

Introduction

Patrice PEYRE¹ et Éric CHARKALUK²

¹ PIMM, CNRS, Arts et Métiers Sciences et Technologie, CNAM, Paris, France

² LMS, CNRS, École Polytechnique, Palaiseau, France

Propulsés par le discours sur l'état de l'Union de B. Obama en 2013 (Elyan et IDG NS 2013), qui mettait en avant l'impression 3D comme le fer de lance de l'industrie manufacturière du futur, les procédés de fabrication additive (FA) connaissent depuis quelques années un engouement inédit et une croissance exponentielle, tout autant que les développements scientifiques et technologiques associés. Selon le *New York Times*, il s'agit bien là d'une révolution industrielle 2.0, offrant la possibilité d'imprimer des pièces personnalisées ou des petites et moyennes séries à coût de plus en plus réduit.

Il est bien loin maintenant le temps du premier brevet déposé sur la fabrication additive en 1984 par le trio français J.-C. André, O. De Witte et A. Le Méhauté (André 2018). En dix ans (2007-2017), les revenus annuels générés par la fabrication additive ont été multipliés par huit, et le nombre de publications scientifiques sur le sujet par cinq. Pas une semaine sans que la presse fasse état d'une nouvelle technologie additive révolutionnaire, qu'un nouveau matériau soit développé ou qu'un nouveau domaine d'application soit exploré. Tout cela dépasse très largement l'effet de mode : en témoigne le succès considérable du dernier salon Formnext en présentiel (Francfort, 23-27 novembre 2019) sur le sujet traduisant la montée en maturité des procédés actuels et l'émergence de différents procédés dérivés.

Les perspectives à court terme pour différentes gammes et tailles de pièces sont également enthousiasmantes, depuis celles associées au *bioprinting*, permettant d'imprimer des vaisseaux sanguins ou de la peau humaine, jusqu'à la construction de maisons individuelles par impression de couches de béton.

Ce nouveau paradigme de fabrication impacte directement un grand nombre de secteurs comme ceux de la matière première (poudres, fils), des machines de production (imprimantes 3D, machines de dépôt matière, etc.), des logiciels de modélisation 3D (optimisation topologique) ou des systèmes de production (lasers, CND, systèmes de contrôle temps réel, etc.) pour ne citer qu'eux (Heinrich 2013). Pour plus d'informations sur les aspects technico-économiques associés à la fabrication additive, le lecteur pourra se référer, par exemple, à la prospective PIPAME sur le sujet (PIPAME 2017).

L'une des forces de la fabrication additive tient également à son incroyable pouvoir d'attraction sur les jeunes générations, qui trouvent là un bon moyen de s'exprimer en participant à la conception ou la fabrication de pièces d'une formidable complexité, souvent inspirées par la nature, et jusqu'ici irréalisables avec les technologies traditionnelles. L'impression de pièces en trois dimensions s'invite donc dans le quotidien du Français moyen et sollicite son imagination autant qu'elle répond à des problèmes du quotidien (fabrication de pièces de rechange par exemple).

On comprend donc aisément qu'aujourd'hui, l'ingénieur, le technicien, le chef de projet de l'usine du futur se doivent de maîtriser à différents niveaux toute la chaîne de valeur de la fabrication additive, depuis le développement d'une créativité propre qui libère l'imagination des concepteurs jusqu'à la prédiction de la durabilité des pièces fabriquées, en passant par l'appropriation des procédés associés.

Dans ce contexte à la fois très excitant et concurrentiel (en France, chaque région a lancé des initiatives propres sur le sujet), la rédaction d'un ouvrage sur la fabrication additive métallique est sans nul doute nécessaire, mais correspond également à un vaste challenge tant les technologies évoluent rapidement, poussées par des enjeux industriels sans précédent. Le risque d'obsolescence programmée est donc réel, même si, dans le domaine des matériaux métalliques, certaines technologies ont déjà atteint un vrai degré de maturité.

Plus concrètement, la production en petites et moyennes séries de pièces métalliques « bonne matière » (densité proche de 1) par fabrication additive est aujourd'hui possible en utilisant différents types de procédés qui se distinguent essentiellement par les différences de complexité ou de dimensions des pièces réalisables. Sur ce point, il y a cinq ans, les plus grandes pièces réalisables en fusion lit de poudre L-PBF ne dépassaient pas 40 cm, alors qu'elles font plus du double actuellement.

Par ailleurs, de nouveaux procédés apparaissent régulièrement. Pour n'en citer qu'un, on peut mentionner le brevet récent (2017) déposé par P. Teulet (ancien de la société Phénix) sur l'additive *micro welding* dans lequel on fabrique de la matière par soudage laser couche par couche de fines bandes métalliques (Teulet 2017).

L'objectif visé dans les pages qui suivent est donc d'établir un état de l'art le moins obsolète possible sur le sujet en 2021, en se concentrant sur les matériaux métalliques, leurs différentes conditions d'élaboration, les principes physiques de base mis en jeu, pour conclure par les microstructures et les propriétés d'usage des matériaux élaborés. Aucun historique, peu ou pas de notion sur la créativité en fabrication additive, la conception bio-inspirée, l'optimisation topologique, mais une approche procédés-matériaux bien assumée, et une importante composante simulation numérique, cette dernière paraissant incontournable dans la compréhension physique fine des processus complexes mis en jeu. Pour plus d'informations sur la fabrication additive, les règles de conception ou la normalisation, les lecteurs sont invités à consulter l'ouvrage généraliste et récent de C. Barlier et A. Bernard (Barlier et Bernard 2020).

Les chapitres qui constituent cet ouvrage ont été rédigés – en français – par des spécialistes francophones reconnus avec, dans chaque thématique, un équilibre entre des notions de base et des aspects plus avancés, directement issus de l'expérience des laboratoires et industriels associés.

L'ouvrage est constitué de deux volumes :

- ce volume 1 présente les procédés de FA métallique, la matière première, la physique des procédés de FA, la simulation numérique ;
- le volume 2 (Peyre et Charkaluk 2022) présente les microstructures, les post-traitements et les propriétés d'usage des pièces issues de FA.

Tout cela a pour vocation de constituer l'équivalent d'un précis de fabrication additive métallique qui, nous l'espérons, sera utile au plus grand nombre.

Bibliographie

- André, J.-C. (2018). *De la fabrication additive à l'impression 3D/4D 1*. ISTE Editions, Londres.
- Barlier, C., Bernard, A. (2020). *Fabrication additive : du prototypage rapide à l'impression 3D*, 2^e édition. Dunod, Paris.
- Elyan, J., IDG NS (2013). Obama veut s'appuyer sur l'impression 3D pour relancer l'industrie et l'emploi. *Le monde informatique* [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-obama-veut-s-appuyer-sur-l-impression-3d-pour-relancer-l-industrie-et-l-emploi-53552.html>.
- Heinrich, P. (2013). Impression 3D [En ligne]. Disponible à l'adresse : <http://www.audentia-gestion.fr/3D/Impression-3D.pdf>.

- Peyre, P., Charkaluk, É. (2022). *La fabrication additive des alliages métalliques 2*. ISTE Editions, Londres.
- PIPAME (2017). Prospective. Futur de la fabrication additive. Rapport [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/prospective/Industrie/2017-Fabrication-additive.pdf.
- Teulet, P. (2017). Procédé et Installation de fabrication d'un objet tridimensionnel. Brevet, WO2017121746A1.