

L'impression 3D : de l'émerveillement technique aux enjeux économiques et sociétaux

Guillaume Blum et Michel de Blois

La fabrication additive, aussi connue sous le nom d'impression 3D, est un processus de fabrication basé sur l'addition successive de matière, qui transforme un modèle numérique en un objet physique en trois dimensions.

À l'ère de la 3e révolution industrielle, l'impression 3D traverse de nombreux enjeux de société, investissant nos modes de consommation et de production. Entre mondes numérique et physique, elle se répercute à toutes les échelles : celle domestique du consommateur individuel, celle, collective, des *makers* ou « fabricateurs numériques », mais aussi celle industrielle, dans de nombreux domaines tels que le médical, l'aéronautique ou encore le spatial.

Cette synthèse de connaissances vise une meilleure compréhension des enjeux économiques et sociétaux liés à la technologie de l'impression 3D et leur prise en compte par ses différents acteurs.

À partir des travaux de recherches et des savoirs développés au Canada et à l'international sur les implications et les transformations apportées par cette technologie, nous chercherons à démontrer que ce phénomène technique est étroitement associé à un nouveau *système technique* (Gille, 1978) centré sur le numérique. En d'autres mots, l'impression 3D indépendamment des autres technologies n'apporte pas de modifications majeures. Mais associée à l'ordinateur, l'internet, les réseaux sociaux, les nouveaux matériaux, les techniques de modélisation, etc. elle permet une révolution industrielle dont la portée bouscule nos modèles économiques et sociétaux. Elle engendre un ensemble d'innovations techniques – certes – mais également d'innovations organisationnelles et d'innovations sociales.

À partir de cette étude, nous formulons plusieurs messages clés:

- 1. La formation à l'impression 3D et aux conditions la favorisant est essentielle.** Par conditions la favorisant, nous entendons les compétences humaines, sociales et organisationnelles rendues possibles par cette dernière, notamment (mais pas uniquement) l'autonomie en milieu professionnelle, une culture d'échange et de partage professionnel, la sensibilisation aux principes de l'innovation ouverte et de l'*open source*. Il est essentiel de comprendre les nouvelles dynamiques sociales et économiques touchant à l'impression 3D et la chaîne numérique, car elles sont à la base de l'économie du XXIe siècle. Il nous semble essentiel d'investir dans ces formations.
- 2. L'innovation sociale et technologique (du type Fablabs) joue un rôle clé.** À la fois dans l'imaginaire, mais également dans des pratiques d'entraide et d'échange numériques invisibles, mais importantes. On peut y voir une forme de modèle d'éducation citoyenne touchant tant des individus (de tout âge), mais également des professionnels.
- 3. Favoriser le maillage économique des entreprises pour la création d'un écosystème dense de l'impression 3D est essentiel pour permettre le renouvellement du tissu industriel canadien.** À ce titre, il semble important de développer un ensemble d'écosystèmes multidisciplinaires, réunissant des acteurs privés, des chercheurs, des représentants du gouvernement autour des enjeux liés à l'impression 3D. Une politique fiscale favorisant l'investissement privé dans les infrastructures numériques de demain pourrait également être envisagée.
- 4. Assurer le suivi et l'accompagnement des entreprises** – notamment PME – pour les aider dans la transition vers l'impression 3D et la chaîne numérique.
- 5. Financer des études sur les avantages et les risques pour la santé et pour l'environnement** reliés spécifiquement à l'impression 3D.

Historique de l'impression 3D

Avant de nous intéresser aux différentes formes d'innovations permises par la fabrication additive, un rappel historique est de mise. Pour ce faire, un retour sur l'émergence de l'impression 3D au 20^e siècle dans le monde sera proposé afin de mettre en avant les dates clés de la fabrication additive et ses principaux acteurs tels que G.J.Peacock (1903), C.Hull (1986) ou encore le MIT (1993). Dans un deuxième temps, nous proposerons un aperçu de l'impression 3D au 21^e siècle, en présentant les innovations permises par l'avancement technologique et l'avènement du numérique.

Impression 3D et techniques de production

Au-delà de l'impression elle-même, le processus de l'impression 3D est basé sur trois grandes étapes : la modélisation, l'optimisation et la numérisation. Pour l'impression, il est important de distinguer deux grands types d'impressions 3D. 1) L'impression 3D de type personnel, qui se développe beaucoup depuis quelques années et 2) L'impression 3D de type industriel, qui est maintenant de plus en plus répandue dans des secteurs tels que l'aéronautique, l'automobile ou la médecine.

L'impression 3D de type personnel, permet de créer des objets de petite taille, et fonctionnent majoritairement selon les procédés FDM (*Fused Deposition Modeling*) ou FFF (*Fused Filament Fabrication*), qui consistent à déposer couche par couche et de façon successive un filament de matière thermoplastique fondu à 200°C qui en se superposant donne forme à l'objet. Développé à la fin des années 1980, le FDM est le plus ancien procédé après la stéréolithographie. Malgré l'utilisation quasi exclusive de matériaux en plastique et un niveau de précision allant de grossier à moyen, elle a comme avantage un coût très modique (de quelques centaines à milliers de dollars), et s'est étendue à un usage professionnel, notamment pour des fins de prototypage, tests, maquette, etc.

L'impression 3D de type industriel est quant à elle en plein essor depuis un certain nombre d'années. Elle permet aux entreprises de tester des prototypes aux géométries et volumes complexes, sans avoir à supporter les coûts d'une infrastructure lourde et onéreuse, et les délais de conception associés, mais également de produire des pièces industrielles avec une grande précision, en suivant des géométries que les techniques précédentes n'auraient pas rendues possibles. Elle est basée sur une gamme plus complexe de procédés d'impression, tels que le FDM, le jet de liant (*binder jetting*), l'extrusion de matériaux (*material extrusion*) ou encore la photopolymérisation en cuve (*vat photopolymerization*).

Il existe aujourd'hui une multitude de matériaux utilisés par la fabrication additive, les plus répandus restants les polymères et les métaux, on voit apparaître sur le marché de l'impression 3D des matériaux plus complexes tels que : les matériaux composites, les métaux hybrides, la céramique, le béton et plus récemment des biomatériaux. Ces nouveaux matériaux permettent ou permettront d'ici peu de nouveaux usages.

La relation entre numérique (logiciels et conception assistée par ordinateur) et impression 3D, ouvre de nouveaux paradigmes de conception, production, distribution et consommation, au travers de pratiques qui évoluent vers un modèle adaptatif, personnalisable et hyper optimisé, pouvant être basé sur le partage et les nouvelles formes de collaboration, c'est le cas du modèle à code source ouvert (*open source*) que nous développerons plus loin.

Il va sans dire que la fabrication additive questionne les notions de standard de production et plus largement la question de l'esthétique.

Impression 3D et transformations organisationnelles

L'impression 3D bouscule les chaînes de production des organisations. Elle remet en question la normalisation des produits, permet de minimiser les temps et les coûts de conception et de production. Elle transforme également la chaîne d'approvisionnement. Aujourd'hui 17% des industries canadiennes ont recours à l'impression 3D dans leurs processus de fabrication (Wohlers, 2016).

De nouvelles formes organisationnelles sont induites par la fabrication additive : approches plus collaboratives, écrasement de la structure hiérarchique au profit de relations plus horizontales et multidisciplinaires, ou l'interpénétration des savoirs de l'extérieur et vers l'extérieur de l'entreprise (innovation ouverte).

Les transformations organisationnelles induites par l'impression 3D sont aussi observables au niveau de la chaîne de production. 1) En amont, lors de la phase de R&D et de conception, au travers des étapes de prototypage rapide associées à la création numérique, via l'analyse expérientielle et sémantique de l'objet conçu et en dernier lieu, au travers des approches de collaboration induites par le partage de données au sein d'une entreprise. En d'autres mots, la fin d'une approche en silo permise par le développement des processus de conception autour de l'impression 3D dans l'entreprise. 2) En aval, lors de la phase de production, via les changements induits par l'impression 3D, en termes d'économie de matière, de suppression d'étapes devenues superflues et donc de gain de temps, l'optimisation de formes, de poids, de taille et de performance des objets. On parle ainsi d'hyper optimisation de la chaîne de production.

Cette transformation de la chaîne de production rend possible et souhaitable de nouvelles chaînes d'approvisionnement, plus locales, plus courtes. Une forme de reterritorialisation (possiblement en grappe) de l'industrie, sous une forme beaucoup plus agile.

Comme l'exprime Brument et Campagnoli (2016), « la souplesse offerte par l'intégration de la chaîne numérique dans les procédés de production modifie la structure de l'économie ». On assiste à la possible émergence d'écosystèmes économiques nouveaux, fluides et optimisés. Ces derniers transforment les modèles d'affaires en place, en modifiant la chaîne de valeur associée à un produit.

Ces transformations organisationnelles présentent elles aussi des limites, notamment dans la lenteur du changement organisationnel permis par l'impression 3D, la principale étant liée à la diffusion des connaissances et des compétences.

Même si l'impression 3D est en plein essor, et que les changements sont constants, au cœur de notre 3^e révolution industrielle, notre société est-elle prête à accueillir ces changements et assumer les bouleversements qui vont de pair ?

Transformations économiques

La fabrication additive est à la fois une méthode précieuse de prototypage rapide associée à la création numérique et un système efficace de production permettant complexité, précision et faibles délais. Un nouvel écosystème économique dont les limites sont encore à définir se développe.

Ainsi, l'impression 3D représentait en 2015 près de 5,2 milliards USD au niveau mondial. D'après des prévisions, l'impression 3D en 2021 pourrait atteindre une valeur de 26,5 milliards USD. Cette évolution devrait toucher dans un premier temps les milieux aérospatial, médical, dentaire et l'orfèvrerie, pour ensuite toucher le monde de l'automobile (Wohlers, 2016).

Selon le cycle schumpeterien, ces mutations économiques sont à l'origine de destruction et création de nouvelles activités économiques. Bien accompagnées économiquement et politiquement, ces destructions

et créations pourraient se traduire par un rapatriement de l'outil de production et d'une part de l'activité économique manufacturière au Canada, en ayant pour effet de développer les initiatives locales de conception, au détriment d'une part de l'industrie manufacturière notamment asiatique.

Les modèles économiques associés à l'*open source*, permettent un échange et une efficacité plus importante, mais nécessite de repenser la création de valeur dans une optique d'entreprise de service, de nouvelles formes de propriétés intellectuelles (par exemple basées sur les *creative commons*), et d'émergence de nouveaux modèles d'affaires associés à des chaînes de valeur à plus faible coût, plus enracinées dans l'économie locale, provinciale et fédérale. Ces formes favorisent une économie réticulaire et organique, adaptée à la personnalisation de masse.

Transformations sociales et sociétales

L'impression 3D a également un ensemble d'influence sur les dynamiques sociales et environnementales. Elles permettent de diminuer l'utilisation de matières premières et de transport par ses cycles locaux. L'optimisation des formes géométriques permet également un allègement en poids, des améliorations de l'aérodynamique, etc. impactant positivement l'empreinte environnementale des produits issus de l'impression 3D. L'utilisation des matières premières par addition permet d'envisager pour beaucoup de matériaux une absence de déchets de matières premières. L'impression 3D se conjugue donc très souvent avec recyclage, réutilisation de matériaux, et soutenabilité des méthodes d'impression.

L'utilisation des fablabs dont les imprimantes 3D sont un des outils les plus importants et les plus caractéristiques permet la diffusion d'une culture d'entraide, basée sur l'éthique *hacker* au sein de la population. Ces espaces permettent la co-conception numérique, en cherchant à illustrer les transformations et mutations sociales liées à une logique de l'*open source*, par exemple en partageant et diffusant les fichiers modélisés sous des licences libres de droit.

Dans le domaine de la santé, l'impression 3D commence à offrir de nouvelles possibilités en matière de prothèses, greffes reconstruction de tissus humains, là où de telles possibilités n'étant pas techniquement ou économiquement faisable par les procédés traditionnels. Toutefois, l'utilisation de l'impression 3D comporte des risques potentiels pour la santé, liés aux processus eux-mêmes (inhalation, expositions prolongées par exemple), demeurant à déterminer.

D'autres sujets posent des enjeux d'ordre éthique, par exemple les questions autour de la sécurité avec l'impression d'armes à feu fonctionnelles, de clés de bagages universelles.

Enfin, ces nouveaux usages reliés à la culture sous-jacente supposent une réflexion en matière d'enseignement et de formation, dont plusieurs expériences permettent de dégager des enseignements quant à un renouvellement des pratiques d'apprentissage.