équipements, ni les mêmes matériaux.

Les principaux procédés peuvent être classés en trois grandes familles :

- la photopolymérisation : un matériau liquide est solidifié grâce à la lumière. Ce procédé est à la base de la plus ancienne technique d'impression 3D, la stéréolithographie (ou SLA) qui utilise un laser à rayons ultraviolets. Il présente des avantages en termes de grande précision mais ne peut utiliser qu'un nombre très limité de matériaux (par ailleurs très coûteux), ne permet pas d'imprimer en couleurs et le temps d'impression est long.

Les principales variantes de ce procédé sont la Digital Light Processing (DLP), plus rapide et pouvant utiliser des matériaux plus variés tout en conservant un bon niveau de précision, la technologie Polyjet qui permet notamment d'imprimer simultanément plusieurs types de matériaux différents et la Two-Photon polymerization (2PP) qui permet de fabriquer des objets à échelle nanoscopique ;

- le liage de poudre regroupe plusieurs procédés par lesquels le matériau de base, une poudre, est fusionnée par diverses techniques. Le principal avantage est de pouvoir offrir une grande diversité de matériaux, métalliques en particulier.

On classe dans cette catégorie le frittage laser - Selective Laser Sintering (SLS) et Direct Metal laser Sintering (DMLS) - et par lequel un laser très puissant permet de fusionner de fines particules de poudre, la technologie E-Beam ou Electric Beam Melting (EBM) et sa variante EBF3 qui fusionnent une poudre de métal avec un laser à électrons ou encore la technique Three-Dimensional Printing (3DPM) dans laquelle la glue qui vient encoller le matériau en poudre permet des impressions en couleur. On peut rapprocher les techniques à jet d'encre ou Multi-Jet Modeling (MJM) qui utilisent la cire fondue comme matière première (pour la fabrication de moules notamment), une glue spéciale étant déposée pour solidifier l'objet au fur et à mesure de sa fabrication ;

- le dépôt progressif de matière. Cette méthode du dépôt de filament fondu - la plus ancienne après la stéréolithographie - est connue sous les marques FDM (Fused Deposition Modeling), FFF (Fused Filament Fabrication) ou encore MPD (Molten Polymer Deposition). Le filament est fondu au fur et à mesure de l'impression par couches successives très fines. De nombreux matériaux sont utilisables (divers types de plastiques mais également du métal, des aliments ou des cellules) par ces machines simples à utiliser et permettant une grande variété d'usages (mais, souvent, une précision moindre).

Actuellement, la stéréolithographie et le frittage laser sont les procédés les plus employés dans l'industrie tandis que le dépôt de filament fondu a été récemment popularisé par l'arrivée des imprimantes 3D personnelles.

Source : Mathilde Berchon, *L'impression 3D*, Éditions Eyrolles, 2014.

Des premières réalisations prometteuses : du prototypage rapide à la personnalisation de masse

Les premières machines, utilisées dans des laboratoires ou des bureaux d'études, étaient très chères et très lentes. Elles produisaient de petites pièces, essentiellement en plastique, dédiées au maquettisme et au prototypage. En quelques années des progrès considérables ont été enregistrés¹⁷, d'une part, concernant les **vitesse de fabrication**¹⁸ et, d'autre part, la **variété des matériaux** désormais utilisés, de l'ordre de 200 en 2014 et dont le nombre augmente chaque année, qui peuvent être répartis en quatre catégories principales¹⁹ :

- les plastiques et les composites ;
- les métaux (aluminium, aciers, nickel, titane, cuivre, or, argent, platine...) et leurs alliages ;
- les céramiques (y compris le sable, le plâtre ou le béton) ;
- les matières organiques (cires, filaments de bois, papier, matières alimentaires, tissus biologiques).

On peut y ajouter, derniers développements en date riches de vastes perspectives, les nano matériaux (mais on ne peut pas - ou pas encore - imprimer le cuir, le bois ou les matières textiles).

En outre, non seulement les matériaux utilisables sont maintenant beaucoup plus nombreux mais certaines machines sont désormais capables d'utiliser simultanément plusieurs matériaux de même nature, plastiques ou métaux. Il est très probable qu'il sera possible, à l'avenir, d'employer en même temps plusieurs matériaux de nature différente. Des progrès immenses ont également été réalisés quant à la taille des produits fabriqués (allant de quelques centimètres à plusieurs mètres) et quant à leur précision (qui peut atteindre de l'ordre du micron).

Technologie en plein développement, la fabrication additive donne ainsi lieu à de nombreuses réalisations qui en restent actuellement au stade de la prouesse technique (première carrosserie de voiture ou premières maisons entièrement imprimées en 3D²⁰). C'est dans le même esprit qu'il faut accueillir les annonces concernant « *la plus petite imprimante 3D au monde* » (mise au point en Autriche par l'Université technologique de Vienne) ou « *la plus grande imprimante 3D au monde* » (envisagée par l'entreprise chinoise *Nanfeng Ventilator* en février 2014)²¹.

17 Audition de M. Jean-Gilles Cahn, Economiste à la Chambre de commerce et d'industrie de Paris, devant la section des activités économiques du CESE, 15 mai 2014.

18 « *La vitesse des imprimantes double tous les deux ans* », interview d'Abraham Reichental, PDG de *3D Systems*, Les Echos, 9 avril 2014.

19 Audition de M. Philippe Heinrich, Consultant en nouvelles technologies et spécialiste de l'impression 3D, devant la section des activités économiques du CESE, 22 mai 2014.

20 La société chinoise Shanghai WinSun a ainsi imprimé les pièces composant une dizaine de maisons en 24 heures qui ont ensuite été assemblées. Ces bâtiments qui mesurent 200 m² chacun coûtent environ 30 000 yuans (3 500 euros) et les matériaux utilisés sont issus de déchets recyclés. D'autres projets liant immobilier et impression 3D sont également en cours de développement aux États-Unis et en Europe comme, par exemple, le projet *KamerMaker* à Amsterdam (source : Les Echos, 15 avril 2014). Le Président de WinSun, M. Yihe Ma, a été l'un des intervenants du World Forum de Lille qui s'est tenu du 21 au 23 octobre 2014.

21 Le premier projet n'est « *pas plus grand qu'une brique de lait* » pour un poids de 1,5 kg tandis que les dimensions du second seraient de 28 mètres de long x 23 m. de large x 9,5 m. de hauteur.

Pour autant, si son utilisation pour la réalisation de prototypes reste aujourd'hui courante dans certains métiers comme les ingénieurs, les architectes et les designers de produits (et sans oublier les artistes qui peuvent y puiser de nouveaux vecteurs pour leur créativité), la fabrication additive est aussi en train de devenir une réalité pour la production industrielle elle-même tant le nombre de ses applications possibles s'est diversifié. L'impression 3D recouvre aujourd'hui, en réalité, tout un ensemble de technologies²² et, sans parler de celles utilisées par les particuliers, il existe aujourd'hui environ 80 modèles de machines industrielles dans le monde.

Quelques exemples parmi d'autres des réalisations les plus courantes ou les plus spectaculaires permettent de se faire une idée, certes encore imparfaite, de ses potentialités - sans même tenir compte de celles (forcément discrètes) menées dans le domaine de la Défense. Nous présentons ci-dessous les principales applications selon les secteurs dont elles relèvent.

C'est bien le secteur de **la santé** qui est aujourd'hui l'objet de toutes les attentions tant les possibilités nouvelles - et les marchés qui leur sont liés - apparaissent impressionnants. Tout d'abord, la réalisation de maquettes très précises permet leur utilisation par les étudiants et les chirurgiens pour s'exercer à des gestes nouveaux ou difficiles. Ensuite, la mise au point de prothèses et d'implants sur mesure (le titane étant biocompatible), parfaitement adaptés à chaque patient grâce à la possibilité de numériser ses caractéristiques morphologiques (par scanner, échographie ou IRM), donne lieu à des annonces quasi-quotidiennes.

L'utilisation pour la fabrication des prothèses dentaires ou auditives est déjà entrée dans les habitudes. Ainsi, les laboratoires de prothèses dentaires utilisent désormais massivement l'impression 3D, ce qui a conduit les constructeurs à proposer des matériels spécifiques pour cette activité. De même, en l'espace de trois ans seulement, la part de l'impression 3D dans la production des prothèses auditives - qui constituent un marché mondial à fort développement de plusieurs centaines de millions d'euros - est-elle passée de 0 à 100 %. Le remplacement des os (hanches, mâchoires, crâne²³...) devient également possible. Les recherches ainsi que les premières applications se poursuivent, par exemple pour la reconstitution de la peau. La reproduction des organes solides tels que le cœur, les reins, le foie ou les poumons n'est toutefois pas encore à l'ordre du jour en raison, notamment des difficultés de vascularisation des tissus : en effet, on ne peut pas « reproduire la complexité d'un organe entier et de ses fonctions simplement en superposant des couches de cellules »²⁴.

22 La « stéréolithographie » (SLA), le « frittage sélectif par laser » (SLS pour *Selective Laser Sintering*) et le « dépôt fil tendu » (FDM pour *Fused Deposition Modeling*) étant les plus répandues. Cf. encadré 1 *supra*.

23 Une prothèse crânienne en plastique, imprimée sur mesure en 3D, a été implantée avec succès pour la première fois aux Pays-Bas en mai 2014.

24 Voir Pauline Léna, *L'impression 3D en médecine : la chirurgie d'abord*, Le Figaro, 5 mai 2014.

Encadré 2 : La chirurgie et l'impression 3D

C'est à partir des années 1990 que l'utilisation de l'impression 3D (stéréolithographie) a permis la création des premiers objets anatomiques. Ceux-ci ont tout d'abord été utilisés pour simuler des interventions délicates avant de passer à leur réalisation (par exemple, la séparation de jumeaux siamois par le Professeur Kawamoto à l'Université de Californie de Los Angeles). Cet apprentissage des opérations chirurgicales permet non seulement de « voir » les gestes à réaliser (ce qui est déjà possible par la seule image 3D) mais aussi de « sentir » la consistance des tissus.

L'impression est désormais également utilisée dans les interventions de reconstruction faciale, que les défigurations soient dues à des malformations congénitales, à des tumeurs (bénignes ou malignes) ou encore à des traumatismes. L'objectif de cette chirurgie n'est pas seulement de restaurer une forme acceptable des visages mais aussi la fonction des organes, c'est-à-dire la mobilité qui seule peut permettre de retrouver des expressions, la parole, l'alimentation ou encore la sensibilité du toucher : un masque ne constitue pas à lui seul une véritable identité.

Les problèmes qui en découlent (notamment la revascularisation des tissus) sont cependant très difficiles à résoudre et amènent à soulever la question du croisement entre les nouvelles technologies et la dimension biologique pour favoriser les capacités de re-création de cellules, de tissus voire d'organes entiers. C'est ainsi que l'impression en 3D des premiers vaisseaux sanguins a été réalisée à Boston. De même, fabriquer de la peau grâce à cette technologie sera sans doute bientôt possible.

Et, même si cela ressemble aujourd'hui encore à de la science-fiction, rien n'interdit de penser, qu'à terme, la conservation de cellules du cordon ombilical ou de cellules embryonnaires (cellules souches) à la naissance de chaque enfant pourra un jour permettre - en cas de besoin - la reconstitution de tel ou tel de ses organes et ainsi éviter à l'avenir les lourdes opérations de transplantations. En ce sens, il est même possible d'affirmer que ces dernières pourraient bien n'avoir été qu'une courte parenthèse dans l'histoire de la chirurgie. Enfin, concernant les questions éthiques qui peuvent se poser, le Professeur Devauchelle, Chirurgien au CHU d'Amiens, souligne qu'« *on ne fait de la vie qu'avec de la vie* ».

Source : M. Bernard Devauchelle, audition devant la section des activités économiques du CESE, 20 novembre 2014.

Le secteur **aéronautique et spatial** a été l'un des tous premiers utilisateurs. Les deux géants *Airbus* et *Boeing* produisent, dès à présent et de façon plus rapide que par les procédés traditionnels (Pour les pales de turbine, par exemple, il est ainsi possible de réduire de 12 à 5 le nombre des étapes nécessaires à leur fabrication), des milliers de pièces complexes pour les ailes et les moteurs d'avions. Cette méthode permet également d'alléger chaque avion avec toutes les garanties de sécurité, ce qui se traduit par des économies substantielles en combustible. Des organismes tels que l'Agence spatiale des États-Unis (NASA) ou l'Agence spatiale européenne (ESA) s'y intéressent également de près pour produire des outils et des

pièces de rechange dans la station spatiale internationale voire, à terme, comme l'envisage également sérieusement l'Agence spatiale japonaise (JAXA)²⁵, pour imprimer des satellites directement sur place.

L'industrie **automobile** qui utilise la fabrication additive encore essentiellement pour réduire les délais et les coûts de fabrication de ses prototypes, s'y intéresse désormais aussi pour la réalisation des outillages nécessaires à la fabrication des véhicules et celle de parties de moules afin d'améliorer la qualité des pièces. Mais la production de pièces elles-mêmes commence également à être concernée, par exemple pour les garnitures intérieures, le capot des moteurs ou encore certaines composantes des moteurs utilisés pour le sport automobile (correspondant à des besoins très spécifiques et en série limitée).

Il est également à noter que ce secteur pourrait être particulièrement concerné par le développement de la production de pièces de rechange, directement par les particuliers ou via des réparateurs professionnels de proximité.

Dans le secteur de **l'énergie**, de grandes entreprises telles que General Electric ou Siemens ont investi dans cette technologie pour la fabrication de leurs turbines à gaz avec la perspective, à horizon de cinq à dix ans, de passer à la production de pièces impossibles à réaliser par usinage et résistant sur longue durée à la chaleur. Une équipe de chercheurs d'Harvard a réussi à produire, par cette méthode, des batteries lithium-ion plus petites qu'un grain de sable.

La bijouterie, la joaillerie, l'horlogerie ou encore la cristallerie sont également des domaines pour lesquelles l'impression 3D se révèle déjà particulièrement bien adaptée pour un usage professionnel - artisanal notamment - en permettant la conception de pièces d'une seule tenant et d'une extrême précision. Par ailleurs, il s'agit de l'un des secteurs dans lesquels la personnalisation des modèles en fonction des souhaits de la clientèle peut le plus facilement s'appliquer : actuellement, la bijouterie de luxe n'emploie quasiment plus que des imprimantes 3D pour réaliser les moulages « à cire perdue » utilisés pour la conception et la fabrication rapide de pièces uniques d'une grande finesse.

Dans le domaine **alimentaire**, des imprimantes à l'usage des professionnels (boulangers, pâtisseries, restaurateurs) permettent déjà d'utiliser du chocolat ou des confiseries. La société *Barilla* a annoncé que ses clients pourront bientôt choisir la forme et la composition de leurs pâtes tandis qu'un procédé d'impression 3D de viande artificielle vient d'être mis au point aux États-Unis²⁶. Par ailleurs, un programme de recherches financé par la NASA travaille à l'« impression » de nourriture (pizzas) dans l'espace pour les astronautes. On peut également citer l'initiative de la *start up* barcelonaise *Natural Machines* qui envisage de commercialiser une imprimante 3D grand public baptisée *Foodini* au prix de 1 000 euros environ et recherche des partenariats avec des acteurs de l'agro-alimentaire pour la production des « capsules » d'ingrédients frais prêtes à l'emploi qui seraient utilisées dans ces machines.

Citons également le cas des **industriels du jouet**²⁷ qui pourraient d'ailleurs, faute de réaction, figurer à terme parmi les premières victimes de l'usage de l'impression 3D par les particuliers (les pièces en plastique de forme simple de la société *Lego*, par exemple),

²⁵ Ambassade de France au Japon, *Vers la production de pièces par impression 3D pour le spatial*, Agence pour la diffusion de l'information technologique (ADIT), Ministère des Affaires étrangères et du développement international, mars 2014.

²⁶ Résultat d'une recherche conduite au sein de l'Université du Missouri, il vient de donner naissance à une start up américaine, *Modern Meadows*. <http://modernmeadow.com/>

²⁷ <http://www.zesmallfactory.com/blog/jouets-et-impression-3d/>

directement ou, plus vraisemblablement, via des sites en ligne offrant leurs services. Ainsi, la société *Hasbro* a-t-elle engagé plusieurs partenariats pour proposer la fabrication, personnalisée et à la demande (donc sans stock), de figurines dont elle détient les droits ou encore pour envisager la vente d'imprimantes 3D pour enfants.

Dans le domaine de l'**ameublement** et de la décoration également, certaines marques se saisissent des nouvelles possibilités offertes par la fabrication additive pour proposer du mobilier et des objets laissant une part d'initiative grandissante à l'acheteur final (cependant encore essentiellement limité au choix des formes et des coloris)²⁸. Il s'agit surtout de jeunes sociétés, les grandes enseignes du secteur habituées à fournir des produits entièrement finis semblant tarder à prendre ce virage.

Les principaux acteurs d'internet qui tendent à devenir globaux ne sont pas en reste. *Google* vient ainsi de passer un accord avec *3D Systems* pour commercialiser en 2015 une nouvelle imprimante permettant de produire des **téléphones portables** sur mesure. Des acteurs de l'impression classique (Hewlett-Packard notamment) envisagent également sérieusement de prendre le tournant de cette technologie.

L'enjeu, naturellement, est de parvenir à fabriquer de telles pièces avec un rendement comparable à celui des modalités actuelles de la production de masse. À l'évidence, la fabrication additive cherche aujourd'hui à véritablement entrer dans une phase de développement en tant que moyen de production réellement industriel permettant de combiner la fabrication en grande série et la personnalisation la plus poussée en associant les consommateurs à la conception même du produit acheté (la « *customisation de masse* »).

²⁸ C'est, par exemple, le cas de la marque brésilienne *Allcreatorstogether* (TOG) à laquelle collabore le designer français Philippe Starck. Cf. Véronique Lorelle, *La bibliothèque ? C'est moi qui l'ai faite*, Le Monde, 17 septembre 2014.

Encadré 3 : L'artisanat et l'impression 3D

La politique de l'État visant à aider l'artisanat et les Très petites entreprises (TPE) à s'adapter aux évolutions de la technologie et de la société s'est principalement concrétisée par la mise en place des centres de ressources spécialisés que sont les « Pôles d'innovation pour l'artisanat et les petites entreprises » en liaison avec les organisations professionnelles, les centres de formation et les organismes consulaires (chambres de métiers et de l'artisanat). L'un des quatre axes opérationnels de ces pôles vise ainsi à « *introduire les technologies numériques et les Technologies de l'information et de la communication (TIC) tout au long de la chaîne de valeur* ».

Il est évident, aujourd'hui, que l'intégration de ces technologies conditionne la capacité à innover. Or, les TPE accusent toujours un retard numérique (47 % seulement des TPE ont un site Internet, d'après le baromètre 2013 d'OpinionWay). Il est donc nécessaire de concevoir - en lien avec les secteurs d'activité - des outils d'information ou des applications numériques qui facilitent l'appropriation des dernières technologies ou les intègrent directement dans leurs processus de production. Dans ce cadre, l'exemple des technologies de l'impression 3D dans l'artisanat de production mérite d'être signalé.

En effet, utilisée depuis quinze ans dans le secteur médical pour les prothèses et, depuis le milieu des années 1980, dans l'aéronautique et les transports pour les pièces mécaniques, l'impression 3D est en train de se propager à l'ensemble des activités de production car elle permet, outre le prototypage à faible coût, la production de pièces uniques ou de petites séries à des tarifs devenus compétitifs. Selon les acteurs en pointe du secteur, l'impression 3D pourrait même connaître un développement massif et modifier de manière durable les processus industriels.

L'impression 3D se rencontre déjà aujourd'hui dans certaines activités de production de l'artisanat : la prothèse dentaire et la fabrication de dispositifs médicaux, la fabrication de pièces mécaniques pour l'aéronautique et l'automobile, l'imprimerie, la joaillerie, l'orfèvrerie, la fabrication de jouets et de jeux. Dans les prochaines années, cette technologie, en plus de remplacer les modes de fabrication traditionnels dans de nombreux métiers, devrait aussi relancer les métiers de la réparation et de la fabrication de pièces détachées. Selon la loi sur la consommation, dite « loi Hamon », publiée le 18 mars 2014, les producteurs devront d'ailleurs désormais indiquer aux consommateurs les possibilités de réparations ultérieures de l'objet acquis et la durée pendant laquelle les pièces détachées nécessaires à leur réparation seront disponibles. Le fabricant ou importateur devra de plus fournir ces pièces, dans un délai de deux mois, aux vendeurs professionnels ou aux réparateurs, agréés ou non, qui le demandent. Par ailleurs, des ateliers de prototypage et des imprimeurs se positionnent à travers des services en ligne d'impression 3D de pièces uniques ou de séries limitées pour des marchés de niche.

Avec la perspective d'une diffusion possible de cette technologie dans les foyers, certaines industries pourraient être menacées par la concurrence des imprimantes personnelles, notamment l'industrie du jouet avec l'impression de figurines, poupées et jeux. Les secteurs des transports et de la messagerie pourraient également être impactés par la relocalisation de la production. Il est également possible qu'à terme certaines entreprises renoncent à produire elles-mêmes pour ne plus s'occuper que de la conception, de la protection de leurs fichiers-objets en 3D et de leur vente.

Source : Institut supérieur des métiers, *Enjeux de l'innovation dans l'artisanat et le commerce de proximité*, avril 2014.

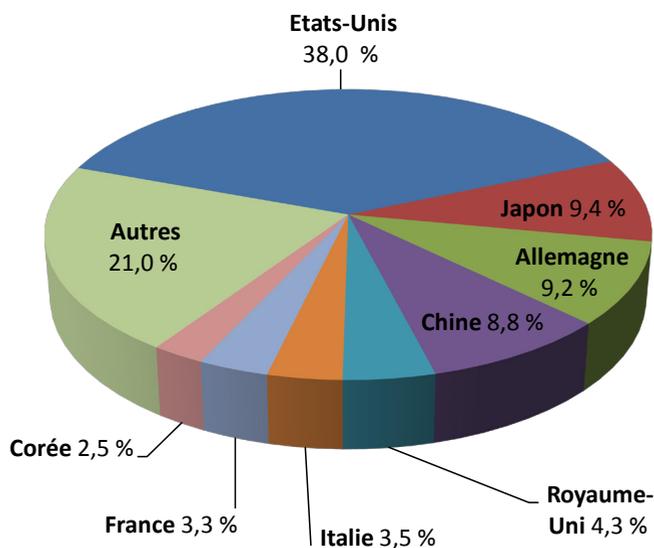
L'état du marché mondial et les perspectives

Selon le rapport *Wohlers 2014* - du nom du cabinet de conseil américain *Wholers Associates* qui publie chaque année, depuis près de vingt ans, des données généralement considérées comme fiables sur la situation et les perspectives d'avenir dans l'industrie de la fabrication additive - le marché de l'impression 3D dans le monde a atteint 3,07 milliards de dollars (2,31 milliards d'euros sur la base 1 dollar = 1,33 euro) en 2013, en progression de près de 35 % par rapport à 2012.

Dans ce total, les parts respectives des produits et des services s'équilibrent avec respectivement des ventes s'élevant à 1,55 et 1,52 milliards de dollars (1,17 et 1,14 milliards d'euros). Au sein de la catégorie « produits », les équipements eux-mêmes représentent les 2/3 du chiffre d'affaire (environ 1 milliard de dollars soit 750 millions d'euros) contre 1/3 pour les matériaux utilisés (au sein desquels les métaux représentent encore moins de 10 % du total).

Le maintien de la suprématie des États-Unis

Fig. 1 : Les imprimantes 3D installées dans le monde en 2013
(en pourcentage du total mondial)



Autres : Canada (1,9 %), Taiwan (1,5 %), Russie et Turquie (1,4 %), Espagne (1,3 %), Suède (1,2 %).

Source : *Wohlers Report 2014*.

Le nombre total cumulé des systèmes de fabrication additive installés par pays depuis 1988 (date de la première livraison d'une machine professionnelle à ses utilisateurs) jusqu'à la fin de l'année 2013 montre le maintien, à ce stade de la prédominance des États-Unis qui représentent 38 % du total des imprimantes 3D installées à ce jour dans le monde, assez loin

devant le Japon, l'Allemagne et la Chine (de l'ordre de 9 % chacun). La France apparaît au 7^e rang mondial avec un peu plus de 3 %, un peu derrière le Royaume-Uni et l'Italie et devant la Corée du Sud.

L'observation du nombre des machines vendues au cours de l'année 2013 montre que les États-Unis maintiennent leur avantage au cours de la dernière période devant leurs trois principaux poursuivants (avec toutefois un rythme plus élevé en Chine qu'au Japon et en Allemagne). Plus loin, derrière le Royaume-Uni, la France et la Corée ont refait récemment une partie de leur retard sur l'Italie.

Les principales entreprises dans le monde

Moins d'une quarantaine d'entreprises dans le monde - présentes dans une douzaine de pays et dans trois grandes régions (États-Unis, Asie, Europe) - produisent et vendent aujourd'hui des **équipements de fabrication additive de niveau professionnel**, destinés à être utilisés par l'industrie. On retient par convention, dans cette catégorie, les machines dont le coût dépasse 5 000 dollars (3 800 euros), sachant que certaines d'entre elles peuvent atteindre plusieurs centaines de milliers de dollars²⁹.

Les États-Unis comptent les deux leaders mondiaux (cf. *supra*), *3D Systems* et *Stratasys*, cette dernière entreprise - et sa filiale *Solidscape* - apparaissant toutefois désormais rattachées à Israël, pays dans lequel elle dispose également d'une implantation à Rehovot. Avec des chiffres d'affaires 2013 de, respectivement, 513 et 484 millions de dollars (386 et 364 millions d'euros)³⁰ et en forte progression chaque année, ces deux acteurs dominent aujourd'hui le marché d'assez loin et procèdent d'ailleurs régulièrement à des acquisitions pour maintenir leur position dans le foisonnement actuel de créations et d'acquisitions au sein d'un secteur qui est loin d'être consolidé. En nombre de systèmes installés (donc sans tenir compte de leur prix), *Stratasys* a occupé 55 % du marché mondial en 2013 (5 375 ventes) devant *3D Systems* (18 % avec 1 765 ventes). Le leader mondial a donc vendu environ 26 700 des quelque 66 700 systèmes installés dans le monde depuis 1988 (et même 35 200 en incluant ceux des sociétés qu'il a racheté) contre 15 700 pour son principal concurrent. On peut également citer, Outre-Atlantique, les sociétés *Asiga*, *ExOne*, *Fabrisonic*, *Optomec*, ou encore *Sciaky*.

En Asie, la Chine présente également aujourd'hui un nombre significatif d'intervenants (*Beijing Tiertime*, *Beijing Longyuan*, *Hunan Farsoon*, *Shaanxi Hengtong*, *Shanghai Union-tech*, *Trump Precision Machinery*, *Wuhan Binhu*). Les autres intervenants dans cette région du monde sont le Japon (*Aspect*, *CMET*) et la Corée du Sud (*Carima*, *Inss Tek*).

Au niveau européen, les entreprises allemandes sont en pointe, à commencer par *EOS* - qui a atteint un chiffre d'affaires de 141 millions de dollars en 2013 (106 millions d'euros) - mais aussi avec *Concept Laser*, *Envisiontec*, *Rapid Shape*, *Realizer*, *SLM Solutions*, *Trumpf*, *Voxeljet*, *Innovation Meditec*. Deux autres sociétés significatives sont situées au Royaume-Uni

²⁹ Le *Wohlers Report* 2014 signale un modèle de la société américaine Sciaky - une filiale du groupe Phillips Service Industries liée, dans le domaine de l'aéronautique, au Département de la Défense des États-Unis - dont le prix est estimé à 5 millions de dollars (3,8 millions d'euros).

³⁰ Ces données comprennent, outre la vente des équipements proprement dits, celle de matériaux et de services qui leur sont liés (source : *Wohlers Report* 2014).

(Renishaw) et en Suède (Arcam). On peut, enfin, citer des sociétés basées en Autriche (Lithoz), au Danemark (Blueprinter), en Irlande (Mcor Technologies) ou encore en Italie (DWS).

En France, les acteurs significatifs apparaissent aujourd'hui en nombre très limité, surtout depuis que la société *Phénix Systems* - avec ses compétences sur la fabrication directe de pièces dans certains matériaux (aciers inoxydables, titane, céramique) - a été rachetée en juin 2013 pour être intégrée à *3D Systems*.

L'industrie indépendante de l'impression 3D en France repose désormais essentiellement sur le groupe Gorgé³¹ qui en a fait un des éléments stratégiques de son développement via sa filiale *Prodays* depuis le rachat en mai 2013 de *Phidias* (entreprise française notamment spécialisée dans les imprimantes 3D pour prothèses dentaires en résine) : les brevets et le savoir-faire de cette dernière - également convoitée par des groupes américains et européens - avaient motivé l'intervention du ministère du redressement productif pour lui trouver un acquéreur français. Le groupe Gorgé - dont le président a reçu, à l'Élysée en septembre 2014, le prix de l'Audace créatrice - souhaite désormais contester la suprématie des deux leaders *3D Systems* et *Stratasys* en se positionnant notamment sur les marchés du médical, de l'aéronautique (pièces de turbine) ou encore de la joaillerie.

Il fabrique essentiellement des machines professionnelles et souhaite - dans la perspective de pouvoir proposer une offre globale à ses clients - développer la fabrication des matériaux utilisables dans ces machines (telles que les résines liquides qui constituent aujourd'hui environ la moitié du marché). L'enjeu est également de développer la fabrication de matériaux dotés de propriétés spécifiques à certains usages, par exemple des résines biocompatibles pour les applications médicales³².

On peut également signaler la « jeune pousse » alsacienne *BeAM*³³, issue (*spin off*) du Centre régional d'innovation et de transfert de technologie (CRITT) Irepa Laser, qui est d'ores et déjà très active dans l'industrie aéronautique.

Elle rejoint ainsi le cercle restreint des entreprises d'impression 3D utilisant des poudres métalliques, secteur encore réduit (moins de 350 machines vendues dans le monde en 2013) mais en plus forte croissance que le reste du marché de la fabrication additive. La très grande majorité des entreprises intervenant sur ce segment porteur du métal étaient d'ailleurs européennes jusqu'au rachat de *Phénix* par *3D Systems*. Environ 75 % des machines installées dans le monde à la fin 2013 provenaient d'Allemagne (*EOS* pour un tiers du total mondial, *Concept Laser*, *Trumpf*, *Realizer*, *SLM Solutions*), le reste étant fourni, outre *Phénix/3D Systems*, par des sociétés suédoise (*Arcam*) et britannique (*Renishaw*)³⁴. Des fabricants chinois sont également récemment apparus sur ce marché qui échappe aujourd'hui largement aux entreprises américaines.

Du côté des **imprimantes 3D personnelles**, c'est-à-dire en principe celles d'un coût inférieur à 5 000 dollars (3 800 euros), le *Wohlers Report* 2014 estime à plus de 250 le nombre des sociétés qui interviennent actuellement sur ce marché. Il note, après une période où peu de procédés fondamentalement nouveaux sont apparus - beaucoup étant d'ailleurs plus ou moins inspirés du projet *RepRap* (Cf. encadré ci-dessous) - « un important développement de la professionnalisation des fabricants de machines. Ils ont quitté le stade des non-conformistes

31 <http://www.groupe-gorge.com/blog/category/metiers/impression-3d/>.

32 Entretien du rapporteur avec M. Raphaël Gorgé, Président directeur général du groupe, le 13 novembre 2014.

33 <http://www.beam-machines.fr/index.php>.

34 La société MTT technologies qui était également présente sur ce marché jusqu'en 2011 a vu ses activités réparties depuis cette date entre Renishaw et SLM Solutions.

et des particuliers bricolant dans leur garage pour celui de véritables startup et de petites et moyennes entreprises ». Cet organisme prévoit une réduction à cinq ou six du nombre des acteurs qui, à terme, pourront faire face à la concurrence des leaders sur le marché professionnel qui interviennent également sur ce marché.

Ainsi, *Stratasys* a notamment absorbé en août 2013 la *start up MakerBot Industries* qui s'est spécialisée avec succès dans l'impression 3D grand public avec, notamment ses modèles d'imprimantes personnelles *Replicator* (vendues entre 1 400 et 2 200 dollars, soit entre 1 100 et 1 700 euros environ) et le site de partage de fichiers de données *Thingiverse*. De son côté, *3D Systems* propose ses modèles *Cube* et *CubeX* à respectivement 1 300 et 2 500 dollars (environ 1 000 et 1 900 euros).

La frontière entre matériels professionnels et personnels tend d'ailleurs à s'estomper et la limite des 5 000 dollars a moins de sens qu'auparavant : plusieurs machines de qualité, considérées comme « personnelles », dépassent maintenant ce montant tandis qu'à l'inverse, des sociétés - y compris les plus grandes - équipent leurs ingénieurs et leurs designers de matériels relativement peu onéreux (par exemple, le modèle *Projet* de *3D Systems* affiché à 4 900 dollars, soit 3 700 euros).

Encadré 4 : Le projet RepRap

Contraction de l'anglais *Replication Rapid prototyper*, le projet RepRap est né en 2005 à l'université de Bath (sud-ouest de l'Angleterre) à l'initiative d'Adrian Bowyer. Son objectif était de créer en *open-source* (c'est-à-dire sans dépôt de brevet, les plans étant libres d'accès sur le web et donc utilisables par n'importe qui) une imprimante 3D qui pourrait, entre autres, se reproduire elle-même. En réalité, à ce stade, les machines RepRap ne peuvent pas elles-mêmes s'auto-répliquer de façon autonome mais peuvent être utilisées pour produire une partie des pièces qui les composent (des parties en plastique dans un premier temps, certains éléments en métal également - mais avec une manipulation supplémentaire - dans les dernières versions).

Ce projet a donné lieu au développement d'une véritable communauté sur internet cherchant à améliorer constamment les produits qui sont aujourd'hui disponibles à des prix ayant substantiellement baissé et se situant dans une fourchette de 330 à 800 dollars (environ 250 à 600 euros). Inconvénient du système *open-source* plusieurs fabricants ont cependant proposé à la vente de soit-disantes nouvelles machines RepRap ne contenant aucune réelle innovation.

Un potentiel de croissance significatif

Les perspectives de croissance devraient rester élevées au cours des prochaines années, soutenues, d'un côté, par les ventes des imprimantes 3D « personnelles » et, de l'autre, par le développement de l'utilisation de cette technologie pour des opérations de fabrication de produits finis, notamment en métal (et non plus seulement pour la réalisation de maquettes et de prototypes). *Wohlers* considère donc que le marché de la fabrication additive pourrait atteindre :

- 12,5 milliards de dollars (9,4 milliards d'euros) en 2018 ;
- 21 milliards de dollars (15,8 milliards d'euros) en 2020.

Le rythme de croissance du secteur se maintiendrait donc à un niveau de l'ordre de 33 % par an.

À plus long terme, les estimations peuvent varier dans des proportions extrêmement importantes tant les hypothèses retenues peuvent diverger considérablement. On pourra simplement retenir, à titre indicatif, que si la fabrication additive finissait par conquérir ne serait-ce que 2 % des activités industrielles actuelles, son potentiel mondial atteindrait alors 210 milliards de dollars (158 milliards d'euros) soit dix fois plus que les montants attendus pour 2020.

Ce secteur prometteur attise également la concurrence parmi les analystes qui s'efforcent d'apprécier son potentiel de croissance. C'est ainsi que *Canalys*³⁵ estime que les ventes liées à l'impression 3D en 2013 ont totalisé 2,5 milliards de dollars (1,9 milliard d'euros) et envisage la poursuite d'une croissance très rapide avec un marché qui atteindrait :

- 3,8 milliards de dollars (2,9 milliards d'euros) en 2014 ;
- 16,2 milliards de dollars (12,2 milliards d'euros) en 2018.

À l'intérieur de ces montants, la répartition devrait s'établir à environ 1/3 pour les machines et 2/3 pour les matériaux et les services associés. Selon ces observateurs du secteur, le marché des seules imprimantes 3D aurait augmenté de 109 % en 2013 à 711 millions de dollars (535 millions d'euros) et encore de 79 % en 2014 pour atteindre 1,3 milliard de dollars (1 milliard d'euros).

Parallèlement, *Canalys* considère qu'« *il existe une opportunité évidente pour que des sociétés proposent des services d'impression 3D afin de répondre à la demande croissante pour les produits personnalisés que cette technologie rend possible* ». Cette demande va continuer à croître en s'appuyant sur trois facteurs principaux : les possibilités de personnalisation des produits, la commodité de l'impression sur place et l'efficacité de la fabrication (moins de déchets et de dépenses d'énergie).

Pour sa part, le cabinet d'études *Lux Research*³⁶ estimait, en avril 2014, que le marché total de l'impression 3D devrait quadrupler pour atteindre environ 12 milliards de dollars (9 milliards d'euros) à l'horizon 2025, tiré notamment par ses utilisations industrielles dans l'aérospatiale, le médical ou encore l'automobile. Dans ce total, les ventes d'imprimantes ne représenteraient plus que 3,2 milliards de dollars (2,4 milliards d'euros).

Dans une étude complémentaire publiée en septembre 2014³⁷ et consacrée à la Chine, *Lux Research* souligne que l'équipement en machines de fabrication additive est encore modeste dans ce pays avec 8 700 imprimantes produites et vendues localement (c'est-à-dire hors exportations et importations) en 2013 et une qualité de production qui laisse encore à désirer. Pour autant, la Chine semble vouloir se donner les moyens de devenir un leader mondial dans ce secteur également (notamment via un équipement de l'ensemble du système éducatif, du primaire aux universités) et un niveau de 37 800 ventes d'imprimantes est attendu pour 2018, soit là encore un quadruplement mais à un horizon beaucoup plus rapproché.

35 <http://www.canalys.com/newsroom/3d-printing-market-grow-us162-billion-2018>.

36 <http://www.luxresearchinc.com/news-and-events/press-releases/read/3d-printing-market-quadruple-12-billion-2025>.

37 <http://www.luxresearchinc.com/news-and-events/press-releases/read/3d-printed-china-%E2%80%93-china-bids-leadership-emerging-3d-printing>.

Quelles que soient les différences entre ces approches dans les estimations chiffrées du marché actuel et à venir, elles se rejoignent sur l'essentiel, c'est-à-dire l'existence d'un énorme potentiel de croissance après la phase de décollage de cette technologie à laquelle nous sommes en train d'assister. Améliorations significatives de la vitesse des temps d'impression, plus grand nombre possible de combinaisons de matériaux, de couleurs et de finition, prix en baisse : l'ensemble de ces éléments y contribue.

De l'utilisation professionnelle aux usages domestiques, une frontière de plus en plus floue (*makers et fab-labs*)

On peut faire remonter la véritable naissance du mouvement *Maker* (du verbe anglais *to make* : faire, fabriquer) à 2005, année du lancement du magazine *Make* et du premier rassemblement *Maker Faire* [sic] dans la Silicon Valley. Si la philosophie de cette manifestation - basée sur « l'envie de faire des choses soi-même » - concerne aussi des activités traditionnelles apparentées aux loisirs et au bricolage, la généralisation rapide de l'utilisation des technologies numériques de pointe (parmi lesquelles l'impression 3D) et d'internet par des particuliers a conduit à l'apparition de ce phénomène entièrement nouveau : le « mouvement des *Makers* » au sein duquel se développe, dans des lieux ouverts d'innovation - à la fois points physiques de rencontres et espaces interconnectés - et avec une forte dimension communautaire, un militantisme basé sur des relations de partage et de collaboration qui s'appliquent notamment au savoir via l'*open source* (allant jusqu'à remettre en cause le rapport dominant à la propriété intellectuelle), à la conception et à la production de biens et de services.

Cette nouvelle technologie ouvre aussi la perspective pour des milliers d'inventeurs individuels de parvenir à créer leur propre petite entreprise ayant potentiellement directement accès à un marché quasiment mondial. L'apparition en 2007 de *RepRap* (cf. encadré *supra*), première imprimante 3D de bureau en *open source*, qui a précédé *MakerBot*, imprimante 3D à la portée des particuliers, a ainsi été une étape essentielle considère Chris Anderson dans « *Makers, la nouvelle révolution industrielle* »³⁸ qui y voit une analogie avec la diffusion des premiers ordinateurs personnels il y a une trentaine d'années. Pour lui, c'est désormais la fabrication concrète des objets - l'industrie manufacturière - qui va être affectée par la combinaison de la fabrication numérique et de la fabrication personnelle : « *elle élargit l'industrie à une population de producteurs bien plus nombreuse : à côté des industriels existants, des foules de monsieur-tout-le-monde deviennent entrepreneurs* ».

Cette idée d'une frontière de plus en plus poreuse entre activités personnelles et professionnelles s'appuie ainsi sur le fait que la création d'entreprises - y compris dans le domaine industriel - peut désormais se trouver très simplifiée, en raison :

- d'une part, de « l'innovation ouverte » c'est-à-dire le partage (utilisation et mise en ligne) de fichiers libres de droits facilitant la circulation de ces innovations (mais ce qui soulève tout de même le problème de la rémunération de la création intellectuelle) ;

³⁸ Publié aux éditions Pearson France, 2012.

- d'autre part, de la réduction considérable des investissements nécessaires et donc du coût du lancement industriel de la fabrication de certains produits (notamment la possibilité de débiter par la fabrication de petites séries personnalisées pour tester le marché et des frais de commercialisation très faibles via internet).

On peut y ajouter les possibilités également ouvertes par internet concernant le financement collaboratif (*crowdfunding*) qui permet de court-circuiter les réseaux de crédit traditionnels, en particulier celui des banques souvent frileuses vis-à-vis des nouveaux entrepreneurs.

Dans une logique intermédiaire, de grandes entreprises considèrent qu'elles ont tout à gagner à encourager la créativité de leurs salariés et de l'entourage de ces derniers. Nombre d'entre elles ont ainsi repris à leur compte le dispositif des *Fab-Labs* (cf. *supra*). C'est, par exemple, en France, le cas de **Dassault-Systèmes**, leader mondial des applications logicielles 3D qui considère que l'impression 3D est un véritable procédé industriel et met à la disposition des utilisateurs de son *Fab-Lab* - physiquement basé à Vélizy (Yvelines) et associé à un réseau social international - des postes de scan et de modélisation 3D s'appuyant sur les outils phares de l'entreprise dans ce domaine (logiciels Solidworks et CATIA). Permettant de tester divers matériaux et plusieurs types d'imprimantes, ce lieu est un moyen de nouer des partenariats avec d'autres acteurs - confirmés ou nouveaux entrants - du secteur de la fabrication additive et de repérer les talents qui pourraient être utiles à l'entreprise³⁹.

Toujours en France - « où la pratique d'auto-organisation et le réflexe communautaire sont moins forts »⁴⁰ conduisant les ateliers de fabrication à s'adosser souvent à des institutions publiques et parapubliques ou à des entreprises - les exemples suivants ont également donné lieu à des annonces faisant une large place à l'utilisation de l'impression 3D :

- dans son Technocentre de Guyancourt (Yvelines), **Renault** a ouvert, dès novembre 2012, son propre *Fab-Lab* à proximité de ses laboratoires de R&D pour permettre à ses collaborateurs, notamment aux ingénieurs, de renouer avec une démarche expérimentale ;
- **Air Liquide** a aussi lancé à Paris, en décembre 2013, son « i-Lab » conçu pour être, à la fois, une structure de réflexion (*Think tank*) et d'expérimentation (*Corporate Garage*) afin de développer de nouvelles offres (produits et technologies). Il s'agit, ici aussi, de matérialiser rapidement des concepts et de nouer des partenariats avec des start-ups ;
- dans le même esprit visant à stimuler l'innovation, **Airbus** a inauguré, en février 2014 à Toulouse, son premier « ProtoSpace » qui se veut l'équivalent d'un *Fab-Lab*. Le leader mondial de la construction aéronautique a ainsi entendu créer un endroit ayant vocation à cristalliser des intuitions : les personnes ayant des projets peuvent ainsi passer au stade de la réalisation tout en se confrontant à d'autres. Cette initiative a vocation à essaimer dans les autres implantations ;

³⁹ Visite de la section des activités économiques du CESE au siège de Dassault Systèmes à Vélizy le 25 septembre 2014.

⁴⁰ Cf. *État des lieux et typologie des ateliers de fabrication numérique*, Rapport d'étude, Direction générale des entreprises, Ministère de l'Économie, de l'Industrie et du numérique, avril 2014.

- la **Snecma** a inauguré, en juin 2014, l'installation du *Fab-Lab* de son « Atelier innovation services » à Montereau (Seine-et-Marne). Dans un état d'esprit « maker » et dans le but d'identifier les profils « intrapreneurs », celui-ci est ouvert aux salariés du groupe Safran qui peuvent venir y tester leurs idées⁴¹.

De même, les pouvoirs publics les plus à l'affût de toute nouvelle source de croissance et de création d'emplois s'y intéressent : aux États-Unis, le président Obama, encore lui, vient de déclarer le 18 juin « *journée nationale des makers* »⁴²...

⁴¹ Voir « Fablab : l'innovation libérée grâce à l'impression 3D - la montée en puissance des FabLabs industriels ». <http://www.industrie-techno.com/la-montee-en-puissance-des-fablabs-industriels.29907>

et « insuffler un esprit « makers » dans l'entreprise », *L'Usine nouvelle* n°3375 (mai 2014).

⁴² Benoit Georges, *Les Makers, pionniers de l'industrie de demain*, Les Échos, 17 juin 2014.

La réflexion et l'action des pouvoirs publics

On ne compte plus les rapports, officiels ou non, portant sur les nouvelles technologies et leur impact sur l'économie et plus largement la société. Ces documents, fruit des réflexions académiques, rencontrent, depuis quelques années, un assez large écho de la part des pouvoirs publics. Dans le domaine de la fabrication additive, les travaux universitaires menés aux États-Unis ont connu une concrétisation politique par la voix du Président Obama. Cette intervention présidentielle a, en quelque sorte, marqué l'entrée de la fabrication additive dans le monde diplomatique.

Dans ce sillage, beaucoup se sont engouffrés. L'action des pouvoirs publics dans de nombreux États s'oriente essentiellement dans la mise en œuvre d'un environnement propice au développement de cette technologie : création de synergies entre recherche académique et recherche privée et appliquée ou mise en place de moyens permettant la formation, souvent dès l'école, à la fabrication additive, dans un contexte plus vaste qui est celui de la formation au numérique.

Les économies les plus avancées

Les États-Unis

Compte tenu de ses potentialités, reconnues de longue date dans le cadre universitaire⁴³ ou dans celui du *World technology evaluation center*, la fabrication additive fait l'objet d'une attention soutenue de la part de l'administration fédérale aux États-Unis, dans le cadre de la promotion de l'économie numérique au sens le plus large du terme.

Avec un parallélisme certain, traduisant des préoccupations identiques, les États-Unis comme l'Union européenne ou certains autres États industrialisés se sont préoccupés du devenir de leur appareil industriel face à la montée de nouveaux concurrents considérés comme particulièrement agressifs.

Ainsi, en février 2012 le *National Science and Technology Council* - organe placé auprès de la Maison Blanche - proposait un plan stratégique dans le domaine des industries « de pointe »⁴⁴. Les documents accompagnant ou présentant cette action, commençant par un rappel de l'importance et du rôle du secteur secondaire dans la puissance des États, déploraient une perte sensible de compétitivité de l'industrie américaine par rapport à certains de ses concurrents - nouveaux venus mais aussi des pays avancés, comme l'Allemagne ou le Japon, par exemple.

Pour répondre à ces défis, le conseil d'experts proposait de mettre en place une politique d'innovation dans le domaine des industries « avancées ». Se fondant sur le

⁴³ Voir à cet égard Neil Gershenfeld « How to make almost anything : the digital fabrication revolution », *Foreign Affairs*, novembre/décembre 2012. Rappelons que Neil Gershenfeld est le concepteur des *Fab-Labs*.

⁴⁴ *A national strategic plan for advanced manufacturing*, Executive Office of the President, National Science and Technology Council, février 2012.

précédent de l'industrie des semi-conducteurs dont le développement fut largement dû aux investissements de l'État fédéral, la stratégie nationale encourageait l'administration à renouveler cet effort. Le conseil national soulignait que les investissements publics devaient être conjugués avec des investissements privés afin de créer un environnement propice à la ré industrialisation des États-Unis, comme la formation des salariés, les « démonstrateurs », ou la modernisation des infrastructures. La recherche des partenariats public/privé s'est avérée une pierre angulaire du programme envisagé comme son application prioritaire aux petites et moyennes entreprises américaines par le biais du *Small business act* et de son administration.

Le gouvernement fédéral, dans le domaine des investissements de R&D, se risquant sur des champs que le secteur privé ignore et ou évite, se voyait confier la mission d'investiguer dans quatre domaines :

- les matériaux avancés ;
- les plates-formes multifonctions ;
- les processus de fabrications avancées ;
- les infrastructures de données.

Nombre des grandes agences fédérales : NASA, DARPA, DOE, NSF, participent à ces investissements et le « crédit d'impôts recherche et expérimentation » (*research and innovation tax credit*) devrait être rendu permanent.

En juillet 2012, démontrant une capacité de réaction contrastant avec celle de l'Union européenne, le « réseau national pour l'innovation industrielle » (*National network for manufacturing innovation*, NNMI) était mis en place.

Le NNMI consiste en un réseau d'instituts groupant industriels, universités, partenaires « gouvernementaux » en fait les différentes agences fédérales mais aussi des organisations à but non lucratif.

Ce réseau national pour l'innovation industrielle regroupe et s'appuie sur un certain nombre d'instituts : « institut pour l'innovation industrielle » (*Institute for manufacturing Innovation*) mais aussi l'institut national pour l'innovation dans la fabrication additive ou NAMII (*national additive manufacturing innovation Institute*). Il s'agit d'un institut pilote, dans un premier temps, dont la direction est installée dans l'Ohio (dans la *Rust belt* américaine c'est-à-dire dans le « vieux » domaine industriel américain, devenue depuis la « TechBelt » dans le couloir Cleveland-Pittsburgh) ; prouvant ainsi que ces régions ne sauraient être laissées à l'abandon par l'État fédéral.

Doté d'un budget de 30 millions de dollars par l'administration fédérale et de 45 millions de dollars engagés par la sphère « privée », l'institut, désormais popularisé sous le nom générique de *America Makes* croît rapidement. Outre les différentes agences fédérales, les universités, les fondations et plus de 40 entreprises dont *General Electric*, *IBM*, *Boeing*, *Northrop Grumman*, *Stratasys*, *Westinghouse Nuclear* en font partie.

L'Allemagne

L'Allemagne offre un exemple particulièrement intéressant de réflexion/action en matière de stratégie dans le domaine de la recherche et de l'innovation au service de son industrie. Il s'agit pour le gouvernement fédéral de « *renforcer la croissance et la prospérité du pays en confortant son attractivité et ses exportations, alors que de multiples voix se font entendre dans ce pays pour souligner l'urgence de renforcer son socle industriel ainsi que celui de l'Europe* »⁴⁵.

Depuis 2006, trois programmes dits de « Stratégie High Tech » se sont succédés dont l'objectif est de faire de l'Allemagne « *l'un des champions mondiaux en termes d'innovation. Pour cela, l'accent est particulièrement mis sur la recherche appliquée et sur la nécessité de raccourcir les délais entre la recherche et l'apparition de nouveaux produits ou services* »⁴⁶.

Plusieurs enjeux ont présidé à la nouvelle définition de cette stratégie dont :

- l'identification des défis prioritaires parmi lesquels l'économie et la société numérique (industrie 4.0, big data, services intelligents, cloud computing, agenda numérique...);
- la promotion des synergies et l'amélioration du transfert de technologie;
- l'impulsion d'une dynamique favorable à l'innovation dans l'économie;
- la mise en place d'un cadre propice à l'innovation;
- la transparence et la participation.

La fabrication additive, déjà présente dans l'appareil productif allemand, fait naturellement l'objet d'attention certaine. Plusieurs plates-formes existent ; ainsi la VDMA compte-t-elle dans ses rangs une association spécialement dédiée à la fabrication additive.

Illustration de l'intérêt porté outre-Rhin à la fabrication additive est le rôle des instituts Fraunhofer. Une « Alliance » de la fabrication additive regroupe onze de ces instituts formant une chaîne abordant le concept de cette technologie dans son ensemble. On rappellera que le but des instituts Fraunhofer se situe autant dans la recherche pure de haute qualité que dans « l'irrigation » du tissu économique allemand. Incidemment on notera que la réflexion américaine, évoquée plus haut, se réfère explicitement au rôle essentiel joué par les « Fraunhofer » dans le développement de la culture scientifique et technique en Allemagne.

Pour ce qui est de l'alliance, celle-ci a centré son activité sur cinq domaines : l'ingénierie biomédicale, l'ingénierie des microsystèmes, l'ingénierie dans les secteurs de l'automobile et aérospatiale, la fabrication d'instruments et l'assemblage.

Enfin, pour mémoire, mais ce point sera abordé ultérieurement, il n'est pas neutre que le DIN soit en quelque sorte leader dans l'exercice de normalisation dans le cadre de l'ISO démontrant par-là l'importance que l'Allemagne attache à ce domaine industriel dans lequel ses entreprises jouent un rôle de premier plan.

⁴⁵ Voir, par exemple, la déclaration de septembre 2014 de M. Thilo Brodtmann, responsable de la VDMA (association allemande de l'ingénierie et de la construction mécanique, regroupant de très nombreuses entreprises) demandant aux autorités européennes de tout faire pour accroître la part de l'industrie dans le PIB de l'Union jusqu'à 20 % d'ici à 2020.

⁴⁶ *Nouvelle stratégie high tech du gouvernement fédéral Allemand*, Ambassade de France en Allemagne, Portail pour la science, septembre 2014.

La Grande Bretagne

Le Royaume-Uni semble compter fermement sur l'impression 3D pour améliorer ses positions en matière industrielle et son réseau universitaire est particulièrement actif en la matière.

Un intéressant rapport d'octobre 2012⁴⁷ remarque, et cela est vrai pour de nombreux pays, que si beaucoup a été écrit sur les capacités techniques de l'impression 3D et sur ses effets potentiels sur la société, peu a été fait en matière de politique en faveur de cette technologie. Les auteurs de ce document, engageant au développement d'une action publique en faveur de la 3D, fondent leurs espoirs sur la formation d'une *3D printing task force* regroupant nombre d'institutions publiques mais aussi des entreprises dont celles du secteur : producteurs de biens et de services, etc.

Des éléments de la conclusion de ce document peuvent s'appliquer à d'autres pays que la Grande-Bretagne, lorsqu'il est évoqué la gestion du temps entre l'apparition d'une technologie et sa « popularisation » la plus large ou le fait que les évolutions futures de la 3D sont encore assez difficilement prédictibles : elle peut ne jamais devenir un marché de masse ou bien ses applications économiques peuvent s'avérer totalement différentes de ce qu'on attend aujourd'hui. Cependant, les pouvoirs publics doivent suivre attentivement ces développements, être préparés à abandonner toutes formes d'intervention si la technologie ne répond pas aux espoirs placés en elle ou les adapter aux évolutions inattendues.

Le mémorandum *Technology and innovation futures : UK Growth opportunities for the 2020s*⁴⁸ traduit certaines de ces préoccupations. Ce document considérant le développement de cette technologie remarque qu'une nouvelle législation s'avère nécessaire notamment pour la protection des droits intellectuels.

Quelques états asiatiques

Parmi les économies du continent asiatique, **la Corée du sud** ambitionne, à l'horizon 2020, de devenir un acteur « majeur » de l'impression additive en représentant 15 % du marché mondial (aujourd'hui, selon les données du rapport *Wolhers*, la Corée ne représenterait que 2,5 % de ce marché) et compter 5 entreprises « innovantes et compétitives » en 3D, alors que le marché des imprimantes 3D dans ce pays devrait croître de l'ordre de 30 % l'an d'ici à 2020.

Début avril 2014, le gouvernement sud-coréen a annoncé son intention de créer des centres technologiques dédiés à cette technologie. Outre un investissement de l'État pour une somme relativement modeste (7 millions d'euros) le plan envisage surtout des programmes de formation et un effort particulier tourné vers les petites entreprises par la mise à disposition gratuite d'imprimantes 3D.

Selon les responsables sud-coréens en charge de l'impression 3D, dans le cadre d'une coordination interministérielle d'une politique qui intègre, outre la 3D, l'internet des objets, le *big data* et l'e-commerce, « *le secteur de l'impression 3D actuel orienté grand public est considéré comme la version 1.0 de l'industrie de l'impression 3D et la stratégie du gouvernement* ».

⁴⁷ Andrew Sissons et Spencer Thompson, *Three dimensional policy why Britain needs a policy framework for 3D printing*, Big innovation centre, octobre 2012.

⁴⁸ Office for Science, *Technology and Innovation Futures : UK Growth Opportunities for the 2020s – 2012 refresh*.

est de l'élargir pour y inclure la production 2.0 basée sur les commandes à distance et le service 3.0 à intelligence intégrée. L'intégration ultérieure avec l'internet des objets devrait permettre la création d'un environnement d'impression 3D intelligent où les services d'impression pourront être exploités par des dispositifs intelligents, des commandes vocales⁴⁹... Enfin, le gouvernement sud-coréen espère que l'impression 3D industrielle et grand public marcheront « main dans la main » au long de ce processus ».

Pour sa part, le **Japon** a engagé un programme de valorisation de la 3D dans son économie, s'appuyant sur l'exemple du secteur automobile. Le gouvernement, mi-2014, vient d'encourager à la formation d'une « alliance industrielle » regroupant une trentaine de sociétés dont Mitsubischi, Nissan, Panasonic, Kawasaki. Chaque partenaire contribue financièrement en complément de l'investissement initial de l'État d'un montant équivalent à 36 millions de dollars. Un certain nombre d'universités japonaises dont l'Institut national des sciences avancées sont associés à cette alliance dont le but est le développement de machines d'impression métal permettant la production en titane (pour les secteurs automobile, aéronautique ou encore aérospatial). Des résultats probants sont espérés pour 2019. Parallèlement, le gouvernement japonais a décidé d'investir dans la formation à la 3D dans l'enseignement supérieur dans un premier temps (universités et écoles techniques), les établissements du secondaire devant s'ajouter fin 2015.

Contestant la primauté des États-Unis dans le domaine de la fabrication additive, la **Chine** s'est lancée depuis plusieurs années dans la compétition, avec pour ambition de dépasser son principal concurrent, en se dotant d'un programme de soutien au développement de cette technologie.

L'*Asian Manufacturing Association* (AMA) a ainsi été créée, avec pour but d'irriguer l'économie chinoise. Mêlant recherche académique et celle des entreprises, l'AMA prévoit de construire 10 centres de recherche et d'innovation en 3D dans dix des plus grands centres de pays, complétant ainsi le maillage universitaire. Chaque centre devrait recevoir une dotation d'environ 20 millions de yuans (environ 2,5 millions d'euros) et compter dans ses locaux des centres de formation et des halls d'exposition. Le premier de ces centres a été ouvert en mars 2013 dans la région de Nankin dans le cadre du programme TORCH (programme de soutien à l'innovation dépendant du ministère de la science et de la technologie).

Début 2013, l'impression 3D est devenue l'une des plus importantes technologies du futur pour la Chine. En effet, le nouveau « programme national de recherche et de développement dans les hautes technologies » (programme 863) a été adopté en avril 2013 par le ministère de la science et de la technologie et met cette technologie au premier rang de ses préoccupations.

Plusieurs des techniques employées feront l'objet d'aides de l'État, notamment celles pouvant servir dans les domaines de l'espace et de l'aéronautique, dans les « alliages » complexes, dans les « hautes températures », voire dans le domaine de l'individualisation des produits (la customisation)⁵⁰.

Singapour n'est pas en reste. Ainsi, le Premier ministre de cet État déclarait en août 2013 que le conseil du développement économique devait investir 500 millions de dollars

⁴⁹ La Corée du sud précise sa stratégie pour que l'impression 3D devienne un moteur de l'économie, *Infohightech* 2014.

⁵⁰ ADIT veille technologique internationale *La Chine dans la course à l'impression 3D*, 28 février 2014 et *China's 3D printing industry set for rapid expansion*, 29 mai 2013 ainsi que « About Asian Manufacturing Association.

(375 millions d'euros) sur les cinq ans à venir dans un plan de soutien au développement de l'industrie de l'impression 3D. En juin 2014, l'ouverture d'un centre de recherche pour l'impression 3D - *NTU Additive Manufacturing Center* - était annoncée fruit d'un partenariat entre l'université technologique de Nanyang et le producteur d'imprimantes 3D *SLM Solutions*. Le partenariat « *vise à développer de nouvelles générations d'imprimantes 3D permettant d'atteindre des échelles d'impression bien plus importantes qu'actuellement et en utilisant tout type de matériaux* »⁵¹.

La position de la France

Une réflexion sur la fabrication additive dans notre pays s'est organisée, au début de la décennie 1990, par le biais de l'association française du prototypage rapide créée en 1992 afin de promouvoir cette technique et d'en structurer le développement y compris au niveau européen.

Comme le relève l'OCDE⁵², « *la France se caractérise par une réflexion stratégique permanente, généralement de grande qualité analytique... Par contre, il apparaît que la cohérence des décisions mises en œuvre est assez faible...* ». La politique « *...est aujourd'hui guidée par plusieurs plans stratégiques ...et se compose d'une multiplicité de plans et mesures sectorielles qui semblent n'obéir à aucune vision plus large* ». L'impression 3D n'échappe pas à cette règle.

Si l'on ne compte plus les rapports officiels sur l'économie numérique non plus que les plans destinés à venir en soutien de son développement, ceux traitant spécifiquement de la 3D sont beaucoup moins nombreux.

Avant d'évoquer les documents officiels, il convient de mentionner le rapport, publié en novembre 2013, par les experts du cabinet *Mc Kinsey France* intitulé « *Industrie 2.0 jouer la rupture pour une renaissance de l'industrie française* » qui mettent en exergue les douze ruptures qui devraient transformer l'industrie à l'horizon 2025, pointe l'impression 3D, au même titre que l'internet mobile, celui des objets, le *cloud computing*, le génie génétique de nouvelle génération, les matériaux avancés, etc. La conclusion du développement consacré à cette technologie vaut d'être rappelée : « *Au total, l'impression 3D provoquera sans doute une mue profonde de l'industrie. Les modèles économiques qui sont apparus sur le Web ces dernières années pour les biens immatériels (crowdsourcing, peer to peer, open source) vont probablement s'étendre au monde physique. Leurs répercussions pourraient être aussi profondes sur les entreprises productrices de biens de consommation qu'elles l'ont été sur les entreprises de médias par exemple. Dans l'industrie manufacturière les gains de productivité potentiels auront le même type d'implications que la robotique : relocalisation de la production de proximité des marchés de consommation, effet de substitution du capital au travail* »⁵³.

Quelques semaines avant la parution du rapport *McKinsey*, le gouvernement lançait dans le cadre de « *la nouvelle France industrielle* » 34 plans de reconquête industrielle, dont un seul, consacré à l'usine du futur, faisait explicitement référence à l'impression

51 ADIT *actualité technologique internationale* BE Singapour 92, Un centre de recherche pour l'impression 3D ouvre ses portes à Singapour, 13 juin 2014.

52 Examen de l'OCDE des politiques d'innovation – France 2014, OCDE version préliminaire 2014.

53 *Mc Kinsey, France Industrie 2.0, op.cit.*

3D⁵⁴. Au-delà d'une approche générale, les différents plans dont la finalité est d'optimiser les synergies entre acteurs industriels, enseignement supérieur et acteurs publics, ont fait l'objet de feuilles de route détaillées. Le plan « usine du futur » doit permettre à notre pays « *d'être au rendez-vous du prototypage rapide, de la convergence des réseaux sociaux, de l'hyper connexion des entreprises, des interfaces homme-machine, de la robotique, de la réalité augmentée, du numérique, de l'impression 3D, de l'intelligence artificielle et du design* »⁵⁵.

Comme on peut s'en apercevoir, le programme est ambitieux se résumant à l'accompagnement du tissu industriel national vers les technologies et les méthodes de production les plus efficaces afin de disposer d'usines performantes « *flexibles, sûres, respectueuses de l'environnement, économes en énergie et assurant la place de l'homme au centre de son modèle* »⁵⁶.

Le plan comporte 31 actions parmi lesquelles, dans les actions de R&D l'impression 3D est présentée ainsi :

« Les États-Unis investissent massivement sur ce créneau qui va constituer une vraie rupture pour nombre de fabrications industrielles. Les filières manufacturières françaises doivent expérimenter ces technologies, en collaboration avec le tissu de PME du domaine, qui est par ailleurs à développer ».

La description détaillée des actions à conduire s'inscrit dans l'idée qu'il convient de « populariser » cet outil dans le domaine de la production et non plus uniquement du prototypage. Outre un approfondissement dans le domaine des machines comme des matériaux, le groupe de travail engage « *au développement d'une offre groupant matériel et logiciel à l'attention des Fabs-Labs et à faire émerger des centres de recherches spécialisés dans tous les domaines de l'impression 3D et à faciliter les partenariats entre ces centres et les constructeurs français d'équipements de production 3D* ». On ne saurait, pour l'heure, aller plus loin.

Le programme « Investissements d'avenir » a été lancé en 2009 par l'État, pour le financement duquel un « grand emprunt » - 35 milliards d'euros - a été lancé. Les investissements d'avenir permettent de financer soit de nouvelles opérations de recherche/développement, soit de remplacer des financements budgétaires de projets déjà existants.

Depuis juillet 2013, un nouveau programme d'investissements d'avenir a été mis en place, visant à financer certaines priorités dans le domaine de l'innovation, de la compétitivité industrielle, du numérique. Le pilotage du nouveau programme est assuré par un commissariat général qui est chargé de veiller à la cohérence de la politique d'investissement de l'État. Le programme se traduit par des appels à projets nationaux destinés à sélectionner des équipes d'excellence. Il soutient également des projets innovants dans certaines thématiques comme le *Cloud computing* ou le *Big data* mais pas l'impression 3D.

⁵⁴ Ministère du Redressement productif, *La nouvelle France industrielle*, septembre 2013.

⁵⁵ *La nouvelle France industrielle*, 34^e plan : Usine du futur, feuille de route, 16 avril 2014, propositions du groupe de travail.

⁵⁶ *La nouvelle France industrielle*, op.cit.

Le rôle de l'Union européenne

La fabrication additive figure assez régulièrement dans les réflexions conduites au niveau communautaire comme un exemple de nouvelle technologie susceptible de promouvoir l'excellence des entreprises européennes. Alors qu'il s'agit de maintenir et de renforcer le secteur industriel européen face à ses différents concurrents, elle illustre aussi assez fréquemment les possibilités offertes par l'usine du futur.

Depuis de très longues années, la Commission européenne réalise ou fait réaliser nombre d'études sur les effets des nouvelles technologies sur le tissu industriel du vieux continent. De même interroge-t-elle chacun sur cette question et multiplie-t-elle les communications sur les différentes stratégies qu'elle entend voir adopter.

Beaucoup des travaux les plus récents abordent le devenir de l'industrie européenne et ont pour objectif de la promouvoir et d'inverser les tendances actuelles et de porter par exemple sa part dans le PIB communautaire à 20 % à l'horizon 2020 alors qu'elle se situe, aujourd'hui, aux environs de 16%. Rappelons que l'industrie représente 80 % des exportations de l'Europe et que 80 % des investissements privés de recherche-développement sont réalisés dans le secteur industriel.

La stratégie numérique de 2010

Pour atteindre l'objectif fixé, la Commission table sur un développement des technologies numériques. À cet égard, dès 2010, elle a mis au point une « Stratégie numérique ». Dans ce document elle relevait entre autres qu'en matière de recherche et innovation, les investissements liés au développement des TIC restaient trop faibles en Europe, particulièrement par rapport aux États-Unis. « *L'Europe investit dans la R&D liée aux TIC un montant qui non seulement représente une proportion des dépenses totales de R&D bien moindre (17 % contre 29 %) mais qui en valeur absolue correspond à peine à environ 40 % des dépenses engagées par les États-Unis (en 2007, 37 milliards d'euros contre 88 milliards d'euros)* »⁵⁷ et de conclure que « *le manque d'investissements dans la R&D liée aux TIC représente une menace pour l'ensemble des secteurs secondaire et tertiaire européens* ».

Dans ce cadre, l'objectif de la Commission est d'accroître le nombre d'entreprises, notamment petites, s'engageant dans le numérique et de renforcer les droits de la propriété intellectuelle en la matière.

Les communications, rapports, etc. se sont ainsi multipliés dans les dernières années avec pour objet la « renaissance industrielle » de l'Union, l'état de son innovation, l'importance d'une politique industrielle intégrée permettant de développer la compétitivité et la « durabilité » du vieux continent. Pour la Commission, rappelant que « *pour asseoir la reprise économique et la compétitivité, il sera primordial de disposer d'une base industrielle forte* »⁵⁸, il convenait de hâter l'investissement dans les technologies de pointe dans six domaines :

⁵⁷ *Une stratégie numérique pour l'Europe*, Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions Bruxelles, 19 mai 2010 com. (2010) 245 final.

⁵⁸ *Pour une renaissance industrielle européenne*, Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions Bruxelles, 22 janvier 2014 COM(2014) 14 final.

technologies de fabrications avancées, technologies clés génériques, véhicules et transports propres, bioproduits, construction et matières premières et réseaux intelligents.

Dans le domaine des technologies de fabrication avancée, pour la Commission, « *il s'agit de mettre en place une communauté de la connaissance et de l'innovation portant sur l'industrie manufacturière à haute valeur ajoutée et établir des partenariats public-privé sur l'industrie de transformation durable touchant à l'utilisation rationnelle des ressources et de l'énergie, aux usines de demain, à la photonique et à la robotique, à la mise à jour des capacités d'innovation et à la compétitivité de l'industrie manufacturière européenne. L'une des prochaines priorités est l'intégration des technologies numériques dans les processus de fabrication, compte tenu de l'émergence de la dimension industrielle de l'internet. Les processus de fabrication intégreront de plus en plus la « datamasse ».*

Ces différents objectifs sont issus de multiples travaux d'experts, dont le plus emblématique est peut-être celui, remis en 2011, portant sur les technologies clés génériques⁵⁹ (TCG) ou *Key enabling technologies* (KET).

Ce rapport rédigé par un groupe de 27 experts de haut niveau et présidé par M. Jean Therme a distingué, pour l'Union, six technologies clés « futurs moteurs de l'innovation dans les processus et les produits » :

- la micro et la nanoélectronique ;
- les matériaux avancés ;
- la biotechnologie industrielle ;
- la photonique ;
- la nanotechnologie ;
- les systèmes avancés de fabrication entendus comme l'addition des systèmes de production et les services associés, les process et les équipements matériels.

Ces technologies dont le caractère « interdisciplinaire » est largement souligné, s'appuient toutes sur un effort intense de R&D, des cycles d'innovation rapides, d'importants investissements et des emplois hautement qualifiés. Elles doivent révolutionner l'ingénierie ou transformer la production de biens, moderniser les marchés traditionnels. Elles apparaissent comme des catalyseurs de la modernisation industrielle. Or, pour la Commission, « *la faiblesse principale de l'UE réside dans les problèmes qu'elle rencontre pour transformer sa base de connaissances en biens et services* »⁶⁰ ce que le rapport du groupe « Therme » appelle la « vallée de la mort ». Une stratégie européenne, reposant sur trois piliers : la recherche technologique ; la démonstration de produits ; les activités manufacturières a donc été mise en œuvre.

D'autres réflexions sont venues étayer les décisions de la Commission. Ainsi peut-on citer un important travail sur la production et le commerce des technologies clés s'intéressant à la position de l'Union dans la « chaîne de valeurs » en termes de contenu technologique et

⁵⁹ *High-Level expert group on Key enabling technologies*, final report 2011.

⁶⁰ *Une stratégie européenne pour les technologies clés génériques – une passerelle vers la croissance et l'emploi* Communication de la commission au parlement européen, au conseil, au comité économique et social européen et au comité des régions, Bruxelles, 26 juin 2012 com. (2012) 341 final.

analysant la spécialisation des États membres⁶¹. Ces documents abordent naturellement la fabrication additive pour en noter la croissance et les potentialités. Ainsi insistent-ils sur les montants prévus de ventes à la fois des produits et des services, les avantages que cette technique procure notamment en termes de coûts ou de risques, d'économies de matières, de capacités de production de petites séries ou encore celles de créer des « *produits correspondant pleinement au XXI^e siècle c'est-à-dire « customisés »*, etc.

La traduction de cette réflexion : le programme « Horizon 2020 » et la « renaissance industrielle européenne »

Passer des mots à l'action est souvent un exercice particulièrement délicat et difficile pour l'Union ; ce que reconnaît volontiers la Commission dans l'un de ces derniers rapports⁶².

Le programme « Horizon 2020 » se présente comme le successeur des Programmes cadre de recherche et développement technologique (PCRD) de l'Union. Démarré en janvier 2014 pour une durée de 7 ans, il est doté d'un budget de 79,2 milliards d'euros visant à soutenir le travail des différents acteurs de la recherche et de l'innovation tant des secteurs publics que privés : organismes de recherche, établissements de l'enseignement supérieur, entreprises... Les partenariats sont particulièrement recherchés dans le domaine des financements et les effets « leviers » des nouveaux mécanismes mis en place sont très attendus. Ainsi, dans son dernier rapport au Parlement européen et au Conseil, la Commission note que « *le mécanisme de financement avec partage des risques, créé conjointement par la Commission et le groupe Banque européenne d'investissement (BEI), garantit que pour chaque milliard d'euros de budget de l'Union, la BEI mobilise 12 milliards d'euros de prêts et plus de 30 milliards d'euros en investissement final en recherche & innovation* »⁶³.

Le programme se concentre sur trois priorités :

- l'excellence scientifique, par la promotion de la recherche fondamentale et l'ouverture de voies nouvelles vers les technologies futures et émergentes, la recherche collaborative et la volonté de doter l'Union d'infrastructures de recherche d'envergure mondiale accessibles à tous les chercheurs, le soutien à la mobilité des chercheurs ;
- la primauté industrielle, un soutien accru à l'innovation, un recours privilégié aux partenariats public/privé en matière de TIC, de nanotechnologies, etc. ;
- les défis sociétaux en favorisant les projets interdisciplinaires permettant de répondre aux grands défis notamment climatiques ou la transition énergétique auxquels l'Union est confrontée et qu'aucun État membre ne peut prétendre relever seul.

⁶¹ E. Van de Velde et Alii *Production and trade in Kets-based products : the EU position in global value chains and specialization patterns within the EU*, final report juin 2013. Voir également *Advanced manufacturing new manufacturing engineering*, Commission européenne, septembre 2013. P. Viola et Alii. *Developing an evaluation and progress methodology to underpin the intervention logic of the action plan to boost demand for European innovations*, groupe technopolis, rapport final pour la commission européenne, 21 mars 2013.

⁶² *Rapport annuel sur les activités de l'Union européenne en matière de recherche et de développement technologique en 2013*, rapport de la Commission au Parlement européen et au Conseil, 4 septembre 2014 com. (2014) 549 final.

⁶³ *Rapport annuel, op.cit.*

Parmi les spécificités du programme « Horizon 2020 », outre son unicité, la Commission met en avant l'accès simplifié aux divers financements et une hausse de l'objectif de participation des PME.

Dans le domaine plus spécifique des systèmes de production, des Partenariats public-privé (PPP) ont été mis en place notamment pour le développement des « usines du futur » (FOF). Six domaines prioritaires ont été identifiés pour « Horizon 2020 » :

- procédé de fabrication avancé ;
- système de production intelligent et adaptatif ;
- numérique, virtuel, efficience au service de l'usine ;
- l'entreprise collaborative ;
- l'humain au centre de la production ;
- la fabrication en réponse aux besoins des clients.

L'accent est mis sur les PME. La fabrication additive est explicitement indiquée parmi les objectifs de R&D à développer, au même titre que les nanotechnologies. Le budget alloué est de 1,15 milliard d'euros pour une période de sept ans courant jusqu'à 2020. La fabrication additive se retrouve dans certaines actions, par exemple dans le domaine des « technologies génériques et industrielles » : action dotée d'un budget de 13,6 milliards d'euros pour la période 2014/2020. Enfin, chaque État a mis en place un réseau de points de contact national.

Synthétisant en quelque sorte ses différentes actions, la Commission s'est prononcée dans une récente communication « pour une renaissance industrielle européenne »⁶⁴.

Cette communication comporte un important chapitre intitulé « modernisation de l'industrie : investir dans l'innovation, les nouvelles technologies, les facteurs de production et les qualifications ».

Rappelant que « *les principaux vecteurs de compétitivité de l'industrie de l'Union resteront l'innovation et le progrès technologique* » la Commission relève que « *les technologies numériques sont au cœur des gains de productivité de l'industrie européenne. Leur puissance de transformation et leur influence croissante dans tous les secteurs sont en train de redessiner les schémas de production et de commercialisation traditionnels et amèneront l'industrie à concevoir de nouveaux produits et surtout de nouveaux services (« servitisation de l'industrie »).* Une transition numérique est en cours dans l'économie mondiale et la politique industrielle doit intégrer les nouvelles possibilités technologiques telles que l'informatique en nuage, le traitement des gros volumes de données « datamasse », l'édification de chaînes de valorisation des données, les applications industrielles de l'internet, les usines intelligentes, la robotique, la conception et l'impression 3D ».

Elle engage dès lors à l'investissement dans l'innovation, rappelant l'effort prévu dans le programme « Horizon 2020 » mais aussi ceux prévus après l'adoption du nouveau cadre financier pluriannuel, au titre des fonds structurels et d'investissement européens « fonds ESI » et propose aux États membres « *d'associer les instruments des politiques régionale et industrielle pour créer des plates-formes de spécialisation intelligente aidant les régions à mettre en place des programmes de spécialisation intelligente, en facilitant les contacts entre les entreprises et les regroupements d'entreprises et en ouvrant l'accès aux technologies innovantes et aux virtualités du marché* ».

⁶⁴ *Pour une renaissance industrielle européenne*. Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions. Bruxelles 22 janvier 2014 Com(2014)14 final.

L'impression 3D et ses conséquences sur les activités productives

L'impact de l'impression 3D sur les modes de production

L'impact économique

L'introduction massive du numérique, dans toutes ses dimensions, commence déjà à bouleverser le monde du travail. Il est relativement aisé d'imaginer, entre autres, les effets de la robotisation de nouvelle génération sur l'activité industrielle et les organisations. À cet égard, l'impact de nouveaux outils, à l'optimum de leur déploiement, devrait être largement supérieur à ce que les vagues successives de robotisation ont pu avoir comme effet dans le passé. On peut, également, penser que les effets du *cloud computing* et du *big data* seront de grandes portées sur des segments entiers des services.

Pour sa part, l'impression 3D, dès lors - comme nous l'avons montré plus haut - qu'elle n'est plus essentiellement utilisée pour le prototypage rapide mais qu'elle produit, industriellement, par exemple, des éléments de plus en plus complexes, souvent en petite quantité et répondant à une demande précise de personnalisation - le concept de « customisation de masse » prend alors toute sa signification - et qu'elle dépasse ainsi le stade du « gadget », ne peut que participer au bouleversement possible ou probable de la production et prendre ainsi toute sa place dans « l'usine du futur » (cette dernière comprenant d'ailleurs des unités de production de toutes tailles).

Ainsi, le rapport « Industrie 2.0 »⁶⁵ souligne pour ce qui concerne la 3D, que « *les modèles économiques qui sont apparus sur le Web ces dernières années pour les biens immatériels (« crowdsourcing », « peer to peer », « open source ») vont probablement s'étendre au monde physique. Leurs répercussions pourraient être aussi profondes sur les entreprises productrices de biens de consommation qu'elles l'ont été sur les entreprises de médias par exemple. Dans l'industrie manufacturière, les gains de productivité potentiels auront le même type d'implications que la robotique : relocalisation de la production à proximité des marchés de consommation, effet de substitution du capital au travail* ».

La « relocalisation de la production » dont il est question ci-dessus (et qui ne doit pas être entendue comme le retour de productions actuellement déjà délocalisées dans les pays émergents mais bien comme le développement de nouvelles activités), est très souvent évoquée aux États-Unis dans nombre d'articles de presse et d'études académiques. Ainsi, un article de la revue *Forbes* conclut que « *cela n'aura plus de sens d'envoyer des matériaux bruts jusqu'en Chine pour qu'ils soient assemblés en produits finis puis renvoyés aux États-Unis. L'industrie manufacturière redeviendra(it) une industrie locale où les produits seront fabriqués à proximité de la demande ou des matériaux bruts* ». À cet égard, un rapport récent de *Transport*

65 *Industrie 2.0 - Jouer la rupture pour une renaissance de l'industrie française*, Mac Kinsey France, novembre 2013.

*Intelligence*⁶⁶ pointe le fait que le développement de l'impression 3D, ayant les effets que l'on vient d'évoquer, emporterait des conséquences sur la chaîne de valeur et conduirait à freiner, voire plus, les tendances constatées de la « globalisation » et impacterait sensiblement les transports. Et le rapport de relever, parmi les conséquences possibles d'un développement industriel de la 3D, l'émergence d'un nouveau secteur de logistique à la fois spécialisé dans le stockage et le transport de proximité des matériaux de base nécessaires aux imprimantes. Ces évolutions, si elles s'opèrent, se feraient sur plusieurs années.

À travers cet exemple, il est permis de penser qu'une partie de l'appareil productif basera son développement sur le concept de proximité. Les entreprises pourraient alors se réinsérer dans leur territoire, retrouver ainsi une véritable assise territoriale ce qui, somme toute, nous ferait revenir à des formes plus traditionnelles que celles que nous connaissons aujourd'hui. Pour certains experts (P. Choderlos de Laclos, Directeur général du CETIM⁶⁷), l'adaptation du système productif à l'ensemble des technologies de l'information (dont la 3D) mettrait en présence deux modèles économiques complémentaires : celui « *d'unités très sophistiquées à fort engagement capitalistique* » et celui composé d'unités plus petites et plus spécialisées, situées à l'interface entre industrie et services. C'est dans ce modèle de proximité que l'impression 3D et ses évolutions apporteraient la performance, la différenciation et la personnalisation, éléments essentiels pour affronter la compétition mondiale.

Pour corroborer cette vision d'un futur possible, un rapport réalisé pour l'Agence nationale de la recherche (ANR) consacré aux systèmes de production du futur⁶⁸ rappelle que « *savoir produire efficacement de petites quantités conduit notamment à de nouveaux paradigmes de la fabrication en micro séries de produits différenciés à la demande soit au sein de micro-usines soit directement chez le client* ».

Les deux types de réflexions, que nous venons d'évoquer, soulignent que le « modèle proximité » a toute sa place même s'il ne saurait se substituer à terme rapproché à la fois à la production de masse et à la grande entreprise.

L'impact écologique

La fabrication additive semble présenter des avantages tangibles en termes de bilan carbone et d'optimisation des ressources naturelles : limitation des transports de marchandises qui pourront être produites au plus près des consommateurs ; économie d'énergie (le Département de l'énergie des États-Unis avance même un chiffre de 50 % par rapport aux méthodes de production actuelles) ; économie de matières premières permises - par comparaison aux procédés traditionnels de fabrication « soustractive » - en n'utilisant que les quantités strictement nécessaires : ainsi, dans l'aéronautique, on estime qu'à partir d'un bloc de matière, l'usinage entraîne 95 % de copeaux, la pièce finale ne représentant que 5 % du total initial. Avec la fabrication additive, réaliser la même pièce n'entraînera

66 J. Manners-Bell et K. Lyon, *The implication of 3D printing for the global logistic industry*, Transport Intelligence Ltd, août 2012.

67 « *L'usine du futur* », *entre compétition mondiale et service au marché local*, Le Monde, 8 juillet 2014.

68 Futurprod, *Les systèmes de production du futur*, Coordination D. Brissaud, Y. Frein, V. Rocchi, novembre 2013.

que l'équivalent de 3 % de déchets, le volume de matière nécessaire étant donc réduit de 100 à 8⁶⁹. Ce nouveau type d'opérations demande enfin moins de temps pour la fabrication, du moins - à ce stade - pour les pièces uniques ou pour les petites séries.

Questionnements sur l'activité professionnelle

L'impression 3D tant au niveau international qu'à celui de notre pays - tout au moins dans les recherches « académiques » - n'apparaît que comme un élément parmi d'autres au sein de l'ensemble des nouvelles technologies et les incertitudes à son égard en terme d'emploi sont grandes, lorsque le sujet est abordé, ce qui n'est pas toujours le cas, loin de là.

Parallèlement, les premières études de terrain spécifiquement consacrées à la diffusion de la fabrication additive en France tendent à montrer une certaine frilosité du tissu des PME à s'approprier cette technologie, que ce soit par méconnaissance des possibilités de production et des nouveaux marchés qu'elle offre, par manque de moyens en R&D ou des dépenses d'investissement et de formation qu'elle entraînerait⁷⁰.

Les très nombreux travaux d'experts qui se succèdent depuis quelques décennies et qui scrutent les effets de l'introduction des nouvelles technologies - particulièrement celles faisant appel au numérique - présentent une double conclusion quand la question de l'emploi et du travail est abordée et que l'on peut résumer ainsi :

- d'une part, les nouveaux outils contribueront à changer l'organisation du travail, par une sorte de déterminisme technicien ainsi que les qualifications, contribuant à modifier sensiblement la hiérarchie au sein des entreprises. Ils permettront l'éclosion de nouvelles compétences. Ils auront un effet positif sur la qualité du travail, les tâches pénibles et répétitives étant désormais dévolues aux machines ;
- d'autre part, l'incertitude règne concernant le volume de l'emploi singulièrement dans le domaine de la production industrielle. L'essentiel de la réflexion prospective sur la question de l'emploi porte surtout sur les effets de l'introduction de la robotique de dernière génération. Ainsi en est-il, par exemple, de l'étude de deux chercheurs de l'Université d'Oxford, estimant que 47 % des emplois de 702 professions enregistrées dans les nomenclatures américaines auraient de fortes chances ou risques d'être concernés par l'automatisation, sous toutes ses formes : logicielle ou matérielle et particulièrement la robotisation (notamment compte tenu de la baisse sensible du prix de ces machines) - en prolongeant, sinon en amplifiant, les tendances déjà observées - à l'horizon d'une décennie voire au maximum de deux décennies⁷¹.

Si les métiers du transport et de la logistique seront encore les plus susceptibles d'être « impactés » par l'automatisation de l'activité, les fonctions administratives et celles dites de support le seront tout autant. La robotique de « nouvelle » génération, dotée de plus grandes capacités « sensorielles » et d'une plus grande dextérité, devrait être à l'origine de la suppression de certains emplois, lesquels ne seraient pas forcément les moins qualifiés.

⁶⁹ Audition de M. Alain Bernard, professeur à l'École centrale de Nantes, devant la section des activités économiques du CESE, 5 juin 2014.

⁷⁰ Cf. *L'impression 3D, enjeux et perspectives*, Direction régionale des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi (DIRECCTE) Centre, en partenariat avec la CCI Centre, décembre 2014.

⁷¹ Carl Benedikt Frey et Michael A. Osborne, *The future of employment : how susceptible are jobs to computerization ?*, Université d'Oxford, septembre 2013.

En France, une étude récente⁷², réalisée en concertation avec les partenaires sociaux de la branche Syntec numérique, laisse augurer des créations nettes d'emplois dans le secteur du numérique professionnel, de l'ordre de 36 000 à l'horizon 2018. Ces créations se feraient davantage dans les secteurs connexes que dans la branche elle-même.

L'étude générale, qui recense les besoins en formation, fait quelques références à l'impression 3D mais concentre son attention sur les éléments les plus déterminants pour elle ; c'est-à-dire le *cloud computing*, l'internet mobile, celui des objets, le *big data* et la robotique de dernière génération.

Le développement de nouveaux métiers et de nouvelles compétences...

Au-delà de ces éléments généraux, on notera le sort « lapidaire » réservé à l'impression 3D et ses effets sur l'emploi dans l'agenda « digital » pour l'Europe de la Commission : « *L'impression 3D rendra nombre d'emplois obsolètes et requerra de nouvelles compétences. Beaucoup de nouveaux emplois seront créés hors du cadre strict de la 3D : experts en technologies de l'information, designers, ingénieurs et experts logisticiens, etc. Les systèmes éducatifs et les marchés du travail auront à répondre à ces besoins* »⁷³.

Dans une autre de ses livraisons consacrée à l'industrie du futur⁷⁴, la Commission engage aux ajustements à envisager pour répondre à la demande de nouveaux emplois plus qualifiés afin de contrôler le processus de production alors que le nombre d'emplois, généralement moins qualifiés, pour réaliser cette production devrait largement décroître. Le besoin de spécialistes formés aux techniques numériques, à l'analyse des risques sous toute leur forme - dans le cas présent, aux risques « techniques » - à la « compréhension méthodologique » (customisation, design pour l'automatisation), etc. interpelle alors les établissements de l'enseignement supérieur : universités ou écoles d'ingénieurs.

Les personnalités auditionnées par la section comme celles rencontrées par le rapporteur, ont corroboré les besoins en spécialistes du design, en conception CAO bio printing ou CAD impression 3D, mais aussi en juristes spécialisés et en commerciaux eux-mêmes spécialisés.

Selon le magazine *Forbes*, la demande en compétences 3D est en croissance accélérée. En l'espace de quatre ans, selon *Forbes*, le nombre d'emplois requérant pour les tenir une compétence « 3D » aurait crû de 1 834 % depuis 2010 et de 103 % entre août 2013 et août 2014. Les compétences les plus demandées sont celles d'ingénieurs projets, de « développeurs d'applications logicielles », de « marketing managers » tant dans le *software* que dans le *hardware*. Les divers métiers d'expertise extérieure sont très recherchés : par exemple, les spécialistes juridiques.

De manière assez symptomatique, on assiste au développement des demandes de free-lances. Les sites spécialisés se font de plus en plus présents sur lesquels les

72 J.F. Lécole et Alii, *Contrat d'études prospectives du secteur professionnel du numérique*, Katalyse rapport final, 21 août 2013.

73 *3D Printing Futurium – European Commission*, <http://ec.europa.eu/digital-agenda/futurium/en/content/3d-printing>.

74 *Business Innovation Observatory. Advanced Manufacturing New manufacturing Engineering*, Commission européenne, septembre 2013.

« professionnels » proposent à la fois leurs services et leurs projets. Il est évident que ces free-lances sont en même temps des *makers*, inaugurant en quelque sorte un nouveau mode d'activité. Parmi les sites les plus importants on compte : 3D-Printing-jobs.com ; 3dprintingindustry.com ; mediabistro.com, etc. Ces sites présentent un caractère mondial. Les offres ou les propositions sont autant américaines que britanniques, indiennes, canadiennes ou encore néerlandaises.

Il n'en reste pas moins que certains métiers très directement « industriels » devraient se maintenir comme ceux permettant la finition des pièces imprimées en 3D par exemple.

... mais quel impact sur le volume globale de l'emploi ?

La diffusion des innovations techniques dans l'appareil productif engendre un processus que, depuis Schumpeter, on nomme « destruction créatrice ». Les nouvelles technologies détruisent des emplois, le plus souvent peu qualifiés dans certains secteurs et en créent d'autres, généralement plus qualifiés, dans d'autres secteurs. Ce phénomène a pu être constaté depuis le début de ce qu'il est convenu d'appeler l'ère industrielle. Il ne s'est pas développé sans heurts naturellement, l'histoire des deux derniers siècles et demi est là pour en témoigner.

Longtemps, le rythme d'introduction des nouvelles techniques a permis une adaptation relativement aisée à défaut d'avoir été toujours sereine. Cependant, dans la période immédiatement contemporaine, l'apparition toujours plus rapide des technologies numériques, leur ubiquité - puisqu'elles s'appliquent indifféremment dans le domaine professionnel comme dans la sphère privée - l'émergence d'une nouvelle économie de réseau, dématérialisée - dans laquelle les individus jouent parfois un rôle équivalent à celui tenu par les grands opérateurs traditionnels -, la faculté qu'elles ont de permettre une production de plus en plus flexible et, avec l'impression 3D, une « customisation » des produits, ont constitué autant d'éléments contribuant à modifier profondément le paysage de la production des biens et des services, voire même au-delà.

Comme le remarque M. Marc Giget⁷⁵, alors que nous vivons une période de poussée technologique considérable, illustrée par un accroissement du nombre de dépôts de brevets, par le nombre des chercheurs dans le monde et par celui des revues scientifiques, dans le même temps, les progrès des nouvelles technologies ont des conséquences redoutables sur les emplois en les détruisant massivement... et pour le moment, note-t-il, les pertes ne sont pas compensées par des créations en volume suffisant comme on a pu le connaître avec l'arrivée de l'électricité ou du téléphone.

Comme le remarquent les auteurs du rapport d'information de l'Assemblée nationale, évoqué précédemment : « *Si le numérique déroute tant aujourd'hui, c'est parce que la deuxième phase de la théorie schumpétérienne tarde à apparaître* ».

Il est peu contesté que l'introduction des technologies nouvelles contribue donc à supprimer des emplois surtout les moins qualifiés « *adressant aux sociétés un défi de formation professionnelle, d'adaptation des compétences et de gestion du chômage* »⁷⁶.

⁷⁵ Marc Giget est Président de l'*European Institute for Creative Strategies and Innovation*, entretien dans 01net du 30 juillet 2013.

⁷⁶ Rapport d'information sur le développement de l'économie numérique française, *op.cit.*

On ajoutera que cette « mutation » technique s'est opérée alors que l'économie se mondialise, permettant à de nouveaux acteurs d'entrer en compétition, de faire valoir certains avantages comparatifs et contraignant par-là nos économies à se restructurer souvent dans des délais très courts, pour maintenir leur compétitivité.

Une recherche similaire à celle des universitaires oxoniens a été menée en France par le cabinet Roland Berger en octobre 2014⁷⁷, portant sur les effets potentiels sur l'emploi de l'introduction des technologies de l'information. Si les six éléments digitaux retenus ne comprennent pas l'impression 3D, les conclusions de cette étude rejoignent celles portant sur les États-Unis. 42 % de tous les emplois français seraient potentiellement automatisables à l'horizon de 20 ans.

Pour ses auteurs, la nouvelle vague d'automatisation ne concernera pas que les emplois manuels. Cependant, et en substance, le tableau possible pourrait être le suivant :

- « *la fragilisation des emplois industriels peu qualifiés se poursuivra ;*
- *plus largement, les bas salaires, associés aux faibles niveaux de qualification, sont les plus exposés dans l'industrie comme dans le secteur tertiaire (services à faible contenu cognitif) ;*
- *mais des emplois intermédiaires sont également à risque. Il s'agit notamment des fonctions administratives d'entreprise, des métiers juridiques ou de nombreuses fonctions d'encadrement intermédiaire, constitués majoritairement d'activités facilement automatisables ».*

En conclusion de l'étude ses auteurs considèrent que « *la vague de transformation digitale à l'œuvre depuis les années 2000 pourrait être aux cols blancs dans la décennie à venir ce que la mondialisation et l'automatisation industrielle ont été aux cols bleus dans les années 1980-1990* ».

L'impression 3D n'est qu'un élément de l'innovation technologique et la plupart des experts estiment qu'elle n'a pas encore montré toutes les potentialités dont elle est porteuse. Cet état de fait explique qu'elle n'apparaisse pas dans les recherches menées que nous avons évoquées.

La plupart de nos interlocuteurs, auditionnés en section ou lors d'entretiens particuliers, n'ont pas envisagé la 3D comme devant, dans un délai moyen, bouleverser le volume de l'emploi. Ils ont, à l'instar des autorités américaines, insisté sur le fait que le développement de cette technologie permettrait de conserver une partie de l'emploi sur le sol national en particulier les services centraux : ceux dédiés à la qualité, etc., ainsi que la R&D.

Plus encore, lors de son audition devant la section, M. J. Puzo remarquait que « *l'impression 3D est une façon de ramener la production près du siège et du service R&D ou du bureau d'études, mais* », ajoutait-il, « *c'est forcément pour de nouveaux projets, pas pour des choses qui tournent depuis 20 ans* ».

Ce point conduit à s'interroger sur le lien qui est fait entre impression 3D et relocalisation des activités. Aucun de nos interlocuteurs n'envisage une telle solution « à l'identique » mais plutôt, comme le soulignait M. C. Moreau, Directeur général de Sculpteo, lors de son

⁷⁷ Think Act, *Les classes moyennes face à la transformation digitale comment anticiper ? Comment accompagner ?* Roland Berger Strategy Consultants, octobre 2014.

audition devant la section, parce que cette technologie donne la possibilité d'innover de manière plus agile et de gagner de la rapidité dans l'innovation ; ce qui « *fait revenir les usines sur les territoires* ».

On sait que le phénomène de « relocalisation » des activités, sans être de grande ampleur, existe et qu'il répond à certaines logiques. Une étude récente⁷⁸ a analysé les trois logiques poussant les entreprises à relocaliser leurs activités. Les relocalisations sont dites soit :

- d'arbitrage ;
- de retour ;
- de développement.

Il apparait, selon nos interlocuteurs, que les relocalisations dues à l'impression 3D participent essentiellement des logiques :

- d'arbitrage - lancement de nouveaux projets, qu'il s'agisse d'investissement dans une technologie innovante ou d'une nouvelle gamme de produit ;
- de développement compétitif pour lequel un repositionnement dans la chaîne de valeur par l'innovation et la montée en gamme s'avère essentiel et pour lequel l'existence d'un « écosystème » de qualité - potentiel de formation, fournisseurs des machines et de matériels, qualité des infrastructures de tous ordres - constitue un critère déterminant.

Formation et recherche publique/privée

Alors que l'impression 3D a plus de trente ans d'âge, on peut considérer qu'elle est encore dans une phase intermédiaire d'industrialisation. Aussi, les innovations proviennent-elles de plusieurs sources de recherche dont celle des utilisateurs eux-mêmes.

Aujourd'hui, la phase d'industrie naissante est dépassée. À l'ère du prototypage succède celle de la fabrication directe. Cependant, la demande de certains utilisateurs n'est pas toujours satisfaite pour des raisons de coût des machines notamment. Comme le remarquent J. P. J. de Jong et E. de Bruijn, dans un article fort intéressant,⁷⁹ pendant des années les imprimantes 3D produites étaient chères et donc réservées en quelque sorte au monde professionnel. Plus récemment des modèles meilleurs marchés ont permis une nouvelle orientation industrielle. Néanmoins, pour ces auteurs, il restait à satisfaire la demande des consommateurs individuels pour que ceux-ci ne fabriquent pas eux-mêmes leurs appareils. Ce modèle, ainsi que certaines de ses variantes, explique le recours au système de l'*open source* et sa popularité dans la communauté des *makers*.

Il n'en reste pas moins, qu'à la base, la formation initiale à cette technologie représente un enjeu important, tout comme elle en représente un - essentiel - aux nouvelles technologies.

⁷⁸ *Relocalisations d'activités industrielles en France*, Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (PIPAME), Ministère du redressement productif /DATAR, décembre 2013.

⁷⁹ Jeroen P. J. de Jong et E. de Bruijn. *Innovation lessons from 3D printing*, MITSLOAN Management review, hiver 2013.

La formation à l'impression 3D

Un rapport récent (2014) d'un groupe d'experts de la plateforme *Additive manufacturing*⁸⁰ met en avant ce point.

Face à la pénurie de formations spécifiques à l'impression 3D - ce qui nous a été confirmé par de nombreux professionnels eux-mêmes - le groupe d'experts propose le développement de modules de formation 3D prenant notamment en compte le « design et la modélisation », particulièrement dans l'enseignement « supérieur/technique » mais aussi l'amélioration de la connaissance générale du sujet dans l'ensemble de l'enseignement.

Or, on ne peut qu'être frappé de la relative absence de formations à cette technologie dans le système scolaire de notre pays. Certes, quelques lycées professionnels et quelques universités proposent des modules de formation à la 3D, cependant comme le souligne le rapport parlementaire sur le développement de l'économie numérique française (précédemment évoqué) « *notre pays est extrêmement en retard sur l'enseignement de l'informatique* ».

Les écoles d'ingénieurs proposent pour certaines d'entre elles des formations à la 3D.

À titre d'exemple, le centre Arts et Métiers ParisTech de Lille propose désormais des formations de courte durée (1 à 5 jours) à l'impression 3D, mêlant théorie et phases pratiques. Après une introduction de caractère général, trois modules abordent : la fabrication numérique avec analyse du retour d'expériences ; la chaîne numérique : du scan numérique à l'impression 3D ; enfin un module intitulé « *repenser ses conceptions avec l'impression 3D : qualifier son besoin en sortant du cadre* ». Ces formations sont ouvertes à toute personne souhaitant mettre en œuvre l'impression 3D « *de façon professionnelle ou par passion* ». L'objectif pédagogique est formulé ainsi : « *A l'issue de la formation, on doit être capable de :*

- *appréhender l'écosystème de l'impression 3D ;*
- *mettre en œuvre toute la chaîne numérique du scan 3D à l'impression 3D ;*
- *introduire l'impression 3D dans ses projets ;*
- *créer ou repenser les conceptions en intégrant les nouvelles possibilités qu'offre l'impression 3D. »*

La situation apparaît peu satisfaisante dans le système « général » hors certaines expériences menées dans des *Fab-Labs* qui proposent des cycles courts de familiarisation à la 3D. Il y a fort à parier que les jeunes élèves devraient être particulièrement réceptifs à ce type d'initiation.

La recherche institutionnelle et les structures de soutien et d'accompagnement

La technologie de la 3D a fait des progrès significatifs ces dernières années. Cependant, il reste à poursuivre les recherches, la plupart collaboratives, dans de nombreuses directions dont naturellement les matériaux, l'équipement et les applications et donc les secteurs ou activités les plus favorables au développement de la 3D.

⁸⁰ *Additive Manufacturing : Strategic Research Agenda 2014.*

Dans le domaine des matériaux, aujourd'hui, les métaux, les plastiques, les céramiques, le tungstène sont largement utilisés alors qu'il y a dix ans les résines formaient l'essentiel de la matière de base. Désormais, le titane, l'aluminium et les alliages comme le nickel-chrome font l'objet de recherches autorisant une certaine diversification.

L'étape suivante pourrait être celle des biomatériaux. Il n'est plus du domaine de l'irréalisable d'envisager l'impression de peau ou d'autres tissus vivants offrant des perspectives spectaculaires dans le domaine du soin aux grands brûlés (cf. à cet égard, les réalisations du *Wake Forest Institute* aux États-Unis dont certains membres ont construit deux bio-imprimantes dont une permettant d'imprimer des cellules directement sur les zones brûlées. Associée au travail d'un scanner qui déterminera à la fois la dimension et la profondeur de la blessure et informée par les données cliniques, l'imprimante pourra alors placer à la fois le type et le nombre de cellules permettant de traiter la brûlure. Ces deux machines n'en sont encore qu'au stade de la recherche).

Dans le domaine des équipements, les recherches s'orientent à la fois sur les capacités des imprimantes c'est-à-dire leur taille mais aussi sur leur vitesse d'impression ou bien encore des machines pouvant imprimer simultanément plusieurs matériaux, etc.

Enfin, dans le domaine des applications et donc des secteurs à fort potentiel, les recherches sont assez actives.

Les coûts de ces recherches sont souvent importants et *de facto* sont partagés entre les budgets publics et ceux des entreprises. Aussi, est-il intéressant de reprendre l'une des réflexions d'un rapport de *l'Institute for Defense Analyses* (IDA, États-Unis)⁸¹ préconisant la signature de contrats « pré-compétitifs » liant « agences » gouvernementales, recherche académique et secteur industriel afin de développer des démonstrateurs et des projets pilotes.

En matière de recherche institutionnelle et collaborative, on mettra plus particulièrement l'accent sur l'apport de deux organismes publics de recherche : le CEA et l'INRIA.

Le CEA

Acteur primordial de la recherche en France, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives intervient dans trois grands domaines dont les technologies de l'information. Il est donc moins étonnant qu'il pourrait y paraître que le Commissariat s'intéresse à la fabrication additive. Au-delà des travaux menés dans le cadre du LETI Grenoble (laboratoire d'électronique de technologie de l'information) qui n'entrent pas dans le champ de ce rapport, il faut noter que le CEA-LITEN, (laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et des nanomatériaux), fort d'un millier de chercheurs assure un partenariat important tant avec des laboratoires académiques qu'avec l'industrie. À ce titre, un partenariat a été finalisé avec *Prodways* (groupe Gorgé) portant sur le développement et l'optimisation des technologies d'impression 3D dédiées à des applications industrielles et biomédicales. Ce partenariat est l'occasion pour le LITEN de disposer d'une plate-forme entièrement dédiée à l'impression 3D et a pour objet d'améliorer les propriétés des matériaux utilisés et d'optimiser les procédés de conception ainsi que le

⁸¹ Scott J. et Alii. *Additive Manufacturing : Status and Opportunities*, IDA Science and technology policy institute, mars 2012.

nettoyage des pièces polymères, céramiques ou métalliques alors que les systèmes en cause seront multi-matériaux⁸².

Selon la directrice du CEA-LITEN, Mme Florence Lambert, « en donnant à *Prodways* accès aux compétences du LITEN sur les matériaux et les procédés, celui-ci remplit son rôle d'accélérateur d'innovation au service des industriels et contribue à placer cette entreprise dans une position de leader sur différents segments du marché de l'impression 3D en pleine expansion ».

L'INRIA

L'Institut national de recherche en informatique et en automatique, établissement public à caractère scientifique et technologique depuis 1985⁸³, constitue un ensemble de rang international avec ses huit centres régionaux. L'institut compte aujourd'hui près de 4 500 personnes dont près de 3 500 « scientifiques » (en 2013 : 1 772 chercheurs et enseignants-chercheurs, 1 280 doctorants et 258 « post doc » répartis dans 172 équipes-projets dont 139 fonctionnent en collaboration soit avec des universités soit avec d'autres établissements publics).

L'institut est, depuis sa création, dédié aux sciences du numérique mais également au transfert de technologies vers le monde de la production, grandes entreprises comme PME. Parmi les thèmes de recherche, il faut noter que dans son dernier rapport d'activité publié (rapport 2013) l'impression 3D fait l'objet d'un chapitre spécifique, intitulé « *Inventer la production* » dans lequel l'institut dresse le bilan de ses actions dans les domaines des algorithmes et des logiciels notamment visant à la simplification de la création d'objets virtuels. D'autres études conduisent les chercheurs de l'INRIA à développer des imprimantes 3D pouvant réaliser, grâce à des logiciels adaptés, des objets non seulement fidèles aux modèles virtuels mais qui obéissent aussi aux lois physiques comme celles de l'équilibre⁸⁴.

L'action de quelques structures de soutien et d'accompagnement

L'accompagnement de la recherche et du développement de l'impression 3D dans le tissu industriel français participe d'un ensemble plus vaste : celui de l'irrigation de l'innovation « numérique » dans ce tissu productif. Ce sujet est l'objet de très nombreux rapports, dont certains de notre institution, et il fait l'objet, aussi, de beaucoup d'initiatives. Ainsi, à titre d'exemple, les « actions » inscrites au budget de l'État en matière de recherche industrielle, au nombre de trois, visent pour deux d'entre elles au soutien et à la diffusion de l'innovation technologique et au soutien de la recherche industrielle stratégique, la troisième visant les organismes de formation supérieure et de recherche. Il existe une « multitude » de dispositifs dont on peut se demander si elle ne nuit pas plutôt à son objectif de favoriser le passage de la recherche à l'innovation.

82 Cf. *Prodways* et le CEA s'associent pour développer les technologies d'impression 3D de demain www.cea.fr/cea-tech/actualites/parteneriat-prodways-liten-140966.

83 L'institut a été créé en 1967 sous le nom d'IRIA et était alors un des principaux éléments du Plan Calcul lancé en 1966.

84 INRIA, *Comment faire tenir des objets obtenus par impression 3D dans la posture que l'on souhaite et sans support ?*, octobre 2013.

Le paragraphe qui suit dépasse le bref examen de quelques-unes des structures mises en place pour accompagner le transfert de l'innovation vers les entreprises. En effet, certains des fleurons de la recherche publique française y seront abordés, non point tant dans leur domaine d'excellence mais plutôt en tant que partenaires des efforts de recherche de plus petites structures de production.

Le réseau des instituts Carnot

Le réseau des 34 instituts Carnot a pour objectif de développer une recherche partenariale avec les entreprises et les collectivités territoriales. Pour ce faire ils mènent une politique d'accompagnement R&D auprès des entreprises dans le cadre d'un réseau permettant de développer des synergies⁸⁵.

Ces instituts sont, pour la plupart, des laboratoires publics reconnus par un label accordé par le ministère en charge de la recherche lequel assure le pilotage du dispositif. Les instituts sont régis par une charte précisant la qualité des relations avec les partenaires socio-économiques, la recherche académique, la propriété intellectuelle, la gouvernance, etc.

L'Agence nationale de la recherche est en charge de la gestion financière et du suivi du dispositif. L'agence est l'outil de la mise en œuvre du financement de la recherche sur projets en France. En outre, la position de l'agence dans les coopérations européennes et internationales a été renforcée par les dernières dispositions juridiques (décret n° 2014-365 du 24 mars 2014) ce qui lui permet de se coordonner avec ses homologues européennes.

Parmi les grands domaines de compétences du réseau, on trouve la trilogie : mécanique, matériaux et procédés. C'est dans ce domaine que se situent les efforts en matière d'impression 3D, réalisés par les instituts Carnot comme MICA (Materials Institute Carnot Alsace) ou ICEEL (Institut Carnot énergie et environnement en Lorraine) dont l'expertise est reconnue en matière notamment des matériaux et des procédés industriels.

À titre d'exemple, dans le cas de MICA, IREPA LASER (évoquée plus haut) a conçu une machine de fabrication additive EasyCLAD® MAGIC, en partenariat avec le Groupement des industries françaises aéronautiques et spatiales (GIFAS), certains autres instituts Carnot comme M.I.N.E.S et ARTS et la société ATECA, sous-traitant aéronautique. Le modèle de machine 3D placé dans une cabine de 8 m³ autorise la fabrication de pièces de grande dimension et de masse pouvant atteindre 300 kg. Une société nouvellement créée a reçu cette machine. Cette société (BeAM) fabrique et commercialise les machines de la marque EasyCLAD qui offrent des possibilités de gains appréciables dans la réalisation comme dans la réparation de pièces complexes en aéronautique comme dans le « médical ».

Certaines des équipes d'ICEEL travaillent dans le domaine des procédés d'usinage et d'assemblage des matériaux en couche et de l'application logicielle pour le procédé de prototypage rapide par « stratoconception », c'est-à-dire selon un procédé permettant la fabrication, couche par couche, d'un objet dessiné en CAO, sans aucune rupture de la chaîne numérique ou d'outillage rapide particulièrement de moules en tous matériaux. On peut

⁸⁵ Les instituts Carnot représentent 15 % de la recherche publique française. Ils ont été consolidés par un fonds de 500 millions d'euros dans le cadre du programme des investissements d'avenir. On notera avec intérêt l'existence d'un programme inter Carnot-Fraunhofer financé conjointement par l'ANR et le ministère allemand en charge de la recherche. Ce programme a notamment pour objet de financer des projets communs « Carnot/ Fraunhofer » dans plusieurs domaines dont celui des technologies de l'information et de la communication.

signaler le partenariat lié entre l'institut Jean Lamour, composant d'ICEEL et les « Ateliers CINI SA » initié par le pôle de compétitivité Materialia (soutenu par BPI France) qui a débouché sur le développement d'une gamme nouvelle de matériaux composites pour la fabrication rapide de pièces fonctionnelles allégées par frittage laser sélectif (SLS)⁸⁶.

À la suite de Mme Berchon⁸⁷, l'on peut encore citer comme laboratoires traitant de la 3D, ceux de l'université de technologie Belfort-Montbéliard (UTBM) et de l'Institut de recherche en communications et cybernétique de Nantes (IRCCyN) travaillant sur l'ingénierie des systèmes, produits, performances et perceptions.

Les centres techniques

Les centres techniques industriels constituent également une ressource importante pour le transfert de l'innovation dans les entreprises. Ces structures, au nombre de 21 réparties sur tout le territoire national, ont pour vocation de promouvoir le progrès technique et l'adaptation des entreprises aux besoins du marché, par des activités de recherche-développement, d'innovation et de diffusion des connaissances techniques, ainsi que le souligne un récent rapport qui leur est consacré⁸⁸. Selon le président du réseau des centres techniques industriels près de 40 000 entreprises entrent en contact avec les centres chaque année.

Parmi les centres techniques les plus avancés dans le domaine de la 3D, on compte, naturellement pourrait-on dire, le Centre technique des industries de la mécanique (CETIM). Le CETIM, au demeurant labellisé institut Carnot, accompagne environ 4 000 entreprises du secteur (sur un total de l'ordre de 31 000). Il propose à ses clients une offre de six *work packages* : de l'analyse de la pertinence du recours à la 3D dans les domaines d'application de l'entreprise à l'assistance à l'installation et au démarrage et à l'organisation de la production, en passant par les étapes de la reconception des pièces, l'évaluation de la solution envisagée, les essais, l'assistance à la maîtrise d'ouvrage et l'intégration des nouveaux moyens dans l'environnement de l'entreprise⁸⁹.

Les pôles de compétitivité

Lancés en 2004, les pôles de compétitivité représentent la concrétisation de la théorie des clusters, développée par Michael Porter dans les années 1980. Ces pôles ont vocation à rapprocher sur un même territoire des entreprises, des centres de formation et des unités de recherche d'un même secteur d'activité dans le but d'élaborer des projets innovants.

On compte aujourd'hui 71 de ces entités labellisées par l'État. Sept d'entre elles sont mondiales et onze en ont la vocation. Le financement est pour partie assuré depuis mars 2006 par un Fonds unique interministériel (FUI) et, pour une autre part, par l'ANR dans le cadre d'appels à projets partenariaux ainsi que par l'agence pour l'innovation industrielle (AII) et BPI France à la fois dans le cadre des appels à projets R&D du FUI ou dans celui des Projets de recherche et développement structurants pour la compétitivité (PSPC).

⁸⁶ *Les instituts Carnot la recherche pour les entreprises 60 exemples de recherche partenariale*, Réseau des instituts Carnot, juin 2012.

⁸⁷ Mathilde Berchon, *L'impression 3D*, Eyrolles, 2014, *op.cit.*

⁸⁸ Clotilde Valter, *Les CTI (centres techniques industriels) et CPDE (comités professionnels de développement économique) au service du redressement productif*, rapport remis au Premier Ministre, octobre 2014.

⁸⁹ CETIM. *Fabrication additive, fabrication directe, impression3D, prototype rapide*, 2014.

Les pôles sont naturellement spécialisés. Certains sont à vocation « mécanique », d'autres travaillent sur les matériaux, etc. Plusieurs prennent en compte si l'on peut dire la fabrication additive sans que cela apparaisse très nettement tout au moins dans les statistiques officielles. On pense au pôle EMC2 (dont les établissements qui ressortissent de son champ de compétence s'intéressent aux technologies avancées de production : fabrication de machines et équipements divers) ou à Viameca, Microtechniques, Minalogic, Materialia, etc.

Pour ce qui concerne Viameca, ce pôle mène le projet FALAFEL (fabrication additive par laser et faisceau d'électrons) visant à mettre en œuvre et à valider, dans des conditions industrielles sur composants aéronautiques, des procédés de fabrication directe de pièces métalliques ou composites à matrice métallique et de faire émerger une filière nationale à la pointe de ces nouveaux procédés, concernant notamment les technologies de fabrication de machines dédiées. L'objectif affiché est de réduire le temps et les coûts de fabrication des pièces, d'en réduire le poids et de disposer d'une technologie propre et flexible par rapport à l'usine de masse et par là au final de participer à la création d'une filière stratégique française d'industrialisation des procédés de fabrication additive.

Lors de son audition par la section des activités économiques, M. Puzo, Président de Materialia, rappelait que la stratégie « *était de faire monter en gamme les PME grâce à des projets innovants à base de nouveaux matériaux. Le rôle du pôle est de mettre en relation des PME avec des chercheurs académiques et des écoles de formation* ». Un cluster « fabrication additive » a été créé par le pôle à Charleville-Mézières et, selon l'auditionné, « *il s'agit de prendre une dizaine de PME de la région, des équipes de l'université de Champagne-Ardenne, quelques écoles des environs et de les faire réfléchir, travailler, investir en fabrication additive* ».

En février 2013, les contours d'une nouvelle phase des pôles ont été dessinés : « pôles 3.0 » par laquelle on envisage de faire de ces structures des « usines à produits d'avenir ». Cette phase serait aujourd'hui à l'arrêt⁹⁰.

Le rôle de l'Association française de prototypage rapide (AFPR).

L'AFPR rassemble un ensemble d'acteurs français de l'impression 3D. Comme le rappelait le professeur A. Bernard, lors de son audition par la section des activités économiques, l'AFPR a pour objectif de :

- rassembler les partenaires de la fabrication additive ;
- répondre à des besoins multisectoriels ;
- favoriser la formation et le transfert de technologie ;
- rassembler, capitaliser puis diffuser l'information la plus objective et la plus complète ;
- soutenir les projets innovants ;
- construire un lien d'échange didactique et technique ;
- se positionner dans un cadre européen et mondial.

Depuis 1992, l'association organise des assises européennes du prototypage rapide. La 19^e édition des assises a eu lieu en juin de cette année. Le professeur Bernard remarquait

⁹⁰ C. Erhel et L. de La Raudière, députées, *Le développement de l'économie numérique française*, rapport d'information déposé par la commission des affaires économiques de l'Assemblée nationale n° 1936, 14 mai 2014.

à ce propos qu'une dynamique semblait enclenchée dans le domaine de la 3D et qu'entre chercheurs, sociétés de conception ou de services et producteurs, une filière était en passe d'être créée. Il appelait de ses vœux à la création d'une *task force* qui pourrait ainsi bénéficier de moyens afin « *d'engager un processus non pas de mutation technologique mais d'évolution de grande ampleur pour que la fabrication additive puisse prendre toute sa place dès la conception des pièces* ». Il appelait également à ce « *que les industriels s'impliquent davantage dans l'appropriation de ces techniques mais aussi dans les avancées au plan de la connaissance à travers par exemple le recrutement de doctorants en convention CIFRE* »⁹¹. Rappelons que le dispositif des Conventions industrielles de formation par la recherche (CIFRE) subventionne toute entreprise de droit français qui embauche un doctorant pour le placer au cœur d'une collaboration de recherche avec un laboratoire public. Les travaux aboutissent à la soutenance d'une thèse en trois ans. Les CIFRE sont intégralement financées par le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche qui en a confié la mise en œuvre à l'Association nationale de la recherche et de la technologie (ANRT).

On remarquera avec intérêt que les 9^e rencontres du Collège des sciences de l'ingénierie et des systèmes (CSIS), structure collaborative entre quatre établissements : Centrale Paris, Normale sup Cachan, SUPELEC et l'université Paris-Sud ont été organisées à l'occasion des assises européennes de la fabrication additive. À cette occasion un centre de compétences en fabrication additive devrait être créé tirant bénéfice du potentiel scientifique du plateau de Saclay. Ce centre, dont l'ouverture est prévue en 2015, sera porté par l'institut de recherche technologique SystemX qui contribuera à son financement et à sa gestion. Le centre devrait être doté de machines de dernière génération destinées à mener des projets de recherche et des actions de formation tant initiales, pour les élèves ingénieurs et les étudiants en licence/master, que continue pour les personnels des différents partenaires industriels⁹².

Le financement

L'accès au financement constitue, avec l'autofinancement, un facteur essentiel du développement et de la pérennisation des entreprises. La comparaison avec l'étranger n'est pas à l'avantage de notre pays. À titre d'exemple, l'Association française des investisseurs pour la croissance (AFIC) relève que le capital-innovation français est 33 fois moins développé qu'aux États-Unis (642 millions d'euros contre l'équivalent de 21,3 milliards d'euros) et son poids dans le PIB « pèse » 5,7 fois moins qu'aux États-Unis (0,3 % contre 1,8 %). On remarquera que la position française n'est pas meilleure par rapport à certains de ses voisins européens comme la Grande Bretagne ou les États de l'Europe du nord.

Le capital-investissement répond, pour partie, aux besoins de financement de l'économie. Pour l'industrie française, ces besoins sont évalués à environ 12 milliards d'euros par an selon les représentants de l'AFIC.

Le capital-investissement agit sur quatre segments :

- le capital-innovation assurant le financement des entreprises (souvent des *start-up*) de leur naissance à leur « rentabilité » ;

⁹¹ Retour sur les assises européennes de la fabrication additive. *Vu (d')ailleurs*. Entretien entre S. Allemand et A. Bernard Paris-Saclay 30 juin 2014.

⁹² *Paris-Saclay à l'heure de la fabrication additive. Innover/entreprendre*. Entretien entre S. Allemand et L. Michard, directeur exécutif du CSIS, Paris Saclay, 20 juin 2014.

- le capital-développement concernant les entreprises ayant franchi le premier stade, donc en croissance. Il s'agit surtout de PME ;
- le capital-transmission ;
- le capital-retournement.

Seuls les deux premiers segments nous intéressent dans ce rapport.

Si les phases d'amorçage sont plutôt bien couvertes, notamment par le financement participatif des « *crowdfunding* », si l'activité des « *business angels* » continue de croître, la phase de capital-développement est beaucoup plus délicate à négocier.

Le bilan de l'activité de l'AFIC⁹³ qui regroupe plus de 270 sociétés de gestion actives montre une forte croissance des montants investis en capital-innovation pour le dernier exercice connu (2013) : + 45 % par rapport à 2012 pour un montant de 642 millions d'euros dans 489 entreprises et, malheureusement, une baisse des montants investis dans le capital-développement (1 827 millions d'euros en 2013 pour 802 entreprises contre 1 946 en 2012 dans 871 entreprises).

94 % des entreprises soutenues en capital-innovation avaient reçu moins de 5 millions d'euros et 88 % des entreprises soutenues en capital-développement avaient reçu moins de 5 millions d'euros. On remarque, enfin, que la répartition sectorielle des investissements innovation donne la première place (sur la période 2009-2013) aux « biotechs » (34 %) devant les entreprises du numérique (24 %) suivies par celles du secteur de l'énergie (14 %).

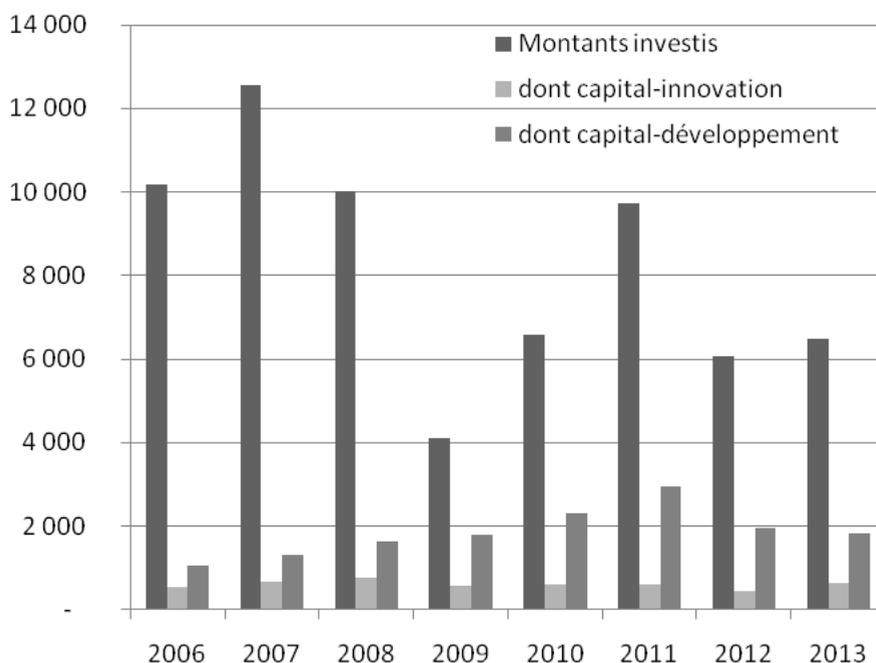
Beaucoup de fonds concentrent leur intérêt sur les secteurs précédemment évoqués. Un fonds spécialement dédié à la robotique française et européenne a été créé en mars 2014⁹⁴. « *Robolution capital* » s'intéresse plus particulièrement à la robotique de service allant jusqu'aux « *cobots* » (systèmes automatisés à l'interface de la robotique et de l'humain), aux exosquelettes et aux drones à usage de service dans le secteur de l'énergie ou de l'agriculture. On voudrait croire que l'impression 3D fait partie de cette approche « futuriste ».

On citera également la création du Livret d'épargne « Troisième révolution industrielle », un produit financier innovant lancé en janvier 2015 par la Chambre de commerce et d'industrie Nord de France et le Crédit coopératif qui souhaitent associer les habitants au financement d'entreprises. Rémunéré au taux de 1,75 % jusqu'à 1 500 euros (pour encourager les épargnants modestes) et de 0,8 % au-delà avec un plafond de 100 000 euros (l'argent restant totalement disponible) ce livret permettra d'attribuer des prêts bonifiés à des projets correspondant à au moins un des huit « piliers » retenus : l'efficacité énergétique ; le passage aux énergies renouvelables ; les bâtiments producteurs d'énergie ; le stockage de l'énergie ; l'internet de l'énergie ; la mobilité des personnes et des biens ; l'économie circulaire ; l'économie de la fonctionnalité.

⁹³ *Activité des acteurs français du capital-investissement en 2013*, AFIC/Grand Thornton, avril 2014.

⁹⁴ Lancé à l'initiative de Bruno Bonnell et de la société de gestion Orkos Capital, ce fonds réunit des investisseurs institutionnels, industriels et privés (dont le Fonds européen d'investissement, AG2R La Mondiale, BPIFrance, Orange, EDF et Thales).

Fig. 2 : Les chiffres clés du capital-investissement en France



Source : AFIC, *Activité des acteurs français du capital-investissement en 2013* (avril 2014), graphique CESE.

On ne saurait clore ces développements sans évoquer les soutiens financiers apportés. Comme le rappelle l'OCDE, le système français d'aide publique (ou non) à l'innovation est considérable par son ampleur et sa diversité. BPIFrance, tout à la fois organisme de garantie et de cofinancement, joue un rôle important dans ce dispositif. Le groupe public agit en appui des politiques conduites par l'État et les collectivités régionales provoquant un effet de levier, le système bancaire étant généralement associé à la même hauteur. La loi lui donne notamment pour mission de favoriser l'innovation, l'amorçage, le développement, l'internationalisation et la mutation des entreprises.

BPIFrance gère ainsi, dans le domaine de l'investissement-innovation, cinq fonds directs pour 1,1 milliard d'euros (et 114 millions d'euros investis en 2013) et, dans son rôle de « fonds de fonds innovation », compte 56 partenaires pour un total géré de 3,1 milliards d'euros.

Elle utilise donc plusieurs types d'outils financiers pour favoriser l'investissement dans l'innovation et être ainsi « *au plus près du terrain* ». Un nouveau plan « fédérateur » : Nova lui permet de viser à une plus grande simplification et à une accélération des procédures, à davantage de services d'accompagnement et à un continuum de financement.

L'impression 3D est entrée dans les préoccupations de BPIFrance par la remontée d'expérience des experts « de terrain » de la banque qui l'ont estimée comme une problématique essentielle pour les entreprises. Récemment, en octobre 2014, le groupe a abordé cette technologie dans le cadre de séminaires thématiques, mettant l'accent sur les mutations qu'elle pourrait apporter dans la production et l'organisation du travail. Le séminaire d'octobre présentait la double ambition d'évoquer la technique et de « *faire sauter*

le pas aux entreprises, le système étant tellement imprédictible qu'il faut mettre tout le monde en contact avec cette technique car si la révolution est là il faut en être »⁹⁵.

Des exigences renouvelées en matière de sécurité

Les nouvelles modalités de production rendues possibles par le processus de fabrication additive soulèvent également des questions importantes en matière de sécurité, qu'il s'agisse des aspects juridiques (et de leurs conséquences économiques) mais aussi, plus largement, des risques liés à la qualité et à l'utilisation illégale et/ou dangereuse des objets pouvant ainsi être réalisés.

Sécurité juridique : impression 3D et propriété intellectuelle

L'impression 3D étant une technique de fabrication étroitement liée aux développements les plus récents de la technologie numérique qui facilitent - via l'existence de numériseurs 3D - la copie autorisée ou non et la diffusion en ligne de plans puis la fabrication - par l'imprimante 3D elle-même - d'objets concrets à partir de ces fichiers, il est logique de retrouver ici les types de débats nés de la numérisation des contenus créatifs (musique, films, livres...) qui a bouleversé les industries concernées. Cette évolution apparaît d'autant plus inévitable que les prix des équipements baissent régulièrement de manière significative.

Les problèmes soulevés portent bien entendu sur la mise en œuvre du respect de la propriété littéraire et artistique et donc du **droit d'auteur**. Ce dernier - qui, lui, n'exige pas de formalité d'enregistrement - n'est toutefois pas le seul concerné : les droits de la propriété industrielle peuvent également l'être, qu'il s'agisse des **brevets**, des **dessins et modèles** ou encore des **marques** d'autant que l'utilisation de cette innovation a d'ores et déjà quitté le seul champ des maquettes et des prototypes au sein duquel il s'est d'abord cantonné pour s'étendre à de très nombreuses productions⁹⁶.

La distinction entre usages commercial et privé

L'utilisation de la technologie de l'imprimante 3D par des professionnels **dans un but commercial** est naturellement soumise aux règles générales en vigueur protégeant la propriété intellectuelle : en l'absence d'autorisation du titulaire des droits, l'impression tridimensionnelle de l'objet protégé sera considérée comme une contrefaçon et constitue donc un délit impliquant l'entreprise qui a réalisé l'impression comme son client. En ce sens, « *aussi révolutionnaire soit-elle, l'impression 3D n'entraînera pas de révolution juridique* »⁹⁷ même s'il est toujours possible de se demander si, à force d'adaptations successives, ce droit ne

⁹⁵ Paul-François Fournier, Directeur de l'innovation de BPIFrance, lors d'un entretien avec le rapporteur.

⁹⁶ L'ensemble des dispositions législatives et réglementaires concernant ces droits sont regroupées dans le Code de la propriété intellectuelle (CPI) dont la 1ère partie concerne la propriété littéraire et artistique (le droit d'auteur et ses droits voisins) tandis que la 2e partie porte sur la propriété industrielle : les dessins et modèles (livre V), les brevets (livre VI) et les marques (livre VII).

⁹⁷ Audition de Mme Aude Vivès-Albertini, Avocate au Barreau de Paris, devant la section des activités économiques du CESE le 18 septembre 2014.

finira pas par changer de nature. Mais, s'il semble que les principes légaux et jurisprudentiels actuels soient suffisants, les propriétaires de droits et ceux chargés de les faire respecter devront - doivent déjà - s'organiser et se former pour faire face à ces nouveaux outils de production utilisables par des contrefacteurs.

En effet, les stratégies de défense des titulaires de droits et la mobilisation des autorités administratives et judiciaires doivent évoluer pour que la prévention et la répression tiennent compte de l'accroissement du nombre des acteurs et de la variété de leurs interventions dans la chaîne de production qui constituent autant d'occasions de fraude potentielle (depuis la fabrication et la vente d'imprimantes 3D jusqu'à l'impression des objets eux-mêmes en passant par la fourniture des matériaux et des services d'impression, la création et le téléchargement des fichiers CAO, les plateformes de partage ou de vente). Pour autant, les principes du Code de la propriété intellectuelle peuvent être transposés sans difficultés majeures.

Concernant les véritables créations numériques originales destinées à une impression 3D⁹⁸, une incertitude semble toutefois exister sur la possibilité de pleinement les protéger, que ce soit en tant qu'« œuvres de l'esprit » susceptibles de bénéficier du droit d'auteur ou encore au titre des divers droits de la propriété industrielle. Certains envisagent donc une explicitation de la réglementation dans ce domaine - source potentiellement importante de contentieux - qui s'oppose cependant à la philosophie du libre accès aux données très présente dans le milieu des internautes.

À l'inverse, concernant les particuliers, l'utilisation pour leur propre usage et **hors de toute relation commerciale** ne constitue pas une contrefaçon tombant sous le coup de la loi, que l'on se réfère à la protection :

- du droit d'auteur (qui dispose notamment que celui-ci 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* »⁹⁹);
- des dessins et modèles (« *Les droits conférés par l'enregistrement d'un dessin ou modèle ne s'exercent pas à l'égard d'actes accomplis à titre privé et à des fins non commerciales* »¹⁰⁰);
- des brevets (les droits conférés par ceux-ci ne s'étendant pas « *aux actes accomplis dans un cadre privé et à des fins non commerciales* »¹⁰¹);
- des marques (le critère retenu pour établir la contrefaçon étant celui d'une utilisation de la marque qui ne soit pas « *étrangère à la vie des affaires* »¹⁰² et qui tende à l'obtention d'un avantage direct ou indirect de nature économique).

Toutefois, le problème nouveau posé par cette exception de copie privée appliquée à l'impression 3D tient à ce que, dans le contexte d'une large démocratisation de ce nouvel outil de production et comme l'indique l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (OMPI), « étant donné l'échelle mondiale de la fabrication, les enjeux pourraient être

98 Par opposition aux fichiers numériques 3D obtenus en « scannant » un objet réel qui existe déjà.

99 Article L. 122-5, 2^o du CPI qui précise toutefois « 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 autre que la copie de sauvegarde [...] ainsi que des copies ou des reproductions d'une base de données électronique ».

100 Article L. 513-6 a) du CPI.

101 Article L. 613-5 a) du CPI.

102 Cf. Cour de cassation, arrêt n°464 du 10 mai 2011.

plus importants »¹⁰³ pour les résultats économiques des entreprises concernées. Celles-ci pourraient ainsi, à terme, voir une partie de leur clientèle potentielle s'évaporer par la facilité avec laquelle les particuliers pourraient fabriquer, pour eux-mêmes mais de façon massive, des copies d'objets physiques. L'OMPI souligne ainsi le danger que certaines entreprises soient à terme découragées d'investir dans la recherche-développement et la conception de nouveaux produits.

C'est donc bien à la nécessité de parvenir à un nouveau modèle économique que pourraient être prochainement confrontés certains industriels face à cette mutation : la valeur ajoutée n'apparaît plus uniquement dans la vente de produits finis ou de services en aval (pièces détachées, réparation) fournis par des professionnels, mais se répartira désormais sur la totalité d'une chaîne de production au sens large incluant, en amont, la conception et la mise à disposition (gratuite ou rémunérée) des fichiers numériques préalables à l'impression tridimensionnelle.

Le « buzz » médiatique actuel sur l'impression 3D personnelle ne doit toutefois pas conduire à faire croire que les particuliers pourront très bientôt fabriquer eux-mêmes, chez eux et à partir d'une même machine, la plupart de leurs objets usuels. Compte-tenu des contraintes techniques (nécessité d'une maîtrise des logiciels, petite taille des machines, nombre de matériaux disponibles encore très limité...) et de coût, la réalité actuelle - et pour, au moins, les dix prochaines années - est très loin de le permettre¹⁰⁴. A plus long terme, les avis sont partagés entre les observateurs qui n'excluent pas des avancées technologiques plus ou moins spectaculaires dans ce domaine et ceux qui, considèrent, dès à présent, que « *les imprimantes 3D ne s'imposeront jamais dans les foyers* »¹⁰⁵.

Mais l'impression 3D des particuliers ne passe pas forcément par l'équipement des ménages en machines de fabrication additive. Comme le souligne notamment une étude de l'Institut national de la propriété industrielle (INPI), « *dans l'immédiat, l'usage de l'impression 3D par le grand public apparaît donc plutôt anecdotique. Cependant de nombreuses sociétés présentes sur internet proposent aux particuliers des services d'impression d'objets à partir de leur propre modèle numérique ou à partir d'un catalogue de modèles mis à leur disposition sur une plateforme numérique* »¹⁰⁶, ce qui peut légitimement inquiéter les créateurs.

Il reste que les copies privées « *ne peuvent porter atteinte à l'exploitation normale de l'œuvre ni causer un préjudice injustifié aux intérêts légitimes de l'auteur* »¹⁰⁷, principe qui peut servir de base à certaines des formes de régulation les plus fréquemment avancées dans le débat public.

¹⁰³ Catherine Jewell, *L'impression 3D et le futur des objets*, OMPi Magazine, juin 2013.

¹⁰⁴ Cf. l'audition de M. Clément Moreau, Directeur général de Sculpteo, devant la section des activités économiques du CESE, 9 octobre 2014.

¹⁰⁵ Carl Bass, PDG d'Autodesk, leader mondial des logiciels 3D, cité par Lucie Robequain, *Les industriels américains s'affrontent sur le potentiel de l'impression 3D*, Les Echos, 9 avril 2014.

¹⁰⁶ Fatima Ghilassene, *L'impression 3D - Impacts économiques et enjeux juridiques*, Les Dossiers de la Direction des études de l'INPI n°2014_04, septembre 2014.

¹⁰⁷ Article L. 122-5 du CPI (avant-dernier alinéa).

Les pistes évoquées pour améliorer la régulation

Chacun des niveaux de la chaîne de production (création des fichiers virtuels, mise à disposition en ligne, fabricants d'imprimantes 3D, production proprement dite d'objets réels, commercialisation éventuelle) serait ainsi concerné par la mise en place de nouvelles règles qui pourraient notamment passer par :

- la mise en jeu de la responsabilité des utilisateurs finaux. Il reste que leur nombre de plus en plus élevé et leur dispersion géographique rendront la chasse à la contrefaçon à ce niveau difficile et coûteuse. En France, l'application de la loi de 2009 dite « Hadopi » - du nom de la « Haute autorité pour la diffusion des œuvres et la protection des droits sur internet », organisme indépendant visant à avertir puis à sanctionner les téléchargements illicites - et les controverses qui l'ont accompagnée montrent bien les limites de ce type de démarches. Cette expérience montre également la nécessité d'offrir des alternatives aux pratiques frauduleuses en pariant, par exemple, que « *la promotion de plateformes en ligne de téléchargement légal et payant d'objets à imprimer en 3D pourrait permettre aux auteurs et concepteurs d'objets d'obtenir rémunération* »¹⁰⁸, sous la forme d'abonnements ou d'achats à l'unité d'objets ;
- l'accent sur la responsabilité des plateformes d'intermédiation. De plus en plus nombreux sont les sites qui mettent à la disposition des internautes des fichiers d'impression 3D (par exemple, *Sculpteo*, *Thingiverse*, *Shapeways*, *Cults3D*). L'objectif serait ici de les inciter fortement à contrôler le caractère licite des fichiers qu'ils hébergent notamment en engageant leur responsabilité juridique devant les tribunaux compétents dans les cas où ces contenus n'auraient pas été supprimés après la notification de leur caractère illégal. Actuellement, une grande incertitude demeure : si l'on prend l'analogie avec le plagiat en littérature, ces nouveaux acteurs doivent-ils être plutôt considérés comme des imprimeurs (non responsables des plagiats) ou des éditeurs (responsables) ? Cette question ne semble pas forcément réglée dans le cas de la fabrication additive¹⁰⁹ ;
- la sécurisation des fichiers d'impression 3D. Sous le terme générique de DRM (*Digital Rights Management*. En français : Gestion des Droits Numériques, GDN) se rangent déjà - y compris pour certains fichiers d'impression 3D - divers dispositifs techniques ayant pour but de restreindre l'utilisation qui est faite des œuvres numériques grâce à des systèmes d'accès conditionnel¹¹⁰. La validité du principe de tels dispositifs est assurée en France par la loi (découlant des accords internationaux) et la jurisprudence qui a rappelé que « *la copie privée ne constituait qu'une exception légale aux droits d'auteur et non un droit reconnu de manière absolue à l'utilisateur* »¹¹¹. La reproduction privée - qui ne doit ainsi ni porter atteinte à l'exploitation normale de l'œuvre, ni causer un préjudice injustifié aux intérêts légitimes de l'auteur (cf. *supra*) - peut ainsi être légalement limitée ;

¹⁰⁸ Pauline Berdah, *L'impact de l'impression 3D sur la propriété intellectuelle*, mémoire de Master 2, Droit des TN SI (nouvelles technologies et société d'information), Université Paris Ouest Nanterre / La Défense, mars 2014.

¹⁰⁹ Cf. l'audition de M. Clément Moreau, Directeur général de Sculpteo, devant la section des activités économiques du CESE, 9 octobre 2014.

¹¹⁰ Lecture du support (CD, DVD, logiciels...) limitée en nombre, réduite à une zone géographique ou à un matériel spécifique, impossibilité ou limitation de la copie privée du support, cryptage de chaînes de télévision, *streaming* garantissant une utilisation unique, etc.

¹¹¹ Cf. notamment l'arrêt « *Mulholland Drive* », Cour de cassation, arrêt n°549 du 28 février 2006.

- la facilitation de l'identification visuelle des objets imprimés en 3D par l'apposition d'un marquage obligatoire afin de mieux les distinguer des originaux et d'en faciliter le contrôle (acquisition des droits pour l'édition et la diffusion, conformité à l'usage auxquels ils sont destinés) comme cela se fait déjà couramment pour de nombreux produits au sein de l'Union européenne (étiquetage, marquage « CE ») ou même au niveau mondial (poinçon pour l'identification des métaux précieux)¹¹² ;
- une taxe sur les supports de stockage numérique existe déjà (CD, DVD, disques durs, clés USB, lecteurs MP3, smartphones, tablettes...) à titre de contrepartie des copies à usage privé, les sommes ainsi collectées étant reversées aux artistes et aux maisons de disques par la vingtaine de sociétés de perception et de redistribution des droits existantes (dont la SACEM). Dans le même esprit, son équivalent pour la fabrication additive (imprimantes 3D, recharges, logiciels de conception d'objet en 3D...) pourrait se justifier alors que les imprimantes 3D et les scanner 3D n'appartiennent pas aujourd'hui à la liste limitative des produits et supports qui génèrent la taxe de rémunération pour copie privée. Cette taxe pourrait d'ailleurs également porter sur les matériaux ou encore sur les services d'impression 3D en ligne. Il resterait encore à régler le double problème, d'une part de l'assiette et du taux de ce prélèvement et, d'autre part, de l'organisation de la collecte et des critères de sa redistribution.

Face à cette complexité et plus radicalement, il est même envisageable d'imaginer que l'exception de copie privée (en droit d'auteur) ou d'usage privé (en droit de la propriété industrielle) soit supprimée pour le cas particulier de l'impression 3D compte-tenu des risques économiques (encore théoriques pour le moment mais potentiellement très élevés) que cette technologie pourrait faire peser sur certains secteurs d'activités.

Quelle(s) que soi(en)t la (ou les) piste(s) qui seront finalement retenues, adapter les dispositifs juridiques existants à la nouvelle donne technologique apparaît aujourd'hui aux acteurs du secteur comme une nécessité et les pouvoirs publics sont invités à rapidement engager une réflexion publique en ce sens¹¹³, par exemple dans le cadre de la « grande loi sur le numérique » annoncée il y a quelques mois - avec, notamment pour objectif de remplacer le dispositif Hadopi - mais qui tarde à se concrétiser.

Tout l'enjeu est de parvenir à combiner une clarification de l'encadrement juridique de ce nouveau mode de production qui n'entre pas en contradiction avec son libre développement. Dans ce contexte d'un internet mondialisé, pour être efficace, ces mesures de régulation ne sauraient d'ailleurs se limiter à un seul pays et devraient être mises en œuvre au minimum au niveau européen. On notera, à ce propos, la volonté du nouveau Président de la Commission européenne, M. Jean-Claude Juncker, de prendre « *d'ambitieuses mesures législatives visant à créer un marché unique du numérique connecté* », notamment « *en modernisant nos règles en matière de droit d'auteur en tenant compte de la révolution numérique et des nouveaux comportements des consommateurs* »¹¹⁴.

¹¹² Voir Seligmann Guillaume, *L'impression 3D, une révolution et un champ de bataille juridique*, les Echos, 21 octobre 2013.

¹¹³ Tel est également l'objet de la question écrite adressée par M. François Cornut-Gentille, député, au gouvernement lui demandant « *de préciser les réflexions menées par le gouvernement concernant l'encadrement juridique des imprimantes 3D* » (Journal officiel du 17 juin 2014).

¹¹⁴ Jean-Claude Juncker, *Un nouvel élan pour l'Europe : mon programme pour l'emploi, la croissance, l'équité et le changement démocratique - Orientations politiques pour la prochaine Commission européenne*, 15 juillet 2014.

Les autres incertitudes inhérentes à la fabrication additive

Les interrogations liées à la qualité des produits

Au-delà de la question de la propriété intellectuelle proprement dite, se pose le problème de la **sécurité physique** lié à la fiabilité des pièces ainsi obtenues (toxicité, résistance à la chaleur, aux chocs ou à l'usure). Cette préoccupation concerne plus particulièrement la bonne conduite des opérations de production réalisées par les particuliers eux-mêmes. On pense notamment aux domaines particulièrement sensibles que constituent les pièces de rechange, par exemple dans les secteurs de l'automobile et de l'électroménager, les produits liés à la santé ou encore les jouets pour enfants.

L'enjeu est ainsi, notamment, celui de la standardisation et de la conformité à des **normes** - aussi bien pour les matériaux employés, pour les systèmes de fabrication additive (matériels et logiciels) que pour les produits finaux eux-mêmes - de manière à assurer au consommateur que les objets ainsi fabriqués disposeront bien des mêmes caractéristiques physiques, chimique ou mécaniques que leurs originaux.

Parallèlement, dans ces nouvelles conditions, comment pourront intervenir les **dispositifs de garantie et d'assurance** ? La recherche des responsabilités en cas de malfaçon ayant éventuellement entraîné un accident risque de devenir complexe. En effet, l'application de la règle traditionnelle du code civil qui incrimine le « fabricant » risque de se heurter à la difficulté de déterminer qui doit endosser ce rôle : le vendeur de l'imprimante, celui du matériau que celle-ci utilise, le concepteur du fichier numérique, la personne (professionnel ou particulier) qui aura procédé à l'impression finale de l'objet ?

Les incertitudes sur l'impact environnemental

Pour l'instant, les matériaux employés sont encore principalement - et même presque exclusivement dans le cas des particuliers - des **plastiques**. La perspective d'un développement de plus en plus significatif de l'utilisation de l'impression 3D par les ménages posera donc nécessairement la question des conséquences d'une consommation plus importante de ces plastiques pour des productions dont l'utilité réelle peut d'ailleurs souvent paraître discutable. En effet, si de nombreuses matières plastiques sont bien, en principe, recyclables, un récent rapport du CESE¹¹⁵ a montré que seule une faible proportion de ces déchets plastiques est effectivement recyclée (19 % en France, 25 % dans l'Union européenne¹¹⁶) en raison notamment de la diversité des matériaux rangés dans cette catégorie - qui ne doivent pas être mélangés pour conserver leurs propriétés spécifiques - et des difficultés de collecte dues à la grande dispersion des acteurs.

Parallèlement, des chercheurs de l'Institut de technologie de l'Illinois et de l'INSA de Lyon ont attiré l'attention sur la forte diffusion de **microparticules** dans l'air produite

¹¹⁵ Yves Legrain, *Transitions vers une industrie économe en matières premières*, Avis et rapports du Conseil économique, social et environnemental, janvier 2014.

¹¹⁶ Commission européenne, *Livre vert sur une stratégie européenne en matière de déchets plastiques dans l'environnement*, mars 2013. On notera également que, pour des raisons techniques, seulement 5 % de plastiques recyclés sont incorporés dans des produits neufs.

par le fonctionnement des imprimantes 3D lors de la fonte des composants utilisés. Les risques induits pour la santé des utilisateurs pourraient être d'autant plus élevés avec la multiplication des lieux de fabrication de caractère non-professionnel moins susceptibles de respecter certaines contraintes (bonne ventilation des pièces, éloignement des personnes pendant le fonctionnement des machines...)¹¹⁷.

La possibilité d'applications dangereuses

Ainsi, des inquiétudes sont-elles apparues depuis que les médias se sont fait l'écho ces derniers mois de la possibilité de fabriquer de véritables **armes à feu** en impression 3D (en plastique, voire en métal), entraînant un risque de prolifération non contrôlée et pouvant faciliter le franchissement des contrôles de sécurité.

Certains en appellent à l'intervention d'un contrôle des pouvoirs publics dans ce domaine et des solutions techniques préventives sont à l'étude pour tenter de limiter la circulation de tels fichiers¹¹⁸. Toutefois, comme le note Cécile Désaunay, « *l'enjeu est réel mais ne doit pas faire oublier qu'il est pour l'instant plus coûteux et moins efficace d'utiliser une imprimante que d'acheter une arme illégalement sur internet* »¹¹⁹.

Plus largement, il sera inévitablement tentant pour certains d'utiliser l'impression 3D - comme toute nouvelle technique - à des fins clairement illégales¹²⁰...

Une « diplomatie » normative de plus en plus intense

Depuis une dizaine d'années et plus intensément depuis 2010-2011, la fabrication additive fait l'objet d'un travail de normalisation marquant ainsi une nouvelle étape dans la diffusion de cette technologie. Les travaux de normalisation ont débuté, de manière presque concomitante dans de nombreux pays.

On rappellera brièvement, ici, la définition d'une norme. Il s'agit « *d'un document formulant des exigences, des spécifications, des lignes directrices ou des caractéristiques à utiliser systématiquement pour assurer à l'aptitude à l'emploi des matériaux, produits, processus ou services* »¹²¹.

Document écrit, une norme est d'élaboration concertée entre les différentes parties intéressées (producteurs, utilisateurs...). Elle est approuvée par un organisme qualifié ou reconnu, accessible à tous, destinée à une application répétitive ou continue et est

117 Brent Stephens, ParhamAzimi, Zeineb El Orch, Tiffanie Ramos, *Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers*, juin 2013.

118 La société danoise *Createit REAL* propose ainsi, dans ses imprimantes, un « logiciel intelligent » (*smart software*) qui scanne les fichiers 3D, interdisant l'ouverture de ceux présentant des caractéristiques laissant supposer qu'ils pourraient servir à l'impression 3D d'armes à feu.
<http://www.createitreal.com/download/English%20Press%20Release%20%231.pdf>.

119 Cécile Désaunay, *La révolution de l'impression 3D aura-t-elle lieu ?*, Futuribles international, Note d'analyse prospective n°159, avril 2014.

120 Cf. l'exemple d'un homme arrêté en août 2014 dans le Sud-est de la France pour avoir créé de faux distributeurs automatiques de billets grâce à une imprimante 3D afin de récupérer les données bancaires des clients (Source : Le Point, Le Parisien).

121 Cf. définition ISO. À ce jour l'ISO a publié plus de 19 500 normes.

d'application volontaire¹²². Elle est révisée périodiquement. On distingue des normes de définition ou terminologie et des normes de spécification « technique ».

Les normes, au-delà de leur finalité technique, constituent autant d'éléments d'ordre économique et stratégique dans la mesure où leur application permet soit de protéger un marché soit de le conquérir. À cet égard, on rappellera que l'accord de Marrakech, du 15 avril 1994, instituant l'Organisation mondiale du commerce (OMC) comporte un accord spécifique relatif aux Obstacles techniques au commerce (OTC) visant expressément les normes et encourageant à privilégier la voie de la norme internationale ; celle-ci pouvant contribuer à faciliter le transfert de technologie au bénéfice des pays en développement.

En France, aux termes de l'article 2 du décret 2009-697 du 16 juin 2009, l'Association française de normalisation (AFNOR)¹²³ et les organismes agréés par le ministre en charge de l'industrie sont chargés d'assurer l'action de normalisation et sa promotion. Ils représentent notre pays dans l'élaboration des normes européennes et/ou internationales. Aux termes de l'article 5 du décret précédemment évoqué, l'AFNOR est le membre français des organisations non gouvernementales de normalisation, c'est-à-dire de l'ISO (*International Organization for Standardization*) ou de ses homologues pour l'électronique et les télécommunications : la Commission électronique internationale (CEI) et l'Union internationale des télécommunications (ITU) au niveau mondial et du Comité européen de normalisation (CEN), du Comité européen de normalisation électrotechnique (CENELEC) et de l'ETSI (*European telecommunications standards institute*) au niveau européen.

Les sujets abordés aujourd'hui par la normalisation sont de plus en plus horizontaux et transversaux. Les normes portent, aujourd'hui, autant sur les produits et matériels que sur la « qualité », la sécurité ou l'environnement. 90 % des normes publiées en France sont d'origine internationale.

Les normes sont, nous l'avons dit, d'application volontaire. Néanmoins, un pourcentage d'entre elles est rendu obligatoire - de l'ordre de 1 % - par un texte réglementaire « lorsqu'elle est imposée comme moyen unique de satisfaire aux exigences de ce texte »¹²⁴.

Les normes sont élaborées par des groupes d'experts au sein de comités techniques (CT). Au niveau international, à titre d'exemple, on compte plus de 250 CT à l'ISO. Chaque CT dispose d'un secrétariat animé par un organisme national : l'AFNOR, par exemple. Dans le cas de la fabrication additive, le secrétariat du CT de l'ISO est présidé par le *Deutsch Institut für Normung* (DIN).

La normalisation traitant de la fabrication additive a débuté d'abord au niveau national. Ainsi, par exemple, en France, l'Association française du prototypage rapide (AFPR) a créé des commissions de travail « fabrication rapide métal » et « fabrication rapide plastique » dès 2006. En juillet 2010, à l'instigation de l'AFPR et de certains pôles de compétitivité (Viameca, EMC2), l'Union de normalisation de la mécanique (UNM) créait une commission de normalisation (UNM 920) « fabrication additive » relevant du comité stratégique AFNOR « ingénierie industrielle, biens d'équipements et matériaux ».

¹²² Cf. *Le rôle des brevets et des normes dans l'innovation et l'emploi*. Avis du Conseil économique et social sur le rapport de M. Christian Ramphft, adopté le 27 mai 1998. JO avis et rapports du CES n°11, 4 juin 1998.

¹²³ Depuis le 1^{er} janvier 2014 l'Union technique de l'électricité (UTE) et l'AFNOR se sont rapprochées au point de fondre les équipes opérationnelles de l'UTE au sein de l'AFNOR.

¹²⁴ Cf. article 14 du décret 2009-697 et le *Guide relatif à la bonne utilisation des normes dans la réglementation*, Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, juin 2009.

L'avance américaine

C'est, cependant, des États-Unis qu'est venu l'effort le plus important, lorsque l'*American society for technics and materials* ((ASTM) International) - un des très nombreux organismes américains de normalisation - a lancé son comité ASTM 42, en 2009 sur la fabrication additive, lui assurant une avance certaine à la fois dans le domaine de la terminologie et dans celui des spécifications techniques. L'ASTM, qui développe un programme très important de partenariat avec de nombreux organismes de normalisation des pays émergents dont la Chine, imposant *de facto* ses normes à ces pays facilitant ainsi l'entrée sur ces marchés des produits américains - lesquels répondent naturellement à ces normes - a publié plusieurs normes dont une (F 2792) de terminologie¹²⁵.

L'internationalisation de l'activité normalisatrice

À l'initiative de plusieurs pays soucieux de ne pas laisser aux seuls États-Unis la faculté de « normaliser » la fabrication additive, une collaboration s'est rapidement nouée entre l'ASTM et l'ISO. Un comité technique ISO/TC 261 « fabrication additive » a été créé en février 2011, à l'initiative du DIN allemand qui préside à ses destinées.

Le comité a comme domaine d'intervention la fabrication additive concernant les procédés, termes et définitions, chaînes de processus (matériels et logiciels), procédures d'essai, paramètres de qualité, accords clients fournisseurs et éléments fondamentaux, sous la référence ISO 17296. Quatorze pays sont représentés dans le comité technique tous européens ainsi que les États-Unis. Quatre groupes de travail ont été constitués dont un (tests et méthodes) est piloté par la France ; les autres le sont par la Suède, l'Allemagne et la Grande Bretagne.

Les travaux ont débouché sur la définition, déjà évoquée dans l'introduction, de la fabrication additive : « *Procédés par ajout de matière consistant à fabriquer directement des pièces à partir d'un modèle numérique 3D sans recourir à un outillage* ».

Cette définition est évidemment reprise dans notre pays, les travaux étant suivi par les spécialistes de l'UNM par délégation de l'AFNOR.

Outre les définitions, trois autres parties du programme de travail international ont franchi des étapes importantes : la vue d'ensemble des catégories de procédés, des types de pièces et des matériaux de base ; les spécifications des critères de performance et des caractéristiques de qualité ; le traitement des données.

D'autres normes ont été publiées, assez rapidement (procédure dite *fasttrack*), sous le double timbre ISO/ASTM, et ont été reprises en normes françaises. Il s'agit des normes NF ISO/ASTM 52921 « *Terminologie normalisée pour la fabrication additive - systèmes de coordonnées et méthodes d'essai* », d'une part, et, d'autre part, NF ISO/ASTM 52915 « *Spécification normalisée pour le format de fichier pour la fabrication additive(AMF) version 1.1* ».

¹²⁵ On rappellera à cet égard les propos tenus en 1996 par le président d'*AMP incorporated* assignant à la normalisation quatre fonctions stratégiques : elle définit les produits de demain ; elle sert de catalyseur à la liaison entre stratégie et marché ; participer à son élaboration permet d'être informé et de prendre l'initiative ; enfin la normalisation n'étant jamais neutre, elle permet de créer le marché.

De nombreux comités techniques à caractère sectoriel ont aussi à connaître de la fabrication additive : ceux s'intéressant aux matières plastiques, aux systèmes optoélectroniques jusqu'à la médecine bucco-dentaire, etc.

Au niveau européen, l'activité du CEN est éclipsée par celle de l'ISO, naturellement. Il n'existe aucun comité technique « CEN » relatif à la fabrication additive. On mentionnera, néanmoins, un programme de recherche inscrit dans le cadre du 7^e PCRD dont l'objectif est, justement, de promouvoir les activités normatives de la fabrication additive au niveau européen.

Ce programme, *Support action for standardisation in additive manufacturing (SASAM)*, fortement encouragé par le CEN et la Commission européenne dans le cadre et l'esprit de la Stratégie 2020 qui place la normalisation comme un facteur clé dans le domaine productif¹²⁶, a réuni pendant 18 mois - de septembre 2012 à avril 2014 - nombre d'experts qui ont réalisé une étude synthétique et une revue de la littérature internationale sur la normalisation en fabrication additive.

Ce projet, regroupant 18 partenaires : industriels, utilisateurs pôles de compétitivité, centres techniques, laboratoires universitaires notamment et organismes de normalisation a été coordonné par les Pays-Bas.

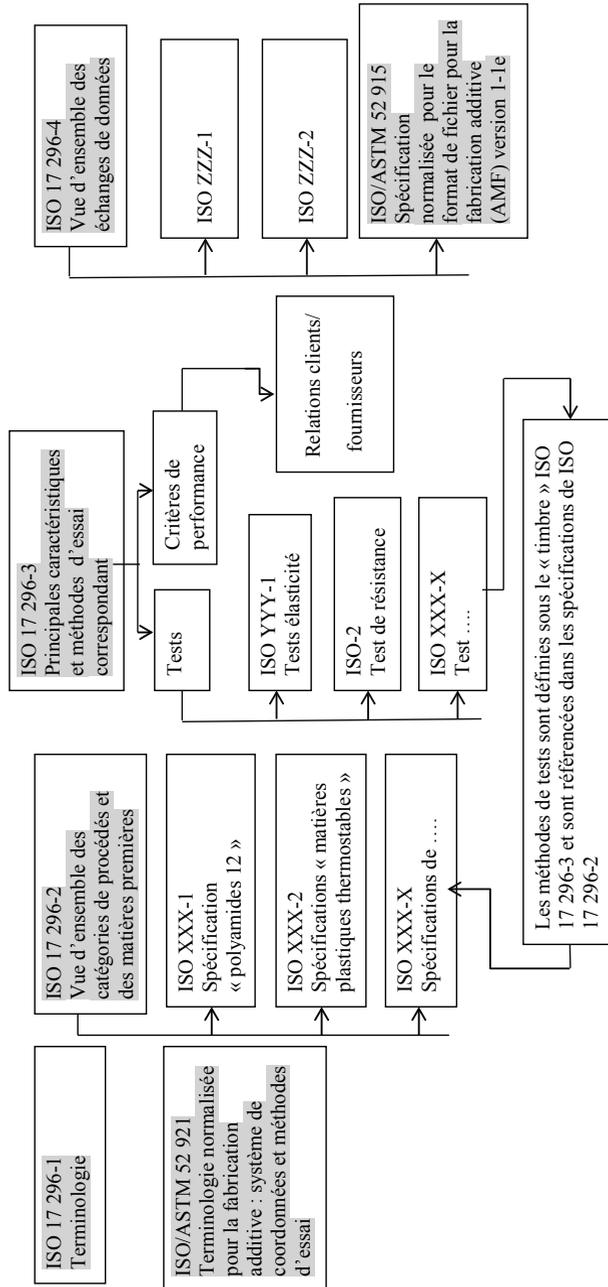
Un guide d'action a été publié début 2014. Il engage au développement d'une réelle normalisation européenne ou, à tout le moins internationale (du type ISO), et non exclusivement américaine. Parmi les conclusions de ce travail, les participants soulignent le potentiel en emplois de haute qualité que ce type de technologies détient (sans toutefois préciser le volume de ces emplois) et dans le domaine technique l'idée qu'une priorité doit être donnée aux processus « hybrides » de production, facilitant l'intégration de la fabrication additive dans les lignes de production « traditionnelles ». Il est également à relever que les travaux ayant conduit à la rédaction de ce guide engagent d'autant plus à la normalisation de la fabrication additive que cette technique est utilisée autant par des professionnels que par des « personnes privées » et que les impératifs de sécurité sont alors peut-être encore plus déterminant, notamment lorsqu'il s'agit de manipuler des poudres...¹²⁷

¹²⁶ Cf. notamment F. Scapolo, P. Churchill, V. Viaud, *Industrial landscape vision 2025 for early standardisation*, Joint Research Centre et Commission européenne, octobre 2013.

¹²⁷ Cf. également des mêmes auteurs *How will standards facilitate new production systems in the context of EU innovation and competitiveness in 2025 ?* Rapport principal et annexes, mai 2014.

Normalisation : où va-t-on ?¹²⁸

Tableau 1 : Structure de la normalisation de la fabrication additive à l'ISO



128 D'après Catherine Lubineau *Europe, États-Unis, international : la normalisation en fabrication additive fixe ses priorités* AEFA Union de normalisation de la mécanique juin 2013. N.B. En gris les normes déjà adoptées.

Conclusion

Longtemps réservée au prototypage rapide et aux laboratoires universitaires, l'impression 3D ou fabrication additive fait depuis quelques années une entrée remarquée dans le monde de la production. Aux côtés des autres éléments du numérique, à savoir *Big data*, *Cloud computing*, robotique de nouvelle génération, internet des objets, nanotechnologies, la 3D offre d'évidentes perspectives industrielles que certains secteurs comme la santé, l'aéronautique ou l'automobile ont déjà intégré. Plus généralement, elle peut ouvrir des perspectives intéressantes concernant la transformation des modèles productifs, la relocalisation des productions, la montée en qualification dans les organisations du travail.

À l'instar de l'ordinateur personnel, l'impression 3D connaît une double vie pourrait-on dire. Elle poursuit, simultanément, sa pénétration du monde professionnel et de la sphère personnelle, les *Makers* et les *Fab-Labs* se trouvant à leur intersection. À cet égard, on peut s'interroger sur le phénomène de société induit par les nouvelles technologies numériques qui permettent notamment une plus grande personnalisation des productions.

L'impression 3D a fait une entrée remarquée dans le jeu économique lorsqu'elle a été évoquée comme un élément déterminant de la reconquête industrielle des États-Unis par le président Obama. On l'a vu, les économies les plus avancées comme émergentes, ont adopté une politique volontariste pour le développement national de la fabrication additive en favorisant la création d'un « écosystème », notamment par un effort de formation dispensée dès le plus jeune âge, les synergies entre le monde universitaire et les entreprises, ou les partenariats public-privé afin de passer rapidement de la recherche à la création de richesses. En Europe, l'Allemagne s'est déjà fortement positionnée dans le secteur des machines de fabrication additive. La France, précurseur dans l'impression 3D, doit désormais sans plus tarder faire une plus grande place à l'« usine du futur » dans ses plans de reconquête industrielle.

Alors que des applications sont encore en devenir (tissu humain), que la diversification des matériaux susceptibles d'être imprimés en 3D se poursuit, une nouvelle rupture technologique se profile et devrait projeter l'impression 3D vers un champ des possibles inédit à ce jour et la doter de capacités entièrement nouvelles avec des conséquences significatives sur les modèles économiques de nombreux secteurs et une évolution du tissu productif faisant toute leur place à toutes les tailles d'entreprises.

L'exemple de l'impression 3D est d'autant plus significatif qu'il désigne des enjeux plus généraux sur les conditions dans lesquelles nous affrontons aujourd'hui les défis de l'innovation technologique et de la performance.

Dans le vaste mouvement d'innovation irrigué par les outils numériques, il faut s'interroger sur les difficultés de la France à tenir son rang. Il y a urgence à ne pas laisser passer une nouvelle opportunité de contribuer au développement de notre économie et sa compétitivité globale.

Annexes

Annexe n° 1 : composition de la section des activités économiques à la date du vote

✓ **Président** : Jean-Louis SCHILANSKY

✓ **Vice présidents** : André LECLERCQ et Isabelle de KERVILER

Agriculture

✓ Dominique BARRAU

✓ Roger CHOIX

Artisanat

✓ Jean-Pierre CROUZET

Associations

✓ André LECLERCQ

CFDT

✓ Monique BOUTRAND

✓ Dominique GILLIER

CFE-CGC

✓ Gabriel ARTERO

CFTC

✓ Agnès COURTOUX

CGT

✓ Maryse DUMAS

✓ Marie-José KOTLICKI

CGT-FO

✓ Jacky CHORIN

✓ Andrée THOMAS

Coopération

✓ Amélie RAFAEL

Entreprises

- ✓ Patrick BAILLY
- ✓ Françoise FRISCH
- ✓ Renée INGELAERE
- ✓ Gontran LEJEUNE
- ✓ Jean-Louis SCHILANSKY

Environnement et nature

- ✓ Anne de BÉTHENCOURT
- ✓ Pénélope VINCENT-SWEET

Mutualité

- ✓ Jean-Pierre DAVANT

Outre-mer

- ✓ Patrick GALENON

Personnalités qualifiées

- ✓ Jean-Pierre FREMONT
- ✓ Laurence HEZARD
- ✓ Isabelle de KERVILER
- ✓ Alain OBADIA

UNAF

- ✓ Aminata KONÉ
- ✓ Paul de VIGUERIE

UNSA

- ✓ Luc BÉRILLE

Personnalités associées

- ✓ Pierre BURBAN
- ✓ Yves GIQUEL
- ✓ Frédéric GRIVOT
- ✓ Sonia HAMOUDI
- ✓ Mohamed MECHMACHE
- ✓ Jean-Marc PLANTADE
- ✓ Sylvie PRADELLE
- ✓ Denis SEGRESTIN

Annexe n° 2 : liste des personnalités auditionnées et rencontrées

- ✓ **M. Jean-Gilles Cahn**
économiste à la CCIP
- ✓ **Philippe Heinrich**
consultant, spécialiste de l'Impression 3D
- ✓ **M. Alain Bernard**
professeur à l'École Centrale de Nantes
- ✓ **Mme Aude Vives-Albertini**
avocat au Barreau de Paris en droit de la propriété intellectuelle et nouvelles technologies
- ✓ **M. Joseph Puzo**
président-directeur général d'Axon Cable
- ✓ **M. Clément Moreau**
directeur général et co-fondateur de Sculpteo
- ✓ **M. Bernard Devauchelle**
professeur des universités, chef du service de chirurgie maxillo-faciale et stomatologie du CHU d'Amiens

La section s'est rendue à Vélizy pour visiter Dassault Systèmes. La section a entendu une présentation de l'impression 3D par :

- ✓ **M. Frédéric Vacher**
directeur stratégie marketing.

Le rapporteur a, par ailleurs, rencontré en entretien individuel les personnes suivantes :

- ✓ **Mme Mathilde Berchon**
rédactrice en chef Making Society
- ✓ **Mme Nathalie Geslin-Levasseur**
responsable développement, ingénierie industrielle biens d'équipements et matériaux, AFNOR Normalisation
- ✓ **Mme Catherine Lubineau**
directeur technique, Union de normalisation de la mécanique (UNM)
- ✓ **M. Jean-Marie Pruvot**
directeur Nord France Invest Développement
- ✓ **M. Olivier Durteste**
directeur du pôle mécanique « Mecanov »
- ✓ **M. Paul-François Fournier**
directeur exécutif de BPIfrance
- ✓ **Mme Émilie Garcia**
responsable sectorielle à la direction de l'innovation à BPIfrance

- ✓ **M. Paul Perpère**
délégué général de l'Association française des investisseurs pour la croissance
- ✓ **M. Dominique Rencurel**
président de la commission Capital Innov de l'Association française des investisseurs pour la croissance, associé, Orkos Capital
- ✓ **M. Raphaël Gorgé**
président-directeur général, Gorgé groupe
- ✓ **M. Oliver Strebelle**
directeur général adjoint, Gorgé groupe
- ✓ **M. Jérôme Dubois**
responsable innovation process de fabrication scientifique et technologie du futur, PSA Peugeot Citroën
- ✓ **Mme Dominique Boudin**
manager service innovation et économie numérique CCI Grand Lille, expert auprès de la Commission européenne
- ✓ **M. Gérard Chevalier**
président-directeur général de CYBEL
- ✓ **M. Pierre Faure**
président de l'Association Française des utilisateurs du Net
- ✓ **M. Jean-Charles Rosier**
Assemblée permanente des Chambres des Métiers et de l'Artisanat
- ✓ **Mme Mathilde Jacquemet**
chargé de mission veille/innovation à l'Institut supérieur des Métiers
- ✓ **M. Jean-Baptiste Mozziconacci**
directeur à l'INPI
- ✓ **M. Philippe Vasseur**
président du CCI de Région Nord de France
- ✓ **M. Luc Doublet**
président de Nord France Invest
- ✓ **M. Marc Verly**
directeur général du Groupe IRD
- ✓ **Mme Sylvie Duchassaing**
directrice régionale des études à la CCI de Région Nord de France
- ✓ **M. David Brusselle**
directeur de la Direction régionale des finances
- ✓ **M. Gontran Lejeune**
ancien président du CJD, membre de la section des activités économiques du CESE

Le rapporteur et l'ensemble des membres de la section des activités économiques remercient vivement toutes ces personnes pour leur apport aux travaux.

Le rapporteur remercie vivement M. Philippe CLERC, conseiller expert intelligence économique internationale de CCI France, pour la qualité de son expertise.

Annexe n° 3 : liste des références bibliographiques

Beylat J., L. Tambourin P., *L'innovation un enjeu majeur pour la France dynamiser la croissance des entreprises innovantes*, ministère du Redressement productif, avril 2013.

Gallois L., *Pacte pour la compétitivité de l'industrie française*, rapport au Premier ministre, novembre 2012.

Erhel C., de La Raudière L., *Le développement de l'économie numérique française*, rapport d'information déposé par la commission des affaires économiques de l'Assemblée nationale n° 1936, mai 2014.

Berchon M., *L'impression 3D*, Eyrolles, 2014.

DGCIS *Bilan 2013 objectifs 2014*. ministère de l'Économie, du Redressement productif et du Numérique, juin 2014.

La nouvelle France industrielle, ministère du Redressement productif.

La nouvelle France industrielle, présentation des feuilles de route des 34 plans de la nouvelle France industrielle, 2014.

La nouvelle France industrielle, 34^e plan : usine du futur, feuille de route 2014.

Commission européenne, *Une stratégie numérique pour l'Europe*, Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au comité des régions, mai 2010.

Commission européenne, *Une stratégie européenne pour les technologies clés génériques – une passerelle vers la croissance et l'emploi*, 26 juin 2012.

Commission européenne, *Stratégie européenne en matière de composants et systèmes micro-nanoélectroniques*, 23 mai 2013.

Commission européenne, *Pour une renaissance industrielle européenne*, 22 janvier 2014.

Commission européenne, *État de l'union de l'innovation 2011*, 2 décembre 2011.

Commission européenne, *An Integrated Industrial Policy for the Globalisation Era Putting Competitiveness and Sustainability at Centre Stage*, 2010.

Union européenne, *Horizon 2020 le nouveau programme cadre européen 2014-2020 pour la recherche et l'innovation*, Guide des financements REA, 2014.

Commission européenne, *High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies*, rapport final, Juin 2011.

Commission européenne, *New manufacturing engineering. Case study 2 Business innovation Observatory*, septembre 2013.

Commission européenne, *Factories of the Future. Multi-annual roadmap for the contractual PPP under horizon 2020 EFFRA*, 2013.

Scaplolo F. et Alii, *Final report of the foresight study on how will standarts facilitate new production systems in the context of EU innovation and competitiveness in 2025 ?*, Commission européenne DG joint research centre, mai 2014.

Technopolis, *Developing an evaluation and progress methodology to underpin the intervention logic of the Action Plan to Boost Demand for European innovations*, rapport final 21, mars 2013.

Lipson Hod et Kurman Melba, *factory@home: the emerging economy of personal fabrication*, rapport fait à la demande du US Office of Science and Technology Policy, décembre 2010.

Un principe et sept ambitions pour l'innovation, rapport de la commission sous la présidence d'Anne Lauvergeon, 2014.

Valter Clotilde avec le concours de F. Mattatia, *Les CTI et CPDE au service du redressement productif*, rapport au Premier ministre, 2014.

Ernst and Young, *La révolution des métiers nouveaux métiers, nouvelles compétences : quels enjeux pour l'entreprise ?*, 2013.

Campbell T. A., Tibbitts S., Garrett B., *The next wave : 4D printing programming the material world*, Atlantic Council, mai 2014.

Campbell T.A., Williams C., Ivanova O., Garrett B., *Could 3D printing change the world ? Tecthnologies potential, and implications of additive manufacturing*, Atlantic Council, octobre 2011.

The Economist, *Print me a Stradivarius*, février 2011.

Bourell D.L., Leu M.C., Rosen D.W., *Roadmap for additive manufacturing identifying the future of freeform Processing*, université du Texas Austin, 2009.

A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing, Executive Office of the President National Science and Technology Council, février 2012.

Scott J. et alii, *Additive Manufacturing : Status and Opportunities*. Science and Technology Policy Institute Institute for Defense Analyses, mars 2012.

National network for manufacturing innovation : a preliminary design. Executive Office of the President, National Science and Technology Council, Advanced Manufacturing National Program Office, janvier 2013.

Shipp S.S et alii, *Emerging global trends in advanced manufacturing*, Institute for defense analysis, mars 2012.

Gershenfeld N., *How to make almost anything the digital fabrication revolution*. *Foreign Affairs*, nov.-déc 2012, vol 91, numéro 6.

Mac Kinsey global institute, *Disruptive technologies : Advances that will transform life, business, and the global economy*, mars 2013.

Sissons A., Thompson S., *Three Dimensional Policy why Britain needs a policy framework for 3D printing*. Big innovation centre, octobre 2012.

Nouvelle stratégie high-tech du gouvernement fédéral allemand, portail pour la Science de l'ambassade de France en Allemagne, septembre 2014.

Cetim Certec, *Panorama de la fabrication additive*, octobre 2013.

Cetim-Certec, *Fabrication additive : la normalisation en cours*, octobre 2013.

Instituts Carnot. Rapport d'activités.

Association instituts Carnot, *Les instituts Carnot la recherche pour les entreprises 60 exemples de recherche partenariale*. , juin 2012.

Institut de l'entreprises, *Faire entrer la France dans la troisième révolution industrielle : le pari de l'innovation. Les nouvelles technologies de production*, mai 2014.

Microélectronique, les technologies 3D au CEA.-Leti CEA, mai 2011.

Le développement industriel futur de la robotique personnelle et de service en France. PIPAME DGCS, avril 2012.

Stucker B., *International Trends in Additive Manufacturing*, UOFL.

Stratégie française de normalisation 2011-2015, AFNOR, mai 2011.

Union de normalisation de la mécanique, *rapport d'activité*, juin 2014.

Additive manufacturing SASAM standardisation roadmap, AM Platform, 2014.

Additive manufacturing a game changer for the manufacturing industry ? Roland Berger. Munich, novembre 2013.

BPI France : servir l'avenir. *Plan stratégique 2014-2017*, 2014.

Désaunay C., *La révolution de l'impression 3D aura-t-elle lieu ? Futuribles international*, Note d'analyse prospective n° 159, 11 avril 2014.

Guillouzuic-Le Corff A, *L'impression tridimensionnelle, une technologie clé pour les usines du futur ? Réalités industrielles*, nov. 2013

Berchon M. et alii, *3D printing : Technology and Beyond Netopia forum for the digital society*, novembre 2013.

Mac Kinsey. France, *Industrie 2.0 5 pistes pour permettre aux industriels français de tirer parti de la mondialisation*, juillet 2012.

Mac Kinsey. France, *Industrie 2.0 jouer la rupture pour une renaissance de l'industrie française*, novembre 2013.

3D Printing and the Future of Manufacturing, CSC Leadingedge, Forum Technology Program, automne 2012.

Caffrey T. Wolhers T, *3D Printing Builds Up its Manufacturing. Resume ManufacturtrngEngineeringMedia.com*.

Scapolo F., Churchill P., Viaud V., *Industrial landscape vision 2025 for early standardization*, Joint Research Centre, 2013.

Cahn J.G., *La « fabrication additive » : vers de nouveaux business models ?* FriedlandPapers n° 32, mai 2011.

Cahn J.G., *Impression 3D : perspectives industrielles et/ou utopie sociétale ?* FriedlandPapers n° 43, février 2014.

OCDE, *Examens de l'OCDE des politiques d'innovations France 2014*.

Prost J.M., *Le financement des entreprises industrielles*, rapport du groupe de travail du Conseil national de l'industrie, octobre 2014.

John Manners-Bell et Ken Lyon, *The implications of 3D printing for the global logistics industry*, Transport intelligence Ltd, août 2012

Futurprod -, *Les systèmes de production du futur*, Atelier de réflexion prospective-rapport final coordonné par D. Brissaud, Y. Frein, V. Rocchi pour l'Agence nationale de la recherche, novembre 2013.

Économies interconnectées : comment tirer parti des chaînes de valeur mondiales, OCDE 2013.

Relocalisations d'activités industrielles en France - Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (PIPAME), décembre 2013.

Think Act Les classes moyennes face à la transformation digitale Comment anticiper ? Comment accompagner ?, Roland Berger Strategy Consultants, octobre 2014.

Pierrick Bouffaron, *Impression 3D les prémises d'une nouvelle Révolution industrielle ?* Mission pour la science et la technologie, ambassade de France aux États-Unis, août 2014.

Annexe n°4 : table des sigles

ASTM	<i>American society for technics and materials</i>
AFIC	Association française des investisseurs pour la croissance
AFNOR	Association française de normalisation
AFPR	Association française de prototypage rapide
All	Agence pour l'innovation industrielle
AMA	<i>Asian Manufacturing Association</i>
ANR	Agence nationale de la recherche
ANRT	Association nationale de la recherche et de la technologie
BEI	Banque européenne d'investissement
CEI	Commission électronique internationale
CEN	Comité européen de normalisation
CENELEC	Comité européen de normalisation électrotechnique
CESE	Conseil économique, social et environnemental
CETIM	Centre technique des industries de la mécanique
CIFRE	Conventions industrielles de formation par la recherche
CRITT	Centre régional d'innovation et de transfert de technologie
CSIS	Collège des sciences de l'ingénierie et des systèmes
CT	Comités techniques
DIN	<i>Deutsch Institut für Normung</i>
DIY	<i>Do it yourself</i>
DLP	<i>Digital Light Processing</i>
DMLS	<i>Direct Metal Laser Sintering</i>
3DPM	<i>Three-Dimensional Printing</i>
EBM	<i>Electric Beam Melting</i>
ESA	Agence spatiale européenne
ETSI	<i>European telecommunications standards institute</i>
FUI	Fonds unique interministériel
IDA	<i>Institute for Defense Analyses</i>
INPI	Institut national de la propriété industrielle
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITU	Union internationale des télécommunications
JAXA	Agence spatiale japonaise
KET	<i>Key enabling technologies</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MJM	<i>Multi-Jet Modeling</i>
NAMII	<i>National additive manufacturing innovation Institute</i>
NASA	Agence spatiale des États-Unis
NNMI	<i>National network for manufacturing innovation</i> (Réseau national pour l'innovation industrielle)

OEB	Office européen des brevets
OMC	Organisation mondiale du commerce
OMPI	Organisation mondiale de la propriété intellectuelle
OTC	Obstacles techniques au commerce
PCRDT	Programmes cadre de recherche et développement technologique
2PP	<i>Two-Photon polymerization</i>
PPP	Partenariats public-privé
PSPC	Projets de recherche et développement structurants pour la compétitivité
SASAM	<i>Support action for standardisation in additive manufacturing</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
TCG	Technologies clés génériques
TIC	Technologies de l'information et de la communication
TPE	Très petites entreprises
UNM	Union de normalisation de la mécanique
UTBM	Université de technologie Belfort-Montbéliard



Dernières publications de la section des activités économiques

- *L'apport économique des politiques de diversité à la performance de l'entreprise : le cas des jeunes diplômés d'origine étrangère (étude)*
- *Projet de loi de programmation pour un nouveau modèle énergétique français*
- *Concertation entre parties prenantes et développement économique*
- *Transitions vers une industrie économe en matières premières*
- *Performance et gouvernance de l'entreprise*
- *Efficacité énergétique : un gisement d'économies ; un objectif prioritaire*

LES DERNIÈRES PUBLICATIONS DU CONSEIL ÉCONOMIQUE, SOCIAL ET ENVIRONNEMENTAL (CESE)

- *La pédagogie numérique : un défi pour l'enseignement supérieur*
- *Le défi de l'insertion professionnelle des jeunes ultramarins*
- *La microfinance dans les Outre-mer*
- *La place des dispositifs médicaux dans la stratégie nationale de santé*
- *Inégalités environnementales et sociales : identifier les urgences, créer des dynamiques*
- *Les données numériques : un enjeu d'éducation et de citoyenneté*
- *Rapport annuel sur l'état de la France*
- *Combattre les violences faites aux femmes des plus visibles aux plus insidieuses*

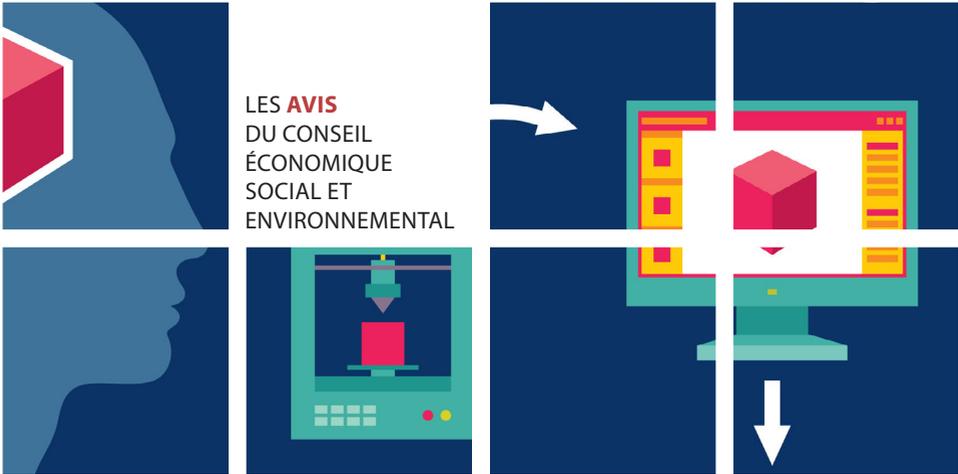
**Retrouvez l'intégralité
de nos travaux sur
www.lecese.fr**

Imprimé par la direction de l'information légale et administrative, 26, rue Desaix, Paris (15^e)
d'après les documents fournis par le Conseil économique, social et environnemental

N° de série : 411150007-000315 – Dépôt légal : mars 2015

Crédit photo : 123RF





LES AVIS
DU CONSEIL
ÉCONOMIQUE
SOCIAL ET
ENVIRONNEMENTAL

S'il est encore trop tôt pour cerner avec précision la place que va prendre la fabrication additive (plus connue sous le nom d'« impression 3D ») dans l'ensemble des activités économiques, cette technologie apparaît porteuse de potentialités importantes et il est d'ores et déjà assuré qu'elle sera incontournable dans de nombreux secteurs. À l'évidence, la France ne peut pas laisser passer cette occasion et doit encourager son appareil productif à se saisir pleinement de cette innovation. Les recommandations faites par le CESE visent ainsi à conforter nos atouts et à remédier à certaines faiblesses notamment en matière de formation, de recherche et de financement. Cet avis permet aussi de soulever des questions qui ont trait à l'ensemble des technologies liées au numérique. Ces dernières ont, en effet, en commun de bouleverser la nature des produits et des services (davantage adaptés à l'utilisateur final) et la localisation des activités, de faire émerger de nouveaux acteurs ou encore de modifier en profondeur l'organisation du travail. À partir de cet exemple de l'impression 3D, le CESE plaide ainsi pour que les pouvoirs publics et l'ensemble des acteurs économiques et sociaux du pays se saisissent de ses propositions pour améliorer la performance globale de l'économie française.



CONSEIL ÉCONOMIQUE, SOCIAL
ET ENVIRONNEMENTAL

9, place d'Iéna
75775 Paris Cedex 16
Tél. : 01 44 43 60 00
www.lecese.fr

N° 41115-0007 prix : 19.80 €
ISSN 0767-4538 ISBN 978-2-11-138661-7



9

782111 386617



Diffusion
Direction de l'information
légale et administrative
Les éditions des *Journaux officiels*
tél. : 01 40 15 70 10
www.ladocumentationfrancaise.fr