

POLICY PAPER

Mai 2014

Faire entrer la France dans la troisième révolution industrielle : le pari de l'innovation

#3 Les nouvelles technologies de production

Observatoire de l'Innovation
de l'Institut de l'entreprise



Faire entrer la France dans la troisième révolution industrielle : le pari de l'innovation

Note thématique #3 : Les nouvelles technologies de production

Observatoire de l'Innovation
de l'Institut de l'entreprise

présidé par Christophe de Maistre

Pilote : Delphine Manceau
Rapporteur : Julie Fabbri

Note rédigée à partir des travaux de l'Observatoire.

SOMMAIRE

SOMMAIRE	3
AVANT-PROPOS	5
SYNTHÈSE	7
NOUVELLES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION, DE QUOI PARLE-T-ON ?	9
TYPOLOGIE DES NOUVELLES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION	10
LES NOUVELLES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION DOPENT LA PERFORMANCE ET INCITENT À REPENSER L'ACTIVITÉ DE NOMBREUSES ENTREPRISES	18
LES TENDANCES D'INNOVATION LIÉES	20
L'IMPRESSIION 3D, UNE MANNE D'INNOVATIONS	23
UN MARCHÉ EXPONENTIEL	23
SOURCE DE RENOUVELLEMENT DES USAGES	26
LES PRINCIPAUX FREINS À LEVER	29
UNE SOURCE D'INNOVATIONS PLURIELLES	32
POINTS D'ATTENTION POUR LES POUVOIRS PUBLICS	35

ANNEXE 1 : LES CONSÉQUENCES SOCIO-ÉCONOMIQUES DE L'IMPRESSION 3D ET CELLES DE LA ROBOTIQUE	45
ANNEXE 2 : LES RECOMMANDATIONS DU RAPPORT £ « FACTORY@HOME » (2011)	50
ANNEXE 3 : LES <i>FAB LABS</i>	55
L'OBSERVATOIRE DE L'INNOVATION	58

AVANT-PROPOS

Cette note est le troisième item d'une série de trois études issues du travail de l'Observatoire de l'Innovation de l'Institut de l'entreprise, portant respectivement sur le *big data*, l'efficacité énergétique et les nouvelles technologies de production, publiées séparément et précédées d'une note introductive générale.

L'Observatoire de l'innovation est présidé par Christophe de Maistre, président de Siemens France et ses travaux ont été supervisés par Delphine Manceau, professeur à ESCP Europe, assistée de Julie Fabbri, ESCP Europe, rapporteur de l'Observatoire. Eudoxe Denis, Directeur des études de l'Institut de l'entreprise, a supervisé le cadrage du projet et de l'ensemble des séances de l'Observatoire ainsi que la rédaction de la note introductive.

L'Institut de l'entreprise tient à exprimer sa gratitude :

- › À l'ensemble des membres de l'Observatoire de l'innovation pour leur engagement dans ce projet :

Frédéric Allard, Vice-président R&D, IBM

Grégory Blokkeel, Responsable stratégie & open innovation, PSA

Marie-Anne Broodschi, VP Innovation, Veolia

Eric Conti, Directeur Innovation & Recherche, SNCF (également auditionné par l'Observatoire)

Priscille Crozemarie, Chargée de mission Secrétariat général, RATP

Julie Fabbri, Secrétaire Générale, Institut pour l'Innovation et la Compétitivité i7, ESCP Europe et doctorante au Centre de recherche en gestion (CRG) de l'École polytechnique

François Gerin, Directeur général adjoint, Siemens France

François Grosse, Senior Vice-President Digital Services, Veolia

Jakob Haesler, co-fondateur, Tynclues (également auditionné par l'Observatoire)

Frédéric Lefebvre-Naré, Consultant, Isée

Pascal Lemoine, Directeur technique et de la recherche, FNTF

Delphine Manceau, Professeur, ESCP Europe

Françoise Mercadal-Delasalles, Directrice des ressources et de l'innovation, Société Générale

Jean-Yves Moreau, Directeur des relations gouvernementales et parlementaires, Sanofi France

Michel Morvan, président et co-fondateur, The CoSMo Company (également auditionné par l'Observatoire)

Jean Richard de la Tour, Directeur des études, de l'innovation et des affaires publiques, Carrefour (également auditionné par l'Observatoire)

Martin Roulleaux-Dugage, Business transformation et Knowledge officer, Areva

Bernard Salha, Directeur recherche et développement, EDF

Jean-Christophe Saunière, Associé, PWC

Vincent Schramm, Directeur général, Symop (également auditionné par l'Observatoire)

Jérôme Weill, Associé, Oliver Wyman

› Aux personnes auditionnées lors des séances de l'Observatoire :

Philippe Berthier, Chef du département CRO, Innovation & Recherche, SNCF

André Bouffieux, président-directeur général, Siemens Belgique-Luxembourg

Eric Carreel, président fondateur de Withings, Sculpteo et Invoxia

Gilles Grapinet, Directeur général adjoint en charge des fonctions globales, Atos

Olivier Meunier, Directeur business development, Siemens Industry

Olivier Siri, VP Head of system design, Cassidian (Groupe EADS)

Claire Viguiet-Petit, Directeur des opérations diabète, Sanofi France

› Aux personnes auditionnées par l'équipe de l'Observatoire en dehors des séances de l'Observatoire :

Alexandre Grux, Responsable de la recherche et de l'innovation, Kyriba

Philippe Vappereau, Chairman d'Ixxi, filiale de la RATP

L'Institut de l'entreprise remercie enfin, pour leur collaboration tout au long des travaux de l'Observatoire, **François Gerin**, Directeur général adjoint, Siemens France, **Jérôme Weill** et **Reda Fettah**, respectivement associé et analyste chez Oliver Wyman, ainsi que pour leur précieuse contribution **Frédéric Allard**, **Robin Rivaton**, **Lauriane Contamin** et **Elise Schobel**.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent ni les personnes citées, ni les institutions qu'elles représentent.

SYNTHÈSE

L'usine évolue, les procédés de production gagnent en performance et s'enrichissent de nouvelles technologies de fabrication automatisées. En parallèle, les objets courants sont de plus en plus connectés, et ce même pendant leur construction ; l'usine peut maintenant suivre l'évolution d'un objet individuellement pendant sa fabrication, voire pendant tout son cycle de vie. De nouveaux outils comme le *big data* permettent d'augmenter le potentiel d'apprentissage des robots et de développer des analyses prédictives fines pour personnaliser le suivi des produits. Certains n'hésitent pas à voir dans cette évolution une mutation majeure du centre de production, à la suite de la machine à vapeur, de l'électricité et de l'automatisation, et à nommer ce phénomène « industrie 4.0 ».

Parmi les nouvelles technologies de production les plus novatrices se trouvent la robotique avancée, l'impression 3D ou fabrication additive et les outils de CFAO (conception et fabrication assistées par ordinateur). Elles ont comme point commun d'assouplir la production : la CFAO accélère la conception du produit et son développement en permettant la simulation des contraintes subies ou le calcul de ses caractéristiques physiques, et en traduisant le fichier numérique en instructions de fabrication, tandis que la robotique avancée et l'impression 3D transforment la chaîne de production et la rendent polyvalente. En effet, le robot industriel peut maintenant être programmé pour de nombreux usages, tandis que l'impression 3D permet de façonner n'importe quel objet par ajout successif de couches de matière, bien qu'elle reste limitée par les matériaux utilisables et la taille de l'objet réalisé. L'alliance de ces nouveaux outils permet de produire avec une meilleure efficacité et plus de liberté : les objets peuvent plus facilement être personnalisés et évoluent par simple modification du fichier numérique. De plus courtes séries deviennent rentables, tandis que l'organisation de la chaîne de production est plus flexible. À terme, les échanges de produits pourraient laisser place à l'échange de fichiers numériques, ensuite fabriqués localement dans une usine normalisée ; dans une certaine mesure, c'est déjà le cas dans les *fab labs*, littéralement « laboratoires de fabrication », qui permettent à des individus d'utiliser de nouvelles technologies de production,

et en particulier la fabrication additive. L'automatisation de l'industrie et la fabrication additive seraient aussi dans cette perspective une opportunité de relocalisation des moyens de production dans les pays développés.

L'impression 3D se distingue des autres moyens de production ; tout d'abord utilisée pour faciliter le prototypage, le marché se développe et s'étend aux individus : au-delà des apports industriels comme la capacité de réaliser des pièces imbriquées, de consommer moins de matériau coûteux en supprimant le gaspillage et en allégeant les objets, de fabriquer des pièces personnalisées en très petites quantités, les imprimantes personnelles atteignent le grand public grâce à des prix abordables et sont donc de plus en plus utilisées. La fabrication additive ne remplacera pas dans le moyen terme la production de masse, notamment à cause du coût des matériaux et du temps d'impression, mais elle pourrait faciliter le développement de petites industries innovantes et l'émergence d'un « artisanat 2.0 ». L'impression 3D est aussi l'occasion de l'émergence de nouveaux *business models*, et peut donner lieu à des démarches d'innovation ouverte. Toutefois, elle pose aussi de nouvelles questions, liées aux réglementations et à la sécurité, ainsi qu'à la menace qu'elle représente pour la propriété intellectuelle du moment qu'un objet peut être scanné.

Si ces nouvelles technologies de production sont prometteuses, elles demandent un investissement souvent trop lourd pour les PME, et les aides du gouvernement restent pour l'instant trop limitées. La France manque parallèlement d'acteurs privés suffisamment forts dans ces domaines, même si cette situation pourrait évoluer grâce à un important investissement dans la R&D et le transfert de technologies. Un tel investissement devrait être accompagné de formations aux nouveaux outils et de la revalorisation des métiers de la production auprès des élèves et étudiants. La mutualisation des capacités de production dans des *fab labs* pourrait permettre d'accompagner ce changement en rendant la production familière, que ce soit dans les entreprises, les écoles ou les lieux publics.

NOUVELLES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION, DE QUOI PARLE-T-ON ?

Historiquement, l'industrie a toujours été source d'innovations. Aujourd'hui, forte de nouveaux modes de production, elle se réinvente. Selon Ricardo Hausmann, célèbre économiste américain, nous sommes à l'aube d'une nouvelle révolution industrielle : « *Les avancées dans les technologies de l'information, les réseaux et l'impression 3D sont les moteurs d'une réinvention du système de production. Le monde entier va investir dans ces outils. Les États-Unis sont bien positionnés pour en être à l'origine. Seuls le Japon et l'Allemagne peuvent nous concurrencer.* »

Les nouvelles technologies de production à l'origine de cette réinvention de l'industrie constituent une source de flexibilité accrue pour les entreprises, leur permettant de mieux répondre aux évolutions et fluctuations des marchés et d'envisager de nouveaux débouchés. Des technologies comme l'impression 3D, la robotique ou la conception numérique pourraient générer de nombreuses innovations en cascade d'ici 2025, tirant ainsi la croissance et la productivité. Elles joueront un rôle particulièrement important dans les pays développés qui, ne pouvant lutter contre la production des pays à bas coûts, doivent miser sur l'innovation pour se différencier (compétitivité hors coût).

Il convient donc de présenter les nouvelles technologies de production, leurs usages et leurs impacts en termes de *business model*, d'organisation et d'innovation.

TPOLOGIE DES NOUVELLES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION

Il s'agit de technologies récentes et émergentes relatives à la production en tant que telle mais aussi à d'autres étapes du cycle de vie du produit, à savoir la conception et l'industrialisation (grâce aux nouvelles solutions de prototypage par exemple). Elles peuvent, en outre, avoir des conséquences sur les phases plus aval comme la distribution (distribution directe). Plus précisément, les nouvelles technologies de production incluent :

- › l'impression 3D ;
- › la robotique ;
- › la simulation et la conception assistées par ordinateur (CAO) ;
- › la fabrication assistée par ordinateur (FAO) ou fabrication numérique.

Certains y ajoutent l'automatisation, bien qu'il s'agisse davantage de développements récents d'une technologie plus ancienne que d'une nouvelle technologie en tant que telle.

Chris Anderson, chef de file du mouvement des « *Makers* », identifie aussi le découpage laser comme une nouvelle technologie importante dans la révolution des technologies de production, et notamment dans leur évolution vers des technologies de production domestiques. Ce procédé de fabrication à commande numérique, utilisé dans l'industrie depuis 1980, existe aussi en version de bureau, et constitue ce qu'il appelle une « *gateway drug* » vers la fabrication numérique. La conception et la fabrication sont facilitées par un support 2D, et le laser, tout en permettant de découper très précisément une surface peu épaisse (jusqu'à 2,5 cm), autorise la réalisation de formes variées. De plus, ces outils permettent de réaliser des objets 3D dans une certaine mesure : des logiciels sont capables de fragmenter un objet 3D en coupes 2D auxquelles sont ajoutés des éléments imbriquants, qui peuvent être découpés séparément puis assemblés. Ainsi, dans de nombreux *fab labs*, ce sont les outils les plus utilisés.

L'impression 3D

Développée dans les années 1980, l'impression 3D consiste à passer d'un objet numérique à un objet physique en trois dimensions ; c'est une technologie de fabrication rapide ¹. Un logiciel de conception assistée par ordinateur (ou *computer-aided design* en anglais) permet de réaliser un modèle de l'objet à créer. Le fichier CAO est ensuite « lu » par l'imprimante. Elle imprime alors l'objet en trois dimensions à l'aide des informations données en projetant des gouttelettes de matière ou de liant qui s'imbriquent les unes dans les autres.

L'impression 3D est aussi appelée production additive (*additive manufacturing* [AM] *technology*) car la fabrication se fait par ajout de matière, contrairement aux modes de production classiques qui utilisent la découpe et produisent des chutes. Les matières premières utilisées peuvent être de nature organique, minérale ou métallique, permettant de réaliser ainsi des objets en plastique, en céramique ou en métal par exemple. Elles sont souvent utilisées sous forme de poudre, de fil ou de résine liquide, même si plus de quarante procédés de fabrication additive existent aujourd'hui.

Les applications sont multiples : fabrication de composants ou d'objets finis pour l'industrie, production rapide de prototypes pour des projets architecturaux ou des études design, tests d'assemblage, moules de pièces... En 2011, 29 000 imprimantes 3D (à usage industriel ou personnel) ont été vendues contre seulement 12 000 l'année précédente, selon le *Wohlers Report 2013*. La diffusion s'est accélérée en 2012 et 2013. Cette forte croissance est tirée en partie par l'industrie avec une croissance de 5,4 %, mais surtout par les imprimantes à usage personnel avec une croissance de 289 %.

1. Rapide dans le sens où il n'est pas nécessaire de construire une chaîne de production pour développer le produit. L'impression en elle-même reste un processus lent : environ deux à trois heures pour un volume de 50 cm³ pour une impression en plastique ABS ou PLA.

Historique de l'impression 3D



La robotique avancée

Née dans les années 1960, la robotique englobe l'ensemble des robots industriels et non manufacturiers. Un robot est un **système mécanique articulé et programmable** qui est **capable de remplacer l'homme** pour effectuer un certain nombre d'actions physiques. Il interagit donc avec le monde réel grâce à des capteurs et des dispositifs d'analyse et d'action. La robotique est traditionnellement segmentée entre robots industriels et robots de service :

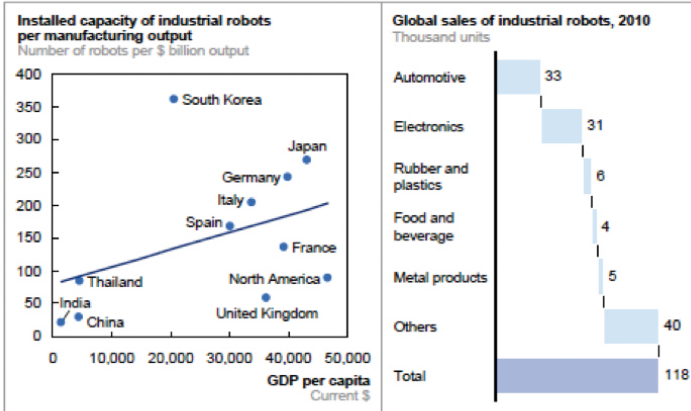
- Un **robot industriel** permet d'orienter, de déplacer, voire de piloter un outil de production. Il peut être utilisé pour souder, peindre, manipuler des pièces ou encore les assembler. En 2011, 3 058 robots industriels ont été vendus en France, soit 49 % de plus qu'en 2010 (43 800 robots industriels vendus en Europe en 2011, soit 43 % de plus qu'en 2010), selon l'étude « *World Robotics 2012* ». La valeur de ce marché est estimée à 25,5 milliards de dollars en 2011. Ce secteur est en forte croissance puisque les ventes mondiales atteignent 165 000 unités en 2012 et devraient s'élever à plus de 200 000 en 2015. Sur la base de ces analyses de la Commission européenne, Cap Digital, pôle de compétitivité des contenus et services numériques, estime que pour un million de robots industriels construits et installés, ce sont trois millions d'emplois qui ont été créés ou préservés.

Les robots industriels sont davantage utilisés dans les pays développés où la main-d'œuvre est plus chère et dans les industries les moins consommatrices de main-d'œuvre, automobile et électronique en tête. La croissance du secteur est néanmoins largement tirée par les pays émergents qui, profitant de la baisse des prix, s'équipent pour monter en gamme et adopter les standards exigés par les normes internationales.

Ainsi, en 2012, c'est la Chine qui figurait en deuxième place mondiale parmi les pays acheteurs de robots, le nombre de robots installés étant estimé cette année-là entre 28 000 et 35 000². Les ambitions chinoises vont d'ailleurs au-delà de la seule volonté de s'équiper au même niveau que les pays occidentaux : dans le 12^e plan quinquennal (2011-2015), la robotique est identifiée comme une industrie en croissance, à soutenir, l'objectif fixé par les autorités chinoises étant de produire 30 % des équipements intelligents nationaux avec les nouvelles technologies développées localement.

². En termes de stock, et dès lors qu'on s'attache à mesurer le ratio de robots par employé, la place de la Chine peut être relativisée. Ainsi, en 2010, la Corée du Sud comptait 287 robots pour 10 000 employés, le Japon 306, l'Allemagne 253, l'Italie 160, les États-Unis 130, la France autour de 120, le Royaume-Uni 60, et la Chine seulement 15. La moyenne mondiale s'établissait la même année autour de 55 robots pour 10 000 employés.

Advanced economies and innovative industries have installed the most industrial robots



NOTE: Numbers may not sum due to rounding.

SOURCE: International Federation of Robots; World Bank; McKinsey Global Institute analysis

- > Les **robots de service** rassemblent les autres robots qui ne sont pas manufacturiers au sens usuel de la robotique industrielle (robots ménagers, robotique d'assistance médicale). Dans le domaine agricole, des tracteurs autonomes guidés par GPS, des robots de tonte des moutons ou de cueillette des fruits ont récemment fait leur apparition. Dans le secteur militaire, la technologie utilisée par les drones d'observation aérienne en est encore à ses balbutiements. Ce marché est émergent, comparé à la robotique industrielle, mais son potentiel de croissance est considérable : selon la Commission européenne, il devrait s'élever à 100 milliards d'euros en 2020 et ainsi être multiplié par trente en dix ans³.

Cependant, la **distinction entre industrie et service tend à disparaître**, et une nouvelle typologie émerge. Au côté des robots qui servent l'industrie, certains distinguent les **robots non manufacturiers professionnels**, utilisés principalement

3. « France robots initiatives », mars 2013, ministère du Redressement productif et ministère de l'Enseignement et de la Recherche.

dans les domaines militaire, agricole et logistique, et les robots non manufacturiers à usage domestique, comme les jouets ou les appareils ménagers.

La simulation et la conception assistées par ordinateur (CAO)

La CAO consiste à utiliser des méthodes de calcul et des logiciels de modélisation de dernière génération pour **visualiser numériquement un produit**. À partir des données sur les caractéristiques du produit voulu et des outils de production, la CAO aide à concevoir, tester et réaliser des produits de meilleure qualité, en réduisant les coûts de développement. On trouve plusieurs types de logiciels de CAO à usage industriel : logiciel de dessin, logiciel d'optimisation et de conception... Ces logiciels se sont fortement développés à partir des années 1970.

La CAO comprend la CAO 2D, suivant les techniques classiques du dessin industriel à l'aide de figures géométriques de base, la CAO 2.5D, amorçant le dessin tridimensionnel et créant de fausses illusions de profondeur par projections isométriques, et la CAO 3D, permettant une représentation exacte de l'objet à produire et un pivot du design réalisé à 360° sur trois axes différents.

Selon le rapport 2012 réalisé par Jon Peddie Research (JPR), le marché mondial de la CAO représentait déjà 7 milliards de chiffre d'affaires en 2011. Les leaders du secteur sont Autodesk (solution AutoCAD), Dassault Systèmes (solutions CATIA et SolidWorks) et Siemens (solution Siemens NX). Ces technologies sont particulièrement utilisées dans la mécanique (51 %), l'architecture (18 %) et l'énergie et procédés (12 %).

Exemple : Tecnomatix est une gamme complète de solutions pour l'usine numérique proposée par Siemens PLM Software qui permet de fluidifier les échanges entre le monde des méthodes et celui de la production, de la présentation et conception des *process* à la réalisation de la fabrication, en passant par la simulation et la validation des *process*. Grâce à l'optimisation et à la validation des processus de fabrication avant la production, à l'élimination des pertes d'efficacité, à la réduction des temps de lancement de la production et à l'amélioration de la qualité, Tecnomatix propose une fabrication intelligente, rapide et rationalisée.

La fabrication assistée par ordinateur (FAO)

Apparue dans les années 1970⁴, la FAO, appelée également **fabrication numérique**, fait naître un produit dans une « usine digitale » où il est revu avant d'être produit physiquement. Un logiciel simule l'environnement de production grâce aux données collectées sur les machines, le capital humain, la chaîne de montage et l'agencement des équipements. À l'aide de ce logiciel doté d'outils de visualisation, d'analyse de données et de collaboration, l'équipe en charge du projet crée le produit et définit le processus de fabrication. Ce processus est contenu dans différents fichiers nommés blocs ISO. Chacun de ses fichiers va décrire les opérations à mener par une machine-outil et contenir le programme qui va la piloter. L'avantage marqué de la FAO est qu'elle permet des formes géométriques presque illimitées, non manufacturables par les procédés de fabrication traditionnels, ouvrant ainsi la voie à la créativité et à l'innovation.

Grâce à cette fabrication numérique, l'équipe de développement est également capable de planifier au mieux la production. D'autant plus que, les systèmes de fabrication numérique les plus performants incluent un accès aux données de production en temps réel grâce à des machines-outils à commande numérique interconnectées.

Exemple : le System Design Center de Cassidian, acteur clé dans le secteur de la défense, met en place, teste et évalue des systèmes de sécurité dans des univers technologiques cohérents, maritimes, terrestres, aériens et de management de crise, avant que les différents scénarios soient effectivement utilisés en situation réelle. Les manœuvres virtuelles dans un environnement simulé permettent aux experts de détecter les forces et les faiblesses des différentes options de conception en donnant un aperçu du futur système. Ces cyberscénarios permettent de prédire les comportements des différents acteurs, de vérifier l'interopérabilité des systèmes, facilitant l'optimisation des concepts de sécurité, la planification et la formation précoce de toutes les personnes concernées par les différents scénarios afin de gagner un temps précieux dans des situations d'urgence où la paix peut être compromise.

4. Si la première machine contrôlée par ordinateur date de 1952, d'après « How to Make Almost Anything », de Neil Gershenfeld (*Foreign Affairs*, 2012), la FAO ne s'est développée qu'à partir des années 1970.

Exemple : STS Industrie, société expérimentée dans l'usinage de précision, la conception, la métrologie et l'industrialisation clé en main, réalise des pièces de plus en plus complexes grâce à la mise en place d'un centre d'usinage par ultrasons pour les matériaux durs et cassants, piloté par le logiciel Siemens NX FAO.

L'industrie 4.0

La notion d'usine 4.0 est présentée dans *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*, le rapport d'avril 2013 du groupe de travail allemand « Industrie 4.0 ». Après les trois révolutions industrielles (machine à vapeur, électricité et informatique), les objets connectés et les nouvelles technologies de production, de plus en plus autonomes, permettent l'essor de « *smart factories* » dans lesquelles les différents appareils communiquent entre eux et avec le produit en cours de fabrication à tout moment, chaque produit pouvant être suivi individuellement sur tout son cycle de vie. Ces nouvelles usines créent des possibilités de personnalisation des produits, assouplissent les processus de fabrication, permettent une gestion globale optimisée de la chaîne de production et ouvrent le champ à de nouveaux *business models*.

LES NOUVELLES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION DOPENT LA PERFORMANCE ET INCITENT À REPENSER L'ACTIVITÉ DE NOMBREUSES ENTREPRISES

Les bénéfices associés à ces nouvelles technologies sont multiples.

- Produire avec plus de **liberté** et **gagner en productivité**. La production additive permet par exemple d'obtenir des **formes nouvelles** (matériaux architecturés associant des propriétés mécaniques, acoustiques, thermiques, électromagnétiques). Elle permet également de **fabriquer très rapidement des produits personnalisés**, à l'instar des laboratoires dentaires qui peuvent imprimer rapidement des prothèses en grandes quantités avec beaucoup de précision et à moindre coût (en s'affranchissant d'une prise d'empreinte par moulage plâtre de la dentition du patient).

Exemple : Stratasys, leader mondial de l'impression 3D, a souhaité se tourner vers les applications médicales. L'entreprise a alors proposé des modèles capables d'imprimer des implants dentaires ou des prothèses auditives. En 2011, son imprimante 3D Objet Eden 260V a reçu le prix des lecteurs du magazine médical *Dental Lab Products*⁵. Ils ont salué cette innovation qui répond à une vraie problématique de leur profession. La fabrication manuelle de modèles dentaires est très chronophage et crée un goulot d'étranglement qui rend difficile l'acquisition de nouveaux clients. L'impression 3D leur fournit une solution efficace puisqu'elle permet de fabriquer des modèles dentaires sur mesure avec une très grande précision, tout en leur libérant du temps.

- **Permettre des courtes séries rentables.** Autrefois, les contraintes de production en série faisaient exploser le coût de production de séries très limitées. L'impression 3D modifie cet état des choses. C'est pourquoi les spécialistes du secteur voient les activités industrielles B2B comme l'un des marchés prioritaires de l'impression 3D en cas de petites séries.

5. « L'imprimante Objet Eden 260V s'est vu décerner la plus haute distinction par le magazine *Dental Lab Products* », Arketyp 3D (<http://arketyp3d.com/actualite-1/>).

- **Repenser la manière dont les entreprises innover et transformer le cycle d'innovation**, car les nouvelles technologies de production permettent :
 - 1) d'apporter en permanence des changements incrémentaux aux produits (puisque'il n'est plus nécessaire de faire de grosses séries à l'avance) ;
 - 2) de prototyper et donner corps aux projets d'innovation en 3D – ce qui change radicalement la manière dont les équipes projets travaillent. Ainsi, **l'impression 3D associée à la CAO** réduit le *time-to-market* en concevant et développant des produits de façon plus rapide.

Exemple : en alliant les technologies de la CAO, de la FAO et des *big data*, Toyota, Fiat et Nissan ont pu conduire des tests à plus grande échelle lors de la conception. Ils ont mis en place des simulations et expérimenté virtuellement leur design et les différentes pièces proposées par leurs fournisseurs. Le temps de développement de nouveaux véhicules en aurait été réduit de 30 à 50 % ⁶.

- Bénéficier d'une plus grande **flexibilité organisationnelle**. L'impression 3D et les robots dernière génération reprogrammables permettent de changer plus facilement de stratégie (nouveau produit, personnalisation facilitée), mais nécessitent une main-d'œuvre plus qualifiée et polyvalente.
- **Rester compétitif**. L'industrie – et plus particulièrement les nouvelles technologies de production – est considérée par beaucoup de gouvernements comme le fer de lance de la compétitivité nationale. La robotique de service pourrait par exemple contribuer à répondre à certains défis sociétaux comme l'autonomie, la santé, le vieillissement de la population, la santé ou encore la mobilité.

Exemple : le gouvernement japonais a investi plus de 350 millions de dollars dans un programme de recherche et de développement de robots humanoïdes dans l'optique de faire face au vieillissement de sa population. Le but est double : automatiser au maximum les tâches physiques que les travailleurs âgés trouveront particulièrement pénibles et préserver l'autonomie des personnes retraitées le plus longtemps possible.

6. Étude « Manufacturing the Future : The Next Era of Global Growth and Innovation », McKinsey Global Institute, 2012.

LES TENDANCES D'INNOVATION LIÉES

- › L'émergence de ces nouvelles technologies de production a été favorisée par le développement d'autres axes d'innovation :
- › **Big data**⁷ : les méthodes de collecte et d'analyse d'un nombre impressionnant de données permettent de tenir compte des caractéristiques de l'environnement dans la modélisation de la production et de la conception. La fabrication assistée par ordinateur peut utiliser les *big data* pour intégrer en temps réel l'historique de production et les caractéristiques des différents équipements avec les outils de production avec lesquels le système est connecté, donnant ainsi une simulation de la production plus proche de la réalité. Le secteur de l'aéronautique, qui fait appel à des centaines d'acteurs pour fournir les différents composants, utilise ainsi les outils *big data* pour gérer la logistique et les processus de production des produits finis.

Exemple : le robot Watson a été développé par IBM pour assister les médecins dans leurs diagnostics⁸. Selon son fabricant, ce robot peut collecter, déchiffrer et interpréter à la fois des articles scientifiques, des historiques médicaux et des chiffres publiés par les instances de santé publique. Watson peut intégrer jusqu'à 60 millions de pages de texte par seconde. Il est en outre capable de « comprendre » les données non structurées, c'est-à-dire les phrases écrites spontanément sans intention d'être déchiffrées par une machine. Il intègre les résultats précédents pour les prendre en compte dans ses futures recommandations. Il propose enfin plusieurs diagnostics possibles avec pour chacun la probabilité qu'il soit juste, ainsi qu'une proposition de traitement.

- › **Lean manufacturing** : les nouvelles technologies de production peuvent être utilisées pour soutenir les initiatives « *lean* » qui cherchent à optimiser la production grâce aux principes d'amélioration continue et de réduction

7. Cf. la note de l'Institut de l'entreprise sur le sujet.

8. Jonathan Cohn, « The Robot Will See You Now », *The Atlantic*, mars 2013.

du gaspillage. Il s'agit de minimiser les déchets, les défauts, les stocks, les retards, les tâches et les transports. L'impression 3D, par exemple, n'utilise que la quantité de matière nécessaire ; il n'y a donc plus de chutes de production. La sobriété énergétique des usines est aussi l'un des objectifs identifiés de l'usine 4.0 par le groupe de travail allemand « Industrie 4.0 ».

Exemple : Siemens a développé Tecnomatix 9 qui offre une gamme étendue de solutions pour l'usine numérique. Parmi celles-ci, Tecnomatix Plant Design and Optimization utilise les technologies de simulation et conception assistées par ordinateur pour déterminer l'agencement optimal d'une usine. Le programme permet de visualiser en 3D l'agencement de l'usine et de simuler les flux de matériaux et la production. L'entreprise estime que le recours à cette solution peut permettre de :

- diminuer de 15 % les besoins de modifications d'outillage et d'équipement nécessaires à l'augmentation de la production (moins de déchets) ;
- avoir un agencement efficace de l'usine (moins de perte de temps) ;
- réduire jusqu'à 60 % le stock ;
- comparer le taux de défauts à l'objectif de qualité et proposer des inspections qualité (moins de défauts).

La société Daher, équipementier de rang 1 pour les industries de haute technologie, qui visait à réduire les coûts de développement des produits et les temps de cycle, a par exemple pu harmoniser les pratiques et développer des échanges fluides entre le bureau d'études et l'industrialisation, tout en supportant efficacement la stratégie *Make or Buy*, les transferts de production et la co-ingénierie grâce aux solutions Siemens NX CAO, NX CAE et le PLM Teamcenter.

-
- **Internet of things** (ou « objets connectés ») se réfère aux objets physiques qui possèdent des capteurs et des dispositifs embarqués produisant des données en temps réel. Ils permettent l'utilisation de dispositifs intelligents qui lisent des données relatives à ces objets, via les puces RFID par exemple. Ces outils connectés donnent accès à de nouvelles données et donc à de nouvelles

9. « Tecnomatix Plant Design and Optimization », Siemens (http://www.plm.automation.siemens.com/fr_fr/products/tecnomatix/plant_design/index.shtml).

possibilités de conception et production. Selon McKinsey Institute, l'Internet des objets aura un impact économique annuel compris entre 2,7 et 6,2 milliards de dollars d'ici 2025. Dans le secteur industriel, les puces RFID peuvent être utilisées pour suivre l'état des machines et assurer des mises à jour en temps réel afin de diminuer les temps d'arrêt. Placées sur des camions et des palettes, elles peuvent améliorer le suivi de la chaîne d'approvisionnement, surveiller la réduction des niveaux de stock ou des en-cours, ce qui permet d'augmenter l'efficacité opérationnelle.

À quoi ressembleront les usines de demain ?

Il faut tout d'abord noter que le cycle de vie d'une usine étant très long, la grande majorité des usines de demain sont déjà construites aujourd'hui. Ces usines sont déjà un concentré d'intelligence : la chaîne de production, composée de nouveaux robots polyvalents, devient de plus en plus souple, et s'accélère grâce à des systèmes d'autocontrôle et un dialogue direct accru entre les machines. Des capteurs suivent l'état des produits et des machines et un nombre croissant d'informations sur le processus de fabrication sont échangées entre les machines, avec le produit et entre les usines. Cette complexité croissante de la chaîne de production se traduit par exemple par des formes novatrices comme les usines en îlots, et permet une personnalisation plus poussée de la production. L'innovation dans l'industrie se poursuivra à différents niveaux : dans les procédés, dans les modes d'organisation et dans les produits. Il ne faut pas sous-estimer ce deuxième point, car les écarts de performances entre deux usines identiques peuvent être très importants. De plus, la polyvalence des chaînes de production permet d'envisager le développement d'usines plus petites, mieux intégrées à la ville, ou encore l'émergence de l'usine « *as a service* ».

Autre tendance, l'usine en kit. La société Procter & Gamble expérimente actuellement ce nouveau concept d'usine, assemblée en quelques jours à partir de conteneur contenant diverses fonctionnalités de base. Le fonctionnement en briques-conteneur permet de déplacer les moyens de production au plus proche des besoins et d'adapter la production à de fortes variations de demande de manière extrêmement rapide. C'est aussi une manière de s'adapter à des régions instables en réduisant les coûts et le temps d'installation et de démantèlement.

L'IMPRESSION 3D, UNE MANNE D'INNOVATIONS

L'impression 3D pourrait avoir des répercussions économiques et sociales majeures qui concernent à la fois les activités B2B et B2C, puisqu'il s'agit d'une technologie grand public. « *L'impression 3D permet de disposer d'un chemin direct entre un objet dessiné et sa réalisation* », explique Éric Carreel, fondateur de Sculpteo. La capacité à fabriquer facilement à domicile des objets de la vie courante revient à **mettre en concurrence le consommateur et l'industriel**. Ces phénomènes ont par le passé contribué à bouleverser considérablement des industries comme celle du développement photo (avec l'apparition du numérique et des imprimantes personnelles) ou du CD (avec l'échange entre pairs de fichiers musicaux par Internet). Ils s'appliqueront désormais aux objets en 3D. Davantage que remplacer une technologie, l'impression 3D apporte un niveau de service différent et justifie ainsi un coût supérieur.

UN MARCHÉ EXPONENTIEL

Le marché de l'impression 3D est estimé aujourd'hui à **1,7 milliard de dollars de chiffre d'affaires**. Les spécialistes estiment qu'une croissance à deux chiffres devrait se poursuivre jusqu'en 2015 ¹⁰. Une trentaine d'acteurs se partagent le marché, dont les leaders sont Stratasys Ltd, 3D System Corporation et EOS. Si on ne compte aucun producteur d'imprimantes 3D en France, nous sommes en revanche bien placés pour fournir les composants chimiques nécessaires au processus d'impression couche à couche.

¹⁰. Jeroen P.J. de Jong et Erik de Bruijn, « Innovation Lessons From 3-D Printing », *MIT Sloan Management Review*, hiver 2013, vol. 54, no 2 (reprint).

Nées il y a une vingtaine d'années, les imprimantes 3D étaient alors très coûteuses (plus de 25 000 dollars) et réservées aux centres de R&D des grandes sociétés dont l'offre se concentrait sur des produits de haute qualité. **L'aérospatial, l'automobile et les productions plastiques** sont toujours les industries prépondérantes du secteur. Les fabricants d'imprimantes 3D ont ensuite cherché à cibler les PME en rendant leurs machines plus accessibles (de 10 000 à 3 000 dollars). L'industrie reste, à l'heure actuelle, le plus gros utilisateur de ces technologies, à la fois pour ses séries limitées et pour ses processus internes d'innovation. C'est d'ailleurs pour le même type d'usages que les **agences de design et les architectes** utilisent de plus en plus l'imprimante, notamment pour la réalisation de prototypes.

Un nombre croissant de particuliers et de travailleurs indépendants s'équipent également, même si le phénomène reste encore marginal car il nécessite de maîtriser le logiciel de conception assistée par ordinateur qui pilote l'imprimante. Les acteurs du secteur poursuivent leur effort de démocratisation : en 2011, les premiers **modèles grand public** apparaissent pour un prix variant entre 350 et 2 000 euros. Les ventes d'imprimantes personnelles ont affiché un taux de croissance record de 289 % en 2011 ¹¹. Si les particuliers ne désirent pas s'équiper, il leur est possible de s'appuyer sur des *fab labs* équipés, voire de faire appel à des **services d'impression 3D**. L'impression 3D se développe aujourd'hui dans les biens de consommation personnalisables (ou sur mesure) comme la joaillerie, les jouets, l'architecture ou la santé. Les domaines d'application sont nombreux et prometteurs.

Exemple : Gemmyo, joaillier en ligne, propose plus de 5 000 modèles de bijoux sur son site, alors que la société ne possède ni stocks, ni moules. Fabriquant ses modèles au fil des commandes, l'entreprise n'a pas besoin d'entrepôt de stockage et peut ainsi économiser des polices d'assurance coûteuses en raison de la valeur des métaux précieux dans lesquels sont fabriqués les bijoux.

¹¹. Coralie Schaub, « La 3D fait forte impression », *Libération*, 30 septembre 2012 (http://www.liberation.fr/economie/2012/09/30/la-3d-fait-forte-impression_849903).

Une des spécificités du marché de l'impression 3D est la **multiplicité des technologies** utilisées. Chaque technologie permet une impression avec un certain type de matériau. Les imprimantes les plus simples impriment des objets en plastique, d'autres plus sophistiquées produisent des pièces en métal et en polymère. Il est également envisageable d'imprimer de la peau ou des tissus vivants (régénération de la peau en cas de brûlure), voire des armes à feu et même... des imprimantes 3D ! Les débouchés de l'impression 3D semblent quasiment illimités pour des **objets mono-matériaux**¹². Si de nouvelles encres permettent à certaines imprimantes de fabriquer de petits composants électroniques¹³, il n'est aujourd'hui pas envisageable qu'une imprimante 3D fabrique, par exemple, des processeurs de *smartphone*, alors que ceux-ci ne sont fabriqués que par deux usines dans le monde grâce à des investissements de plusieurs milliards de dollars.

Exemple : l'industrie agroalimentaire pourrait également être révolutionnée par les technologies de l'impression 3D et l'arrivée des imprimantes culinaires. En parallèle de l'utilisation de matériaux durs tels que le métal, la résine ou le plastique, certaines imprimantes 3D sont conçues pour créer des produits comestibles, à partir de chocolat par exemple. La Nasa s'intéresse à ce nouvel outil pour produire les plats des astronautes pendant leurs voyages stellaires de longue durée. Le premier prototype sera une imprimante 3D à pizzas.

Exemple : le groupe chimique international Solvay commercialise depuis fin 2012, la première gamme de poudres polyamides 6 dédiée au frittage sélectif par laser – technologie d'impression 3D la plus utilisée, qui permet de créer des pièces très complexes par addition de couches. Cette technologie de fabrication rapide pourra être utilisée pour réaliser des réservoirs de liquide de frein ou le cockpit du *Solar Impulse*, l'avion à énergie solaire dont Solvay est le premier partenaire.

12. Des imprimantes pouvant imprimer avec plusieurs matériaux se développent progressivement. Chez Stratasy, l'imprimante Objet Connex 3D permet maintenant de choisir parmi plus de cent vingt matériaux, d'en mélanger ou d'en superposer dans un même objet.

13. Le Lewis Research Group de l'université de l'Illinois développe ainsi différentes encres aux propriétés particulières, dont une encre à base d'argent qui permet d'imprimer des circuits électroniques de haute qualité à des coûts moindres.

SOURCE DE RENOUVELLEMENT DES USAGES

Les imprimantes 3D sont utilisées pour :

- › Visualiser un projet en ayant recours au **prototypage rapide**. L'impression 3D permet aux industriels, architectes et agences de design de créer un prototype afin de faire un test ou une démonstration. Le prototypage est la fonction historique de l'impression 3D. En effet, elle était initialement réservée aux industriels pour dessiner leurs maquettes. Le prototypage représente toujours 54 % des utilisations.

Exemple : Reebok et Timberlake créent des prototypes de leurs chaussures grâce à l'imprimante 3D ZPrinter. Cette imprimante utilise la technologie *Laminated Object Manufacturing* développée par le MIT qui consiste à déposer un liant sur une poudre composite¹⁴. Les prototypes sont ensuite envoyés à leurs sous-traitants asiatiques afin que ceux-ci visualisent le produit fini sur lequel ils vont travailler.

Exemple : tout comme Boeing utilise l'impression 3D pour construire des maquettes d'avions, Ford a recours au prototypage rapide. L'impression 3D y serait à l'origine de 77 000 éléments de prototypes en 2012¹⁵. Le but n'est pas de réduire les coûts, le kilo de poudre métallique se chiffrant à 48 euros, mais d'accélérer les délais de conception. En effet, produire un prototype ne prend qu'un à quatre jours, contre quelques semaines auparavant.

-
- › **Fabriquer un produit fini.** Cet usage représente 19 % des cas aujourd'hui, mais est en forte croissance. Selon certains experts, en 2020, 80 % de la capacité de production du parc d'imprimantes 3D dans le monde sera dédiée à la fabrication de produits finis. L'application typique est la **fabrication de**

14. Alain Clapaud, « Impression 3D : la nouvelle révolution industrielle », *01 Business*, 24 mars 2011 (<http://www.01net.com/editorial/531032/limpression-3d-bien-partie-pour-revolutionner-lindustrie/>).

15. Justine Gay, « Les technologies 3D au secours des constructeurs automobiles », *JDN*, 16 mai 2013 (<http://www.journaldunet.com/economie/automobile/la-3d-dans-l-industrie-automobile.shtml>).

pièces uniques, ou de pièces techniques pour des objets à grande valeur ajoutée, pour lesquels des pièces plus légères ou avec des formes plus complexes apportent une réelle amélioration : c'est le cas de certaines voitures de courses, d'avions... La fabrication additive permet aussi de fabriquer des pièces déjà assemblées.

Exemple : des produits de grande consommation, comme les lentilles de contact Novartis, ou des pièces automobiles, comme les moteurs de Ducati fabriqués par Stratasys, peuvent d'ores et déjà être produits grâce à une imprimante 3D. GE s'en sert également pour produire des composants pour ses moteurs d'avions.

Exemple : pour la fabrication de pièces en titane, notamment utilisées dans l'aéronautique, la fabrication additive est très compétitive par rapport aux procédés traditionnels qui engendrent beaucoup de gâchis : d'après des chercheurs d'EADS, dans certains cas l'impression 3D n'utilise que 10 % de la quantité de produit pour l'instant nécessaire, en utilisant moins d'énergie et parfois plus rapidement. Certaines pièces peuvent être jusqu'à 60 % plus légères, tout en restant aussi solides ¹⁶.

-
- Faire des **tests d'assemblage** (12 % des utilisations), créer des **moules de pièces** (9 % des utilisations) et se doter d'**outils de production** (4 % des utilisations).

Exemple : Stratasys, acteur de référence de l'impression 3D, utilise la technologie FDM (*Fused Deposition Modeling*) qui dépose un filament de plastique en fusion. Une fois refroidi, le plastique crée l'objet voulu. Cette technique est particulièrement utile pour fabriquer des moules de pièces car le matériau est résistant et durable ¹⁷.

16. « Three-dimensional printing from digital designs will transform manufacturing and allow more people to start making things », *The Economist*, 10 février 2011

17. « Impression 3D : la nouvelle révolution industrielle », art. cit. (<http://www.01net.com/editorial/531032/limpression-3d-bien-partie-pour-revolutionner-lindustrie/>).

Exemple : BMW imprime en trois dimensions des outils de fixation et d'outillage lorsque l'entreprise change ses processus de fabrication. Le recours à la production additive a permis une économie de 58 % des coûts et de 92 % du temps.

› D'autres utilisations plus marginales comme la fabrication de **pièces de remplacement**.

Exemple : la société américaine MarkerBot propose des imprimantes 3D pour les particuliers et met à disposition une plate-forme de partage de fichiers, Thingiverse, où l'on peut trouver des modèles de pièces de rechange pour les mixeurs ou les machines à café par exemple.

En outre, il faut souligner que l'impression 3D reste une innovation parmi d'autres au sein des nouvelles techniques de production, et plusieurs entreprises essaient maintenant de l'intégrer dans de nouveaux systèmes hybrides pour dépasser certaines de ses limitations à l'aide d'autres procédés de fabrication.

Le laboratoire Bits and Atoms du MIT développe ainsi le concept de *digital assembly*, un processus de fabrication à partir d'unités de matériau, inspiré des Lego, et qui pourrait dépasser certaines limites de volume et de qualité de l'impression 3D.

Quant au Replicator, développé par Cybaman Technologies, il peut réaliser de la manufacture soustractive et additive, et permet ainsi d'affiner le produit obtenu par impression 3D. Il peut aussi scanner des objets.

Enfin, le Harvard Microrobotics Laboratory a développé une imprimante hybride qui combine une option impression 3D avec une option de gravure automatisée ultraprécise qui permet de réaliser des circuits électriques.

LES PRINCIPAUX FREINS À LEVER

Le recours à la production additive s'explique par une volonté de gagner en flexibilité en réduisant les délais de prototypage et de développement, de faciliter le processus de production (une imprimante et un logiciel de CAO permettent en principe de remplacer tout une chaîne de production) et de créer des formes complexes impossibles à obtenir avec des techniques de production plus traditionnelles. Cependant, malgré certains efforts de démocratisation de la part des fabricants, l'impression 3D est encore majoritairement utilisée pour du prototypage rapide par les grands groupes industriels. On constate un certain nombre de freins à une adoption plus massive :

- Le marché peut paraître **peu lisible** en raison de la **multiplicité des technologies**, des matériaux et des usages correspondants.
- **L'absence d'économie d'échelle** : une unité ne coûtant « que le prix de la quantité de matériaux utilisé » et l'imprimante ne pouvant produire qu'un objet à la fois, le recours à cette technologie ne fait pas sens pour des produits de masse standardisés pour lesquels le recours à des technologies plus traditionnelles donnent un résultat satisfaisant, plus rapide et à moindre coût.
- **Une technologie coûteuse** tant au niveau de l'investissement initial que de la production car les « encres » des imprimantes 3D sont bien plus chères que les matériaux bruts de l'industrie classique. Un kilo de polymère coûte entre 130 et 200 euros¹⁸. Le prix des poudres métalliques utilisées dans l'imprimante 3D peut atteindre deux cents fois¹⁹ le coût d'une feuille de métal. Dans un tel contexte, le recours à l'impression 3D pour de gros volumes de production n'est pas rentable.
- **La persistance de défis techniques** : le nombre de matériaux aujourd'hui disponibles est encore relativement faible. Ces derniers nécessitent tou-

¹⁸. Étude d'Oliver Wyman, « Les nouvelles technologies de production », 2013.

¹⁹. Étude « Manufacturing the Future : The Next Era of Global Growth and Innovation », McKinsey Global Institute, 2012.

jours un conditionnement spécifique sous forme d'encre pour l'impression 3D, auquel certains matériaux se prêtent mal.

De plus, l'aspect extérieur des objets imprimés couche à couche reste un peu rugueux ou friable ²⁰, ce qui oblige à ajouter une couche de peinture ou bien à exécuter un lissage ²¹. Par ailleurs, imprimer des objets de grande taille reste problématique, aussi bien au niveau technique – même si des industriels s'attellent à trouver des solutions – qu'au niveau financier : le prix des imprimantes dépend principalement du volume maximal imprimable. Le temps d'impression reste pour l'instant assez long (chiffres plus haut).

Exemple : François Brument a exposé au salon « Maison et Objet » son projet expérimental « d'habitat imprimé ». L'impression 3D est ici utilisée pour créer un agencement unique et sur mesure. Le designer y a particulièrement présenté un module intégrant chambre, dressing et cabine de douche de 2,2 m sur 4,65 m ²². Pour réussir à imprimer un projet d'une telle taille, il a dû faire appel à Voxeljet, l'unique société européenne qui peut imprimer des pièces de béton de cette taille. Son imprimante est en effet capable d'imprimer des objets jusqu'à 4 × 2 × 1 m³. Le défi de la maison imprimée n'est pas gagné car la taille des pièces reste encore limitée.

- Une **nécessaire acquisition de compétences** pour pouvoir utiliser le logiciel de conception assistée par ordinateur qui pilote la machine. Il faut donc former des techniciens qualifiés. Les particuliers surtout peuvent ne pas savoir comment utiliser leur imprimante.
- Des questions de **propriété intellectuelle** en suspens sur les copyrights, la protection de la propriété du design, les copies non autorisées, etc.

²⁰. Cela dépend des matériaux, c'est moins le cas pour les métaux, la céramique ou la cire.

²¹. Certaines imprimantes permettent de polir le plastique utilisé. De nouvelles techniques se développent aussi, par exemple le lissage par des vapeurs d'acétone.

²². Site du designer : <http://in-flexions.com/> et article : « Les imprimantes 3D, vers une nouvelle révolution industrielle ! »

L'impression 3D : le prochain Napster ?

Avec l'essor de l'impression 3D, et surtout sa démocratisation, un certain nombre d'industries s'exposent aux mêmes risques de piratage et de droit d'auteur que l'industrie du disque et du cinéma. Vendues à des prix élevés, les pièces de rechange d'automobiles ou d'équipements électroménager pourraient ainsi rapidement être répliquées via Internet et une imprimante 3D. De même, l'industrie du jouet est particulièrement concernée. La législation, qui dans la plupart des pays estime que les copies personnelles – non commerciales – ne contreviennent pas au droit des brevets et des marques, n'est pas nécessairement adaptée à cette rupture technologique. De plus, les droits de propriété protègent généralement les objets qui sont purement esthétiques, pas nécessairement ceux qui sont utiles.

Aux États-Unis, une première affaire de piratage a déjà été portée devant les tribunaux : le producteur de cinéma Paramount a ainsi envoyé une mise en demeure à un internaute qui avait reproduit et imprimé en 3D une copie du cube visible dans le film *Super 8* de J. J. Abrams. La modélisation en 3D de l'objet avait été envoyée et partagée sur le service Shapeways.com, qui propose aux internautes d'en commander des copies physiques, en trois dimensions.

- Des questions de **réglementation et de sécurité** : les produits téléchargeables sur Internet n'ont pas passé de contrôle qualité et peuvent être dangereux, notamment si l'imprimante peut imprimer des médicaments ou des jouets avec des matériaux qui risquent d'être toxiques. Dans le cas d'un problème qui, de l'imprimeur, de l'acheteur, ou des concepteurs, est en faute ? De nouvelles questions de responsabilité légale sont soulevées dans une industrie éclatée, aux acteurs de plus en plus nombreux.
- **Résistance au changement** : peur que le recours accru à la machine soit synonyme de perte d'emplois, réticence des industriels à renouveler leur parc industriel de façon précoce en raison de l'importance de l'investissement financier ...

UNE SOURCE D'INNOVATIONS PLURIELLES

- › **Des innovations d'offre** : l'impression 3D permet de créer de nouvelles formes en ajoutant de la matière au lieu de la découper (nouveaux produits). De plus, cette technologie est exploitée par des entreprises pour proposer de nouveaux services à leurs clients.

Exemple : deux entrepreneurs, Max Bogue et Peter Dilworth, ont proposé un stylo capable de dessiner en trois dimensions, le 3Doodler, sur la plate-forme de *crowdfunding* KickStarter. Il suffit de brancher le stylo puis de dessiner avec, sur une surface ou dans l'air. Le stylo expulse alors un mince filet de plastique fondu par la mine qui reproduit le mouvement de la main. Le plastique refroidit rapidement et devient alors solide. Les deux entrepreneurs cherchaient à collecter 30 000 dollars pour financer la production du 3Doodler ; quatre jours après le lancement de la campagne, ils avaient déjà récolté 1,5 million de dollars ! Les premiers clients devraient recevoir leur stylo en janvier 2014.

- › **Des innovations de procédés**, puisqu'il s'agit d'un nouveau procédé de fabrication. Mais l'impression 3D redéfinit aussi le rôle de l'utilisateur : il est désormais actif dans la conception du produit, ce qui permet de parler de **co-conception** ou de **co-création**. À l'heure de l'**innovation ouverte**, les utilisateurs partagent leurs modèles sur des plates-formes libres en ligne et collaborent entre eux ou avec l'entreprise pour créer de nouveaux modèles.

Exemple : le design de l'imprimante 3D à usage personnel RepRap ²³ (*replicating rapid prototyper*) est disponible en *open source* (accessible à tous pour un investissement d'environ 400 dollars). Inventée par le professeur britannique Adrian Bowyer, cette imprimante, fabriquée à base de plas-

23. « Innovation Lessons From 3-D Printing », art. cit.

tique, est capable d'imprimer des objets en plastique. RepRap peut donc être facilement répliquée. À partir de 2007, la communauté RepRap (ceux qui répliquent leurs propres imprimantes) augmente de façon spectaculaire : des milliers de passionnés fabriquent des copies et améliorent la version originale de M. Browyer. Depuis 2012, certains proposent des versions commerciales relativement abordables (en dessous de 2 500 dollars), à monter soi-même.

Le **processus d'innovation** est également radicalement transformé du fait des changements incrémentaux permanents du produit et de la présence très en amont de prototypes 3D aisément réalisables. Cette nouvelle technologie permet de **repenser complètement la manière dont les entreprises innovent**.

- **Des innovations de *business models***. Nombre d'acteurs se sont servis de cette nouvelle technologie pour proposer des offres reposant sur une nouvelle combinaison de la chaîne de valeur, particulièrement dans le B2B pour des séries inférieures à 1 000 pièces. L'impression 3D ouvre également un immense potentiel de **mass customization** (personnalisation à grande échelle parmi un très large éventail de choix). La personnalisation précède ici la production, contrairement à l'industrie automobile traditionnelle où le client pouvait demander à ce qu'on lui ajoute certaines options. Selon C. Andersen, l'avenir de l'industrie passe par cette nouvelle façon de produire des objets, en plus petite série, plus personnalisés. Certains spécialistes soulignent que l'impression 3D peut devenir une importante source d'**innovation frugale**, c'est-à-dire avec peu de ressources, parce qu'elle permet de ne pas avoir de stock, de se passer de certains intermédiaires de la distribution via la vente de design à imprimer chez soi²⁴. D'autres experts sont plus prudents et soulignent que les contraintes de coûts limiteront l'usage de ces technologies dans les secteurs B2C aux seuls produits pour lesquels la personnalisation est suffisamment valorisée pour que les clients acceptent de payer nettement plus cher qu'un produit standard ou un produit « sur mesure ».

24. Cf. la note de l'Institut de l'entreprise sur l'efficacité énergétique.

Sculpteo, quand le consommateur devient créateur-producteur-distributeur

Sculpteo permet au client de télécharger un fichier 3D et d'imprimer l'objet en question à partir d'une quarantaine de matériaux. La spécificité de Sculpteo est d'avoir créé un moteur logiciel dans le *cloud* permettant à chacun, particulier ou entreprise, de transmettre le dessin d'un objet à réaliser sur un serveur qui va le corriger, lui affecter un prix et le commander en ligne en fournissant un délai de livraison. Au départ, Sculpteo pensait que chacun souhaiterait dessiner son propre objet, le temps libre aidant à faire du consommateur un véritable créateur. Mais, paresse ou absence de don créatif, il semble que la plupart des clients préfèrent choisir un objet dans un catalogue ou se tourner vers la plate-forme participative facilitant l'échange et le partage de fichiers de design 3D et de bénéficier des conseils de designers 3D.

Sculpteo tente de développer le marché de l'objet personnalisé : accessoires de *smartphone* (un marché de plusieurs milliards de dollars cette année), bijouterie-joaillerie (à partir des croquis de leurs bijoux, certains grands joailliers utilisent des imprimantes 3D pour produire un moule utilisé ensuite selon la méthode de la cire perdue) et art de la table (marché encore confidentiel car les pièces sont grandes, donc chères)...

S'inspirant d'acteurs innovants du marché du vêtement, comme Zara ou Nike, Sculpteo a cherché à comprendre les attentes et pratiques des clients face à la personnalisation de produits. L'expérience de personnalisation semble fonctionner commercialement quand elle est limitée dans le temps, entre 0 et 30 secondes. C'est dans cet esprit que Sculpteo a conçu son application de personnalisation de coques d'iPhone avec une modélisation en 3D visible en temps réel ; des designers sont invités à créer des objets destinés à être finalisés et personnalisés par le grand public : marquage du prénom, relief, dessins... Mais laisser le client modifier l'objet n'est pas du tout habituel pour les designers français. De fait, Sculpteo se trouve être l'interface entre les designers, les ateliers de fabrication et les clients, se distinguant ainsi radicalement de l'ancien modèle économique de fabrication.

Le principal obstacle du développement de l'impression 3D aujourd'hui n'est donc pas le coût ou les difficultés techniques, mais le fait que la personnalisation n'est pas encore complètement entrée dans les usages, soit parce que le client ne sait pas ou ne souhaite pas inventer un objet de toutes pièces, soit parce que son designer est réticent à le voir modifié à volonté.

POINTS D'ATTENTION POUR LES POUVOIRS PUBLICS

L'impression 3D est la technologie de production la plus émergente et la plus médiatisée. Barack Obama a déclaré qu'elle « *va révolutionner la façon dont nous produisons pratiquement tout* »²⁵. Le président américain a inauguré en 2012 le *Nation Additive Manufacturing Innovation Institute* (Nami), un centre de R&D sur l'impression 3D²⁶, installé dans la *Tech Belt*, auquel l'État a versé une aide initiale de 30 millions de dollars. Il sera ensuite financé par des instances fédérales et un consortium d'entreprises dont font partie Boeing et IBM. Son but est de favoriser le partage de connaissances entre les établissements d'enseignement et les entreprises, de promouvoir l'utilisation de l'impression 3D et de former à cette nouvelle technologie. Frédéric Fréry, professeur à ESCP Europe, explique que l'impression 3D permet d'envisager une **réindustrialisation des pays riches** sans en reconstruire pour autant les usines²⁷. Chris Anderson, auteur du livre *The New Industrial Revolution*, rappelle que les techniques de prototypage rapide permises par les imprimantes 3D « démocratisent » l'innovation. Favoriser la création de *fab labs*, ateliers de fabrication ouverts à tous et équipés d'imprimantes 3D et de machines-outils numériques, est une des façons d'encourager la diffusion de cette nouvelle technologie de production à l'échelle du territoire.

En France, la faiblesse de l'équipement en robotique de pointe a fait l'objet de nombreuses critiques, particulièrement depuis la parution du rapport Gallois. Le rapport gouvernemental « France robots initiatives », en mars 2013, fait également état de ce sous-équipement relatif du pays. La densité de robots par employé de production y est 1,5 fois moindre qu'en Allemagne dans l'auto-

25. « *The 3-D printing that has the potential to revolutionize the way we make almost anything* », propos cités dans l'article de Steven Kurutz, « A Factory on Your Kitchen Counter », *The New York Times*, 20 février 2013.

26. Étude d'Oliver Wyman, « Les nouvelles technologies de production », 2013.

27. Frédéric Fréry, Benjamin Jean, Laurent Meillaud, Florent Detroy et Stephan Silvestre, « Ces innovations technologiques qui pourraient révolutionner l'économie mondiale », *Atlantico*, 13 mai 2013

mobile et 4 fois moindre dans les autres secteurs. Les causes identifiées sont la faiblesse des transferts de connaissances du monde académique vers les entreprises et un marché peu lisible qui peine à attirer les investisseurs. Conscient de l'importance de la robotique pour la compétitivité du pays, le rapport qualifie la robotique de « nouvelle frontière de l'industrie » et cherche à favoriser son développement sur le sol français. Le gouvernement a par exemple mis en place le projet Start PME visant à soutenir les PME dans leur équipement en robotique. L'objectif est d'informer les PME-PMI sur la robotique et d'accorder à 250 entreprises une aide à la formalisation du projet d'équipement et un financement de 10 % de l'investissement nécessaire à sa réalisation ²⁸.

La robotique figure aussi parmi les trente-quatre « plans de reconquête » de « *La nouvelle France industrielle*²⁹ » dévoilés par le Ministère du redressement productif en septembre 2013 (en revanche, l'impression 3D n'y est que citée de manière anecdotique, dans la proposition « Usine du futur ») et devrait à ce titre bénéficier d'investissements dans le cadre des investissements d'avenir. Autre mesure, qui figure dans le projet de loi de finances pour 2014 : la possibilité d'un amortissement accéléré de leur équipement (sur une période de vingt-quatre mois) pour les PME ayant investi dans la robotique industrielle.

Les politiques de soutien aux nouvelles technologies de production dans les principaux pays industriels

Impression 3D

Les États-Unis et l'Asie ont pris une longueur d'avance dans le soutien au développement des technologies de fabrication additive.

En Asie, la Chine, qui ambitionne de devenir le leader de l'impression 3D à l'horizon 2016, a lancé un plan d'investissements de 245 millions de dollars pour stimuler le développement technologique dans ce domaine. L'industrie de l'impression 3D y bénéficie aussi d'une fiscalité favorable.

²⁸. « France robots initiatives », mars 2013, Ministère du redressement productif et Ministère de l'enseignement et de la recherche.

²⁹. « La nouvelle France industrielle », Ministère du redressement productif (<http://www.redressement-productif.gouv.fr/files/la-nouvelle-france-industrielle.pdf>).

Le gouvernement de Singapour a quant à lui annoncé en août 2013 que le Conseil du développement économique du pays investirait 500 millions de dollars sur les cinq prochaines années dans un plan de soutien au développement de l'industrie de l'impression 3D. La ville-État dispose déjà d'un centre de recherche dernier cri, spécialisé dans les problématiques liées à l'impression 3D, dont le lancement a été entièrement financé par le gouvernement. Ce centre devrait acquérir les tout derniers modèles d'imprimantes 3D, incluant les dernières machines industrielles travaillant à base de métal ou des « bio-imprimantes » capables d'imprimer des tissus humains.

Aux États-Unis, qui possèdent aujourd'hui plus de 40 % du parc mondial d'imprimantes, la fabrication additive bénéficie d'un soutien public important et a été popularisée par le président Obama lui-même dans son discours sur l'État de l'Union. Pour ce dernier, l'impression 3D devrait permettre de relocaliser une partie de la production manufacturière sur le territoire américain. Le gouvernement a décidé d'investir 30 millions de dollars dans la création d'un institut pilote dans l'Ohio, dont la première mission sera d'offrir du financement aux chercheurs et entrepreneurs désireux de développer des techniques et des connaissances au sein de l'institut. L'idée est de créer un institut hybride, entre laboratoire de recherche et incubateur pour entrepreneur, afin de faire émerger les entreprises de demain. Des imprimantes 3D de pointe seront proposées en accès libre aux membres du centre.

En Europe, les soutiens sont plus anecdotiques. Le gouvernement britannique a ainsi annoncé le financement de projets de recherche sur la fabrication additive à hauteur de 7 millions de livres, ainsi que le lancement d'un portail d'information et de mise en relation (<http://www.add3d.co.uk/>) par l'EPSRC (Conseil de recherche en sciences physiques et ingénierie).

Robotique avancée et industrie 4.0

La prise de conscience de l'importance de la robotique avancée en France a été lente. Aucune action concrète n'est mise en place suite au rapport de Deloitte en 2009 sur « La robotisation des PMI françaises ». Pourtant, les entreprises françaises sont en retard aussi bien dans l'utilisation de robots

avancés ¹ que dans leur conception : peu d'acteurs de la robotique industrielle sont français, et les plus gros producteurs sont japonais (quatre entreprises représentent 66 % du marché mondial), allemands (15 %) et helvético-suédois (13 %). En mars 2013, avec le plan « France robots initiatives », quelques mesures de soutien ont été annoncées, comme l'investissement de 15 millions d'euros dans le fonds d'investissements à risque Robolution Capital, la création de cinq laboratoires mixtes PME-public dans le cadre du plan Valorisation du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, le lancement de Start PME avec un financement de 33 millions d'euros pour soutenir la robotisation de 250 PME, et des appels à projets robotiques dans le cadre des investissements d'avenir. Ces soutiens restent faibles par rapport à ceux d'autres pays pourtant déjà présents sur le marché.

Aux États-Unis, dans le cadre du *National Strategic Plan for Advanced Manufacturing*, le financement de la R&D est de 2,2 milliards de dollars pour l'année 2013, le domaine du *smart manufacturing* étant mis particulièrement en avant. De manière plus ciblée, la *National Robotics Initiative* avait reçu un financement de 70 millions de dollars en 2011 pour accélérer le développement d'une nouvelle génération de robots.

En Corée du Sud, il existe une forte implication de l'État, comme le montre la feuille de route du *National Science and Technology Council* coréen, avec comme but pour ce pays de devenir un leader mondial de la filière dès 2018. L'État a conçu de fortes incitations pour le développement d'un marché local (robots éducatifs dans les écoles par exemple). En 2012, le gouvernement a annoncé un investissement de 316 millions de dollars sur dix ans pour développer les nouvelles technologies et la robotique, et accroître la taille du marché coréen de la robotique de 1,9 à 23,6 millions de dollars d'ici 2022.

1. L'âge moyen des outils de production en France est évalué à vingt ans par le Symop. De plus, le nombre de robots pour 10 000 employés en 2010 était d'environ 306 au Japon, 287 en Corée du Sud, 253 en Allemagne, 130 aux États-Unis et seulement 120 en France.

À Taïwan, le développement de la robotique fait partie du *Promotion Plan for Enlarging Investment in Emerging Industries* dans lequel le gouvernement investit 67 millions de dollars sur la période 2008-2013, avec pour but de devenir un centre de production globale de robotique en 2020.

De manière plus générale, le groupe de travail allemand « Industrie 4.0 », lancé par des fédérations professionnelles et soutenu par le gouvernement, réfléchit aux moyens de soutenir le développement des nouvelles technologies dans les usines. Le gouvernement finance ainsi à hauteur de 200 millions d'euros la plate-forme d'expérimentation Industrie 4.0.

Néanmoins, les décideurs publics doivent également rester vigilants aux innovations d'usage et de *business models* impliquées par ces nouvelles technologies de production. Si la R&D est indispensable à l'innovation dans de nombreux secteurs, elle ne suffit pas. Au-delà de cette vision technologique de l'innovation, il est important de prendre en compte les différentes sources et facteurs organisationnels (créativité, design, marketing), ainsi que les formes (innovation de processus, innovations incrémentales) que l'innovation peut revêtir dans sa vision élargie, afin de maximiser les viviers de compétitivité. L'innovation est un objet multiple résultant de processus complexes qui désigne à la fois le processus conduit par l'entreprise et l'issue de ce processus. Un des enjeux majeurs de l'économie française actuelle est d'améliorer la capacité à transformer la recherche réussie et l'invention en innovations générant de l'activité économique, afin d'enrayer l'intensification de la concurrence par les prix et de mettre l'accent sur d'autres facteurs de différenciation. Les approches de type *design thinking*, associant usage, ergonomie, esthétique, ne doivent pas être sous-estimées pour accélérer la diffusion des nouvelles technologies de production.

Propositions:

Les propositions évoquées ici concernent essentiellement la robotique.

Les études du Syndicat des entreprises des machines et technologies de production (Symop) soulignent la sous-robotisation des lignes de production et l'âge vieillissant du parc de machines dans les usines, estimé en moyenne à dix-sept ans. Les gains de productivité en matière d'organisation ne suffisent plus. Il faut donc passer à une phase active de modernisation, d'autant que la demande internationale existe pour ceux qui sont compétitifs.

Jusqu'ici, les initiatives proposées par le gouvernement, notamment dans le plan Plan France Robots Initiatives de mars 2013, se sont avérées positives. Sa mesure phare, le fonds de capital-risque Robolution Capital, a cependant mis plus de temps que prévu à voir le jour : attendu pour l'été 2013, sa constitution s'est achevée début mars 2014.

Autre initiative, le programme Robot Start PME, montre des signes encourageants. Lancé en novembre 2013, il prévoit d'aider 250 PME à acquérir leur premier robot grâce à une subvention de 10% du prix d'acquisition et d'installation du robot. Six millions d'euros y sont consacrés, moitié pris en charge par la BPI, moitié par des acteurs privés.

Mais France Robots Initiatives est avant tout l'affirmation d'une volonté gouvernementale, et c'est à la filière, ensuite, de convaincre les grandes entreprises d'y adjoindre et les chercheurs de mieux valoriser leurs travaux.

ROBOTIQUE

a) Renforcer le financement de la filière robotique

› Développer des fonds sur le modèle de Robolution Capital

Le fonds Robolution Capital réunit aujourd'hui 80 millions d'euros, 20 millions de plus que prévu, financés à parts égales entre le public (la BPI et le Fonds européen d'investissement) et le privé (AG2R la Mondiale, Orange, EDF, Thalès et des actionnaires individuels comme Marc Simoncini, le fondateur de Meetic, et Bruno Bonnell).

› **Utiliser les financements européens**

Il importe de mobiliser les entreprises pour qu'elles utilisent les fonds européens consacrés à la robotique, soit 700 millions d'euros sur sept ans. Or, pour le moment, la France se fait distancer par les Anglais, les Allemands et les Scandinaves.

› **Pérenniser le mécanisme d'amortissement accéléré**

Les PME qui investissent en robotique industrielle, sur une amélioration des processus de production ou sur les technologies d'avenir entre le 1^{er} octobre 2013 et le 31 décembre 2015 peuvent bénéficier, à ce titre, d'un amortissement exceptionnel sur 24 mois, applicable à compter de la mise en service de l'immobilisation. Ces investissements sont également éligibles au dispositif s'ils sont mis à disposition d'une autre entreprise. Il serait judicieux de pérenniser ce dispositif.

b) Diffuser davantage les vertus des robots

› **Les pouvoirs publics et les entreprises pourraient faire en sorte de mieux faire connaître l'existence des nouvelles technologies de production, à commencer par les robots.**

Groupes de travail, conférences, voyages d'études pourraient s'avérer des outils simples mais efficaces à cet effet.

› **Les pouvoirs publics, les entreprises et les instituts de recherche pourraient s'allier pour mener des programmes de recherche sur les avantages et inconvénients des nouvelles technologies de production, et s'attacher à diffuser dans l'opinion le résultat des études.**

Il reste difficile cependant de relier robotisation et taux d'emploi. Parmi les deux études qui s'y sont intéressées, l'une, du cabinet de consulting londonien Metra Martech (2012), s'attarde sur le cas particulier des industries automobiles allemande et japonaise qui « ont maintenu leur position de leader sur le marché » grâce à l'automatisation. L'autre, du cabinet parisien Erdyn (2012)³⁰, invite à la prudence : « *Aucun lien systématique ne saurait*

30. <http://www.erdyn.com/fr/news/view/r/robotique-personnelle-et-de-service--erdyn-etudie-pour-le-pipame-le-potentiel-de-l%E2%80%99industrie-francaise>

être fait entre l'usage d'un outil (ici le robot) et les impacts en termes d'emploi. » Tablant, en France, sur un potentiel de création d'emplois « de quelques milliers à quelques dizaines de milliers » à un horizon de cinq à dix ans, les analystes d'Erdyn n'évoquent pas la question des emplois supprimés.

► **Renforcer le rôle prescriptif d'OSEO et des agences de design dans la diffusion des nouvelles technologies de production**

► **Développer une politique d'achats publics innovants**

L'Etat s'est déjà engagé dans une telle politique à hauteur de 10 millions d'euros, afin de diffuser le goût de la robotique, mais pourrait aller plus loin.

c) **Fluidifier le passage de la recherche fondamentale aux applications industrielles et commerciales**

La recherche publique française en robotique est de très grande qualité, occupant les premières places en termes de publications scientifiques. Mais trop peu en est converti en produits ou entreprises. Il serait nécessaire, à cet effet, de développer des organismes capables d'accompagner de tels projets, à l'image du Groupement de recherche en robotique (GDR) créé en 2007 par le CNRS.

d) **Développer les intégrateurs**

Selon certains, la priorité serait en France à l'émergence d'acteurs de poids en robotique industrielle, la robotique de services française étant de son côté en très bonne position. Or il semble peu probable que cette ambition soit remplie, tant les acteurs allemands et japonais, rejoints récemment par Google, dominent le marché.

Il semblerait plus judicieux, comme l'explique Robin Rivaton ³¹, de s'attacher à la création d'une filière robotique prospère et intégrée entre roboticiens industriels, intégrateurs et roboticiens de service. En effet, explique-t-il,

31. Fondapol, *Relancer notre industrie par les robots (2)* : Les stratégies, Robin Rivaton, décembre 2012 ; <http://www.fondapol.org/wp-content/uploads/2012/12/Note-robotique-Rivaton-2.pdf>

l'absence de producteur national n'est pas dommageable car « *la commercialisation des produits des roboticiens passe par des sociétés tierces, les intégrateurs. Bien que certaines grandes entreprises comme Michelin réalisent elles-mêmes l'intégration des robots dans leurs usines, la plupart des entreprises de petite ou moyenne taille ont recours aux services d'une entreprise spécialisée qui vend une solution productique globale adaptée aux besoins particuliers de l'entreprise, incluant le robot mais aussi les outils, l'audit, l'installation, la programmation, la formation des employés et, parfois, la maintenance post-installation.* » Cet ensemble de services représentant environ les deux tiers des ventes de robots, et ces acteurs résidant sur le sol français, il y a ici un gisement de valeur pour notre pays.

Or le marché français des intégrateurs est encore trop réduit – moins de 400 sur l'ensemble du territoire –, obsolète, et comporte des expertises sectorielles trop fragmentées. Et Robin Rivaton se conclure : « *Leur présence (...) est une condition nécessaire pour assurer le déploiement d'un outil robotique à l'échelle nationale et son maintien dans le temps, via la maintenance et la mise à jour des équipements.* ». La France a donc intérêt à favoriser le développement de quelques intégrateurs nationaux de grande taille, aux compétences suffisamment diverses pour couvrir plusieurs secteurs.

e. Aider les PME à acquérir des robots

Au-delà des grands groupes, accompagner les PME dans le développement de la robotique semble indispensable. Aujourd'hui, une très grande majorité des robots se trouve dans les grandes entreprises et pour seulement un tiers dans celles de moins de 1 000 salariés. L'une des raisons en est la pression fiscale et la faiblesse des marges opérationnelles.

- › **Développer des programmes sur le modèle de « Robot Start PME »**
- › **Encourager la mutualisation des capacités de production sur le modèle du *hub*, carrefour d'expertises des grandes entreprises, des PME et des start-up.**

Les grandes entreprises pourraient ainsi faire bénéficier des PME ou des *start-up* de leurs robots, moyennant un partage de R&D de la part de l'entreprise bénéficiaire.

› Aider les PME à intégrer les robots

Si les PME ou *start-up* sont aidées dans l'achat d'outils, elles n'ont pas forcément les moyens humains pour utiliser ces derniers. Il faut donc intégrer dans les politiques publiques les coûts financiers de formation et de maintenance.

IMPRESSON 3D

a) Accélérer la recherche sur les matériaux

La France ne dispose que de très peu d'industriels fabriquant des imprimantes 3D, et il n'est pas sûr qu'elle puisse rattraper son retard en la matière. Cependant, tout comme dans le cas de l'impression classique, la production et la commercialisation de matériaux utilisés par les imprimantes 3D pourraient s'avérer rémunératrices. La France, bien dotée en industriels de la chimie et spécialistes des matériaux innovants, devrait s'engager dans cette voie.

b) Diffuser l'usage de l'impression 3D

Au vu des avantages de l'impression 3D, et leur rôle en matière de prototypage, il importe de diffuser son usage en installant des imprimantes 3D dans les lycées professionnels, les universités et les bureaux d'études. La location d'imprimantes est à ce titre une piste intéressante.

La mise à disposition d'imprimantes 3D appartenant à de grandes entreprises à des PME ou des *start-up* pourrait être envisagée en l'échange d'un éventuel partage en R&D.

c) Développer le financement public

La BPI a récemment annoncé la mise à disposition de 300 millions d'euros de prêts pour la robotique et l'impression 3D dans les PME. Cette dynamique mériterait d'être maintenue.

Annexe 1 :

LES CONSÉQUENCES SOCIO-ÉCONOMIQUES DE L'IMPRESSION 3D ET CELLES DE LA ROBOTIQUE

Au-delà des effets à court terme de la technologie de fabrication additive, certains auteurs ont essayé d'étudier les possibles conséquences sociales, économiques et politiques. C'est le cas de Chris Anderson, dans son ouvrage *Makers, the New Industrial Revolution*, dont les citations suivantes sont extraites.

En effet, si l'impression 3D ne révolutionnera pas en profondeur toute l'industrie manufacturière, ce n'est qu'une des étapes technologiques de l'évolution de la numérisation des technologies de production, dans ce que certains appellent la troisième révolution industrielle : le laboratoire Bits and Atoms du MIT développe ainsi le concept de *digital assembly*, un processus de fabrication à partir d'unités de matériau, inspiré des Lego, et qui pourrait dépasser certaines limites de volume et de qualité de l'impression 3D. Au final, c'est plus l'impact que ces nouvelles technologies ont sur la société qui en fait des innovations importantes.

Les nouveaux moyens de production qui se développent poursuivent la **démocratisation de la production** entamée par la révolution numérique. Chacun peut créer plus facilement de nouveaux produits grâce à ces techniques, qui diminuent les besoins d'investissements et le coût des risques. « *The real web revolution was not that we could just buy more stuff with greater choice, but make our own stuff that other could consume.* » Cette idée, déjà vraie pour les services numériques, s'applique progressivement au secteur de la production,

grâce à l'apparition d'**objets de plus en plus connectés** et à l'intégration de la production dans le réseau par la **numérisation des objets**.

Cette réappropriation des moyens de production est déjà visible dans le mouvement des *Makers*, dans l'existence de sites de partage de fichiers numériques comme Thingiverse, de *fab labs* qui mettent à disposition de la société des outils de création digitaux et de services d'impression à la demande comme Shapeways. « *Manufacturing has now become just another " cloud service " [...] It's about rentership of the means of production* ».

Ces technologies provoquent une nouvelle déstabilisation des hiérarchies d'échelle ; « *les avantages comparatifs des pays à bas salaires se trouveraient en effet réduits* ³² ». Elles pourraient ainsi créer une dynamique de **relocalisation** des moyens de production proche des lieux de consommation, les échanges se reportant sur les **fichiers numériques**.

De la propagation de l'impression 3D peut aussi résulter une augmentation du nombre et de la qualification de la main-d'œuvre ouvrière, les *blue collars*, au détriment des *white collars* dont les fonctions peuvent être davantage automatisées. En effet, à en croire Paul Krugman, les 6 % de la population active américaine travaillant dans l'industrie manufacturière sont incompressibles, et risquent davantage de croître à l'avenir que de décroître.

La façon de consommer les objets courants les moins complexes sera modifiée par l'**individualisation de la production** : ils seront les premiers à être produits à domicile. Ainsi, il n'y aura plus de justification à leur production industrielle de masse. Elle remettra aussi en question l'**utilité de certains intermédiaires et espaces de stockage**, dans la continuité de l'impact du numérique sur la grande distribution. « *L'enjeu est moins l'accès aux produits qu'aux matières pour les fabriquer, ce qui raccourcit les circuits* ³³. »

32. Yannick Rumpala, « L'impression tridimensionnelle comme vecteur de reconfiguration politique », *Cités*, no 55, 2013/3.

33. *Ibid.* Néanmoins, le maintien d'un intermédiaire entre le consommateur et le produit – le fabricant de matériau – ne fait que décaler certains enjeux commerciaux. Ainsi, de nombreuses imprimantes professionnelles ne peuvent recevoir que des cartouches de la même marque. Le marché des matériaux d'imprimantes 3D atteindra plus de 600 millions de dollars d'ici 2025 d'après le cabinet d'études IDTechEx.

De plus, si une partie de la production devient personnelle, cela entraîne sa **dé-monétarisation**, et cela remet en question certains aspects du système économique actuel, comme par exemple l'intérêt d'indicateurs comme le PIB.

Les nouvelles techniques de fabrication feront concurrence aux marchés de production de masse, qui sont des systèmes lourds et coûteux. La fabrication 3D, qui permet une personnalisation et une adaptation plus facile des objets, peut répondre aux besoins de « *mass market for niche products* ». Ainsi, sur des produits fabriqués en quantités relativement faibles³⁴ et personnalisés, une nouvelle classe d'entrepreneurs, centrés sur la qualité du produit et son unicité, pourra émerger.

« As with the Long Tail, the new era will not mark the end of the blockbuster but the end of the monopoly of the blockbuster. So, too, for manufacturing. »

Ces techniques peuvent « éroder les logiques d'une consommation passive, [...] réactiver des formes d'autonomie dans les pratiques individuelles ³⁵ ». L'objet n'est plus une « boîte noire » ; la simplification des moyens de production, via l'utilisation de logiciels de CAO compréhensibles, permet à l'individu non seulement d'apporter sa créativité au processus de production, mais aussi de mieux comprendre l'objet et de lui octroyer un sens nouveau en participant à sa production (phénomène qualifié d'« effet Ikea »). Cette évolution permet une alternative à l'obsolescence programmée, à la surconsommation et au gaspillage de certains produits. Les questions du recyclage et de la production des matériaux restent néanmoins en suspens.

34. L'article « The future of open fabrication » (Institute for the future, 2011) établit à 10 000 la taille limite du marché sur lequel peut se positionner l'impression 3D, et « L'impression 3D à l'assaut de l'industrie » (*Les Échos*, 29 janvier 2013) à quelques centaines quand ces pièces ne sont pas personnalisées.

35. « L'impression tridimensionnelle comme vecteur de reconfiguration politique », art. cit.

L'avenir de la robotique et ses implications sociales

Dans son ouvrage *Robot Futures* (MIT Press, 2013), Illah Reza Nourbakhsh, professeur de robotique à la Carnegie Mellon University, étudie l'avenir de la robotique ; à partir des différents secteurs de recherche actuels, il développe cinq scénarios assez pessimistes. Il s'interroge sur la place qui sera accordée aux robots, dont les capacités physiques et digitales dépasseront rapidement celles des hommes, et l'impact de cette technologie sur notre rapport à l'humain, notre capacité d'attention, mais aussi sur la définition de l'identité et de la responsabilité alors que les robots deviennent de plus en plus autonomes.

Dans une nouvelle *mediocracy*, l'analyse de données de plus en plus nombreuses permet aux entreprises, mais aussi aux hommes politiques, de tester différentes stratégies marketing à grande échelle, réduisant les hommes en cobaye. Un *smog* pourrait aussi nous envahir : contraction de *smoke* et *fog*, ce terme représente une nuisance physique due à l'augmentation du nombre de robots, de plus en plus indépendants, éventuellement « hackés » et détournés de leur fonction première. Dans *Dehumanizing robot*, le rapport des hommes aux robots est souvent méprisant, parfois cruel ; mais au fur et à mesure que ces derniers s'humanisent, quelle influence nos interactions avec eux auront-elles sur nos relations humaines ? Sur notre éthique ? La robotique risque par ailleurs de favoriser un *Attention Dilution Disorder* en poursuivant la modification des formes de communication initiée par les NTIC : les barrières spatiales s'effacent grâce à la capacité de contrôler un robot à distance, voire plusieurs quand ceux-ci deviennent indépendants. *Brainspotting* met en scène un futur plus lointain, dans lequel la nanorobotique permet de modifier et contrôler un corps humain et non plus un robot mécanique, rompant une fois pour toute l'unicité du lien entre un corps physique et une conscience, et créant une nouvelle forme de commercialisation de l'humain.

“The near future of telepresence, robotics and communication technology threatens to distract us, dehumanize our interactions, and erode our personal freedom and choice. The true challenge we face is in charting a new course that instead celebrates and nourishes individual well-being, accountability and social equity.”

Pour éviter que la robotique ait un impact négatif sur la société, l'auteur nous propose quelques pistes : augmenter la culture technologique pour supprimer les inégalités d'information entre les communautés et les institutions, permettre des recherches et des études d'impact indépendantes des entreprises technologiques, réaffirmer le devoir des gouvernements d'assurer le respect des droits de l'Homme et d'adapter les notions de responsabilité et d'éthique.

Annexe 2 :

LES RECOMMANDATIONS DU RAPPORT « FACTORY@HOME » (2011)

« *Factory@Home : The Emerging Economy of Personal Manufacturing* »

Ce rapport américain, remis au président Obama en janvier 2011, qualifie de « fabrication personnelle » la production d'objets à partir des nouvelles technologies de production à petite échelle et plus faciles d'accès et d'utilisation, comme l'impression 3D.

L'éducation aux sciences et aux technologies

Le gouvernement doit aider les écoles publiques à investir dans des outils de fabrication numérique et à former les enseignants à les utiliser. La fabrication doit être intégrée dans les enseignements proposés. Les développeurs de logiciels éducatifs doivent rendre leurs produits interopérables entre eux, pour permettre un regroupement des ressources existantes.

Dans ce cadre, quatre propositions sont émises :

> Installer un laboratoire de fabrication dans chaque école.

Le projet Mentor du Darpa, qui installera des imprimantes 3D dans 1 000 lycées doit être envisagé comme un programme pilote à étendre si ses résultats sont positifs. Des réductions fiscales pourraient être offertes aux entreprises qui offriraient des imprimantes aux écoles. Un nouveau programme de fabrication personnelle sur cinq ans pourrait être testé dans les cent meilleurs lycées dans les disciplines STEM (sciences, technologie, ingénierie, mathématiques), avec l'établissement d'un *fab lab* pour pouvoir intégrer les technologies de fabrication numérique dans le cursus scolaire.

> Proposer des formations en design et en technologie de fabrication aux professeurs de sciences et de technologie.

> Intégrer des activités autour des logiciels de design et des nouveaux procédés de fabrication dans les activités extrascolaires proposées ; il est possible de développer des *fab labs*, de proposer des compétitions...

> Développer des cursus de grande qualité, modulables, qui proposent des cours de fabrication numérique, tout en s'assurant d'une base de cours obligatoires standardisée entre les lycées, garantissant l'acquisition de bonnes compétences de fabrication.

La dimension sociale

> Financer à l'échelle fédérale des projets pilotes de MEP (*Manufacturing Extension Partnerships*). Les MEP ont été développés pour aider les industries locales à s'adapter aux technologies de fabrication modernes en 1989. Ils pourraient être un moyen d'aider les industries à adopter des logiciels de CAO et de leur présenter les technologies de « fabrication personnelle » et les nouvelles stratégies associées.

Le gouvernement pourrait aussi développer des lieux de travail en commun ou les entreprises pourraient essayer de nouveaux outils et de nouvelles machines.

Normes techniques

> Promouvoir la publication de normes pour des licences de produits ouvertes ; inciter les différents fabricants d'imprimantes à converger vers des normes techniques et des pièces standardisées pour empêcher un monopole et faciliter l'utilisation des logiciels de CAO sur les différentes imprimantes.

> Développer des formats standards pour les fichiers de design type *blueprint*, pour éviter un monopole sur le marché des logiciels de CAO.

> Créer une base de données des fichiers de CAO utilisés par les agences du gouvernement ; cette base regrouperait les produits que le gouvernement se

procure chez différents vendeurs et ceux dont il a besoin, pour faciliter la participation des petits industriels à l'amélioration de ces produits et aux réponses aux appels d'offre.

> Imposer la publication « ouverte » des sources et de la géométrie des fournitures gouvernementales non classées.

Bourses et financement

> Développer un *Individual Innovation Research Program* pour les entrepreneurs DIY, qui offrirait des financements semblables à ceux du SBIR (*Small Business Innovation Research*, qui réserve une partie des financements publics de la recherche aux petites entreprises) pour les autoentrepreneurs et les TPE qui développent des méthodes de fabrication à petite échelle.

> Donner la priorité aux industries rurales qui utilisent des techniques de « fabrication personnelle » pour les appels d'offre (RFP, *Request for Proposal*).

Politiques de propriété intellectuelle

> Établir un « bouclier anti-propriété intellectuelle » pour protéger les agrégateurs et les producteurs exceptionnels ; les lois actuelles doivent s'adapter aux nouveaux produits et modèles. Les entreprises qui utilisent les logiciels de CAO ou qui produisent actuellement sont exposées à des violations involontaires de brevets ou de droits d'exploitation. Il faut adapter la réglementation et protéger ceux qui font de la « fabrication personnelle » sur la base de leur bonne foi. La faisabilité économique des modèles économiques de *l'open hardware* doit être plus étudiée.

> Le micro-brevet : une unité plus petite, plus simple et plus souple de propriété intellectuelle. Il offrirait aux inventeurs et aux petites entreprises une manière plus simple de protéger leurs inventions pour se développer, en leur assurant un niveau de protection plus faible mais moins coûteux en temps et en argent. Il durerait cinq ans (au lieu de dix-sept) et la démarche nécessaire à

son obtention consisterait en l'envoi d'un document daté décrivant l'invention, automatiquement publié. Le brevet ne serait analysé qu'en cas de litige.

Régulations

> Redéfinir les règles de sécurité pour des produits fabriqués personnellement, pour protéger les consommateurs des risques de dysfonctionnement, de contrefaçon et de toxicité des objets téléchargeables.

> Introduire une définition plus granulaire de la « petite » industrie.

> Adopter le *National Fab Lab Network Act* de 2010, HR 6003, qui vise à développer un réseau de *fab labs* communautaires (1/700 000 habitants au terme des dix premières années) aux États-Unis, supervisé par un organisme à but non lucratif qui doit permettre de mutualiser les efforts de développement de nouveaux *fab labs* et de coordonner les actions des différents laboratoires.

Crédits d'impôts

> Avantages fiscaux pour les entreprises « propres » qui utilisent des technologies de fabrication personnelle, moins polluantes. Exemples de critère : utiliser un certain pourcentage de matière première, produire moins qu'une certaine quantité de déchets, rejeter peu d'émissions polluantes dans l'air, l'eau ou les sols.

> Supprimer les taxes sur les matières brutes pour les entreprises de fabrication personnelle.

Poursuivre les recherches

> Encourager une étude sur le potentiel des nouvelles techniques de fabrication digitales comme outil éducatif, par la NSF et le DoED. Aucune étude n'existe sur l'impact de la pratique des technologies de design et de fabrication numérique dans le système K-12 (école primaire et collège), notamment sur l'attrait des carrières scientifiques et techniques.

20. Chercher à mieux comprendre le développement d'un produit à l'initiative des consommateurs, les problèmes et les bénéfices de ce nouveau type d'innovation permis par ces nouvelles techniques de fabrication, ainsi que son impact sur les grandes entreprises, en particulier celles qui produisent des objets de consommation aux formes simples. Au niveau du financement de l'innovation, cette étude permettrait de décider s'il est utile ou non de proposer des réductions d'impôts à ces nouvelles petites structures innovantes (semblables aux réductions accordées aux entreprises dans leurs investissements de R&D).

Annexe 3 :

LES FAB LABS

Les fabrication laboratories, ou fab labs

Le concept de *fab lab* a été développé au Center for Bits and Atoms du MIT qui lie les sciences physiques et l'informatique. Après avoir enseigné une classe intitulée « *How to Make (almost) Anything* », Neil Gershenfeld réalise l'intérêt des nouveaux outils de fabrication numérique et leur capacité de rendre accessible des moyens de production aux individus, en leur permettant de contrôler la chaîne complète de production, de la conception à la fabrication. Il décide en 2003 de mettre ces outils à disposition de tous, dans des lieux communautaires, ouverts et créatifs : les *fab labs*. De nombreux lieux ouvrent progressivement à l'initiative d'écoles, d'institutions ou de gouvernements, avec différentes orientations privilégiées : le prototypage rapide pour les *start-up* ou autoentrepreneurs, l'enseignement ou la démocratisation.

D'après la Fing³⁶, la carte collaborative *Fab Lab on Earth* compte plus d'une centaine de *fab labs*. En France, suite à l'appel de Fleur Pellerin, la Ministre déléguée en charge de l'Innovation et des PME, les *fab labs* sont en train de se déployer. Depuis l'ouverture du premier *fab lab* à Toulouse en août 2010, une dizaine de lieux sont labellisés *fab labs* dans de grandes villes comme Grenoble, Toulouse, Lille, Nantes ou Paris, et une vingtaine de sites supplémentaires se revendiquent comme tels.

La charte du MIT³⁷ et les fondements des *fab labs* :

Le MIT a établi en 2007 une charte pour définir les missions des *fab labs* et les conditions de labellisation à respecter : « Les *fab labs* sont un réseau mondial de laboratoires locaux, qui rendent possible l'invention en ouvrant aux individus l'accès à des outils de fabrication numérique ».

36. Rapport « *Fab labs*, tour d'horizon », par Fabien Eychenne.

37. *The Fab Charter* (<http://fab.cba.mit.edu/about/charter/>).

Trois principes posent les fondations des « *fab labs* MIT » :

- › **Ouverture** : le but du *fab lab* est de démocratiser l'accès aux outils de production ; il doit donc être accessible gratuitement à tous au moins une partie de chaque semaine. De plus, les concepts et les processus développés doivent laisser libre leur utilisation, au moins à titre individuel.
- › **Responsabilité individuelle** : la charte pose les principes d'un fonctionnement responsable et sécurisé.
- › **Responsabilité communautaire** : chacun doit prendre part à la capitalisation des connaissances ou à l'instruction des autres utilisateurs. De plus, chaque *fab lab* doit être intégré dans le réseau qui mutualise les connaissances, les plans et designs ; dans cette optique, les *fab labs* doivent posséder les mêmes machines et partager des processus communs.

Au final, les *fab labs* ont pour objectif de contribuer à la connaissance scientifique en mettant à la portée de tous certaines connaissances et ressources tout en revalorisant le « faire », soutenir le mouvement du libre en encourageant le partage des objets développés, favoriser le développement de certaines régions ou populations en démocratisant la production et en mettant à disposition de tous des moyens d'innover, stimuler une innovation *bottom-up* au service du consommateur.

Le modèle économique

Le MIT recommande une liste de cinq machines importantes pour le développement d'un *fab lab* : une découpe laser, une fraiseuse numérique, une défonceuse numérique, une découpe vinyle et une imprimante 3D. Les *fab labs* regroupent aussi souvent des machines de fabrication plus traditionnelles et des outils et composants électroniques nécessaires à la création de circuits.

L'investissement initial est estimé à 20 000 dollars par l'HONF³⁸ et à 40 000-50 000 dollars par la Fing (80 000 dollars pour acheter l'ensemble des

38. Fiche initiative « Les *fab labs* », Julien Bicrel, mars 2012.

machines recommandées par le MIT). Les charges mensuelles, comportant notamment leur entretien, la location du local et la rémunération des quelques employés, varient entre 5 000 et 19 000 euros dans les pays d'Europe, d'après la Fing.

Les *fab labs* organisent leur temps entre diverses activités : des créneaux « *open lab* » durant lesquels l'accès est gratuit à tous, des temps atelier et formation pour apprendre à utiliser les outils, des créneaux réservés pour la location des machines ou même de l'espace, qui permettent de les utiliser plus longtemps, éventuellement avec des groupes, et des activités de service et de conseil aux écoles ou entreprises. Pour autant, tous les *fab labs* n'ont pas encore développé de modèle économique rentable ³⁹.

Les entreprises commencent à s'intéresser à ces lieux et développeront peut-être un modèle commercial alternatif fondé sur cette idée :

Orange a participé à la création du *fab lab* Thinging ! autour de l'Internet des objets à Grenoble. De même, le projet Makerspace 56 a débuté en janvier 2013, avec l'aide de la technopole Vipe. Plusieurs partenaires privés sont ainsi investis dans ce *fab lab* : Aserti Electronic, SPF, Socomore, Diana...

Le groupe Adeo, propriétaire de Leroy-Merlin, s'intéresse aussi de près aux *fab labs*, tout comme Renault qui porte un projet de *techshop* (un *fab lab* interne, privé) à la suite de l'initiative de Ford à Detroit.

39. Jaap Vermas, président de FabLab Truck aux Pays-Bas, affirme cependant : « Nous gérons le *fab lab* sans subventions, comme la plupart des autres. »

L'OBSERVATOIRE DE L'INNOVATION

LE PRÉSIDENT



Christophe de Maistre est Président de l'Observatoire de l'Innovation de l'Institut de l'entreprise.

Président de Siemens France, Christophe de Maistre est diplômé de l'école d'ingénieur Institut Supérieur de Mécanique de Paris. Il a obtenu un D.E.A. de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan et un eMBA (Duke University).

Christophe de Maistre intègre le Groupe Siemens en 1991 où il occupe diverses fonctions marketing en Allemagne et en France avant d'être nommé General Manager Automation & Drives Electrical Technologies de Siemens Ltd China (1998/2002). Il est ensuite successivement Corporate Account Manager Group de Siemens AG pour les Groupes de Distribution REXEL et SONEPAR (2002/2005), General Manager A&D Low Voltage (Systèmes & Produits) de Siemens Ltd China (2005/2008) et, enfin, Senior Vice-President Siemens Building Technology North-East Asia (2008/2010). Début 2011, Christophe de Maistre est nommé président de Siemens France. Il a exercé également les fonctions de Président Europe Sud et Ouest de Siemens entre 2011 et 2013.

LE PILOTE



Delphine Manceau est Pilote de l'Observatoire de l'Innovation de l'Institut de l'entreprise.

Professeure à ESCP Europe, elle y a fondé l'Institut pour l'innovation et la Compétitivité i7 qui analyse les nouvelles pratiques d'innovation des entreprises. Elle est aujourd'hui Directrice Europe de la Division Corporate de ESCP Europe qui rassemble

les activités de formation continue (programmes sur mesure et sur catalogue), l'Executive MBA et les relations avec les entreprises.

Spécialiste de marketing et d'innovation, elle a réalisé en 2009 avec Pascal Morand le rapport *Pour une nouvelle vision de l'innovation* commandé par Christine Lagarde, alors Ministre de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, sur la capacité d'innovation des entreprises françaises et européennes. Elle est également l'auteur de l'ouvrage de référence *Marketing Management* avec Philip Kotler et Kevin Keller et de *Marketing de l'innovation* (avec Emmanuelle Le Nagard). Titulaire d'un doctorat en sciences de gestion et du diplôme d'habilitation à diriger des recherches, elle a été *Senior Fellow* à la Wharton School (University of Pennsylvania). Elle a également occupé les fonctions de Directeur académique de ESCP Europe et de Directeur du programme Master in Management Grande Ecole entre 2005 et 2008.

LE RAPPORTEUR



Julie Fabbri est Rapporteur de l'Observatoire de l'Innovation de l'Institut de l'entreprise.

Secrétaire Générale de l'Institut pour l'Innovation et la Compétitivité i7 de ESCP Europe depuis 2011, elle organise et coordonne les événements et travaux de recherche d'i7 sur les nouvelles pratiques d'innovation des entreprises.

Diplômée de ESCP Europe (Master in Management) et titulaire d'un Master Recherche en Gestion et Dynamique des Organisations de l'Université Paris X Nanterre, elle est aujourd'hui doctorante au Centre de Recherche en Gestion de l'École Polytechnique (CRG) où elle s'intéresse au rôle de l'espace physique de travail et des tiers lieux (espaces de *coworking*, *fab lab*) dans les processus d'innovation de petites entreprises et d'entrepreneurs.

LES DERNIÈRES PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DE L'ENTREPRISE

Les réseaux sociaux d'entreprises : entre promesses et illusions

Par Denis Moneuse (avril 2014)

Royaume-Uni, l'autre modèle ? La Big Society de David Cameron et ses enseignements pour la France

Par Eudoxe Denis avec Laetitia Strauch (mars 2014)

Assurance chômage : six enjeux pour une négociation

Par Bruno Coquet (janvier 2014)

Smart Cities. Efficace, innovante, participative : comment rendre la ville plus intelligente ?

Par l'Institut de l'entreprise (novembre 2013)

Entreprises et territoires : pour en finir avec l'ignorance mutuelle

Par l'Institut de l'entreprise (octobre 2013)

Mettre enfin la fiscalité au service de la croissance

Par l'Institut de l'entreprise et l'Institut Montaigne (septembre 2013)

Réformer vraiment la formation professionnelle

Par Jacques Barthélémy et Gilbert Cette (septembre 2013)

Allemagne : miracle de l'emploi ou désastre social ?

Par Alain Fabre (septembre 2013)

Service public 2.0

Par Elisabeth Lulin (juillet 2013)

Créé en 1975, l'Institut de l'entreprise est un think tank indépendant de tout mandat syndical ou politique. Association à but non lucratif, l'Institut de l'entreprise a une triple vocation : être un centre de réflexion, un lieu de rencontre et un pôle de formation. Profondément ancré dans la réalité économique, il concentre ses activités sur la relation entre l'entreprise et son environnement. L'Institut de l'entreprise réunit plus de 130 adhérents (grandes entreprises privées et publiques, fédérations professionnelles et organismes consulaires, institutions académiques, associations...). Ses financements sont exclusivement privés, aucune contribution n'excédant 2% du budget annuel.

THINK TANK

- La réflexion de l'Institut de l'entreprise s'organise autour de 5 thématiques prioritaires : compétitivité et innovation, emploi et prospective sociale, management, finances publiques et réforme de l'action publique.
- Dans cette réflexion, la vision de l'entreprise – conçue à la fois comme organisation, acteur du monde économique et acteur de la société – tient une place prépondérante. Pour réaliser ses études et élaborer ses propositions, l'Institut de l'entreprise met à contribution un vaste réseau d'experts (universitaires, hauts fonctionnaires, économistes, politologues, dirigeants d'entreprise, think tanks partenaires étrangers...). La diffusion de ses idées s'appuie sur la parution régulière de rapports et de notes et sur la publication d'une revue annuelle, *Sociétal* – qui propose également des débats en ligne sur les questions d'actualité économique via la page *Sociétal - Le Blog*, intégrée au site internet de l'Institut de l'entreprise. Résolument tourné vers l'international et partenaire fondateur du *Réseau International des Think Tanks Economiques* (www.isbtt.com), l'Institut de l'entreprise intègre systématiquement dans sa réflexion l'analyse de modèles étrangers susceptibles d'inspirer les politiques publiques françaises.

RENCONTRES

Ouvertes à un large public ou réservées aux adhérents, les manifestations organisées par l'Institut de l'entreprise ont pour objectif d'animer le débat public et de stimuler la réflexion sur des sujets d'intérêt collectif, liés à l'entreprise. Dirigeants d'entreprise, personnalités politiques, experts issus de l'entreprise ou du monde universitaire sont invités à s'exprimer à l'occasion de déjeuners, de conférences et de débats.

FORMATION

L'Institut de l'entreprise propose des programmes pédagogiques visant à sensibiliser les publics appartenant à l'écosystème de l'entreprise aux enjeux économiques et sociaux. Dans ce cadre, l'Institut s'adresse prioritairement aux enseignants de Sciences économiques et sociales (SES), avec le Programme Enseignants-Entreprises; aux jeunes « hauts potentiels », avec l'Institut des Hautes Études de l'Entreprise (IHEE) et Le Cercle; aux représentants politiques avec le programme Elus & Entreprises.

Pour en savoir plus : www.institut-entreprise.fr



29, rue de Lisbonne, 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 53 23 05 40 / Fax : +33 (0)1 47 23 79 01
www.institut-entreprise.fr

