

La fabrication additive métallique (FAM) représente une alternative innovante pour la fabrication de pièces dans le domaine de l'automobile, de l'aéronautique et du spatial ainsi que dans le domaine du médical. Jusqu'à récemment, le domaine de la Construction Métallique n'a pas fait l'objet ni d'applications pratiques ni d'un effort de recherche remarquable. En revanche, depuis peu, on voit apparaître des tentatives d'application également dans le domaine de la construction.

Procédés de fabrication additive

Tout d'abord, il semble intéressant de rappeler les principaux procédés de la fabrication additive métallique :

- Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) – Fabrication additive par fil et arc;
- Powder bed fusion (PBF)/Selective laser melting (SLM) – Fusion sélective par faisceau (laser) ;
- Direct Metal Deposition (DMD) – Dépôt direct de métal.

Les figures suivantes synthétisent le fonctionnement des trois procédés.

La Figure 1 représente le principe du procédé « par fil et arc ». On peut s'apercevoir que ce procédé ressemble fortement au soudage MIG/MAG (soudage à l'arc sous protection de gaz). L'idée est de construire la pièce en superposant des cordons de soudures.

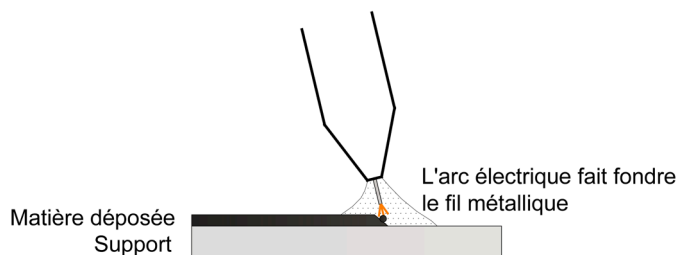


Figure 1 : Fabrication additive par fil et arc

Contrairement au procédé WAAM, la matière primaire du procédé PBF pour la fabrication de la pièce est une poudre métallique. Le procédé consiste dans le dépôt d'une couche de poudre métallique. Cette poudre est fondue localement par un laser (pour le procédé SLM). La poudre fondue fusionne ainsi avec les couches précédentes de la pièce à fabriquer. Ensuite une nouvelle couche de poudre est déposée. Comme l'utilisation du laser nécessite une atmosphère contrôlée, le lit de poudre est installé dans un compartiment fermé. On peut noter que les machines actuelles sont limitées en taille ce qui limite également la taille des pièces à fabriquer (environ : 40 cm x 40 cm x 40 cm).

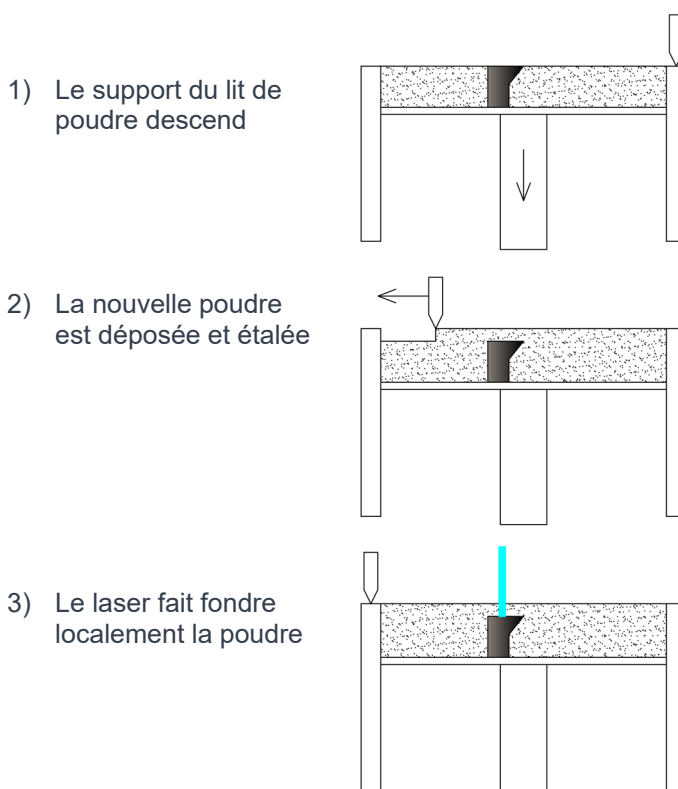


Figure 1 : Fusion sélective par laser – schéma de fonctionnement

Comme le procédé PBF, le procédé DMD est basé sur la fonte d'une poudre métallique par un laser. Toutefois, contrairement au procédé PBF, la poudre n'est déposée dans un bac mais directement projetée sur un support. L'utilisation du laser nécessite à nouveau une atmosphère contrôlée.

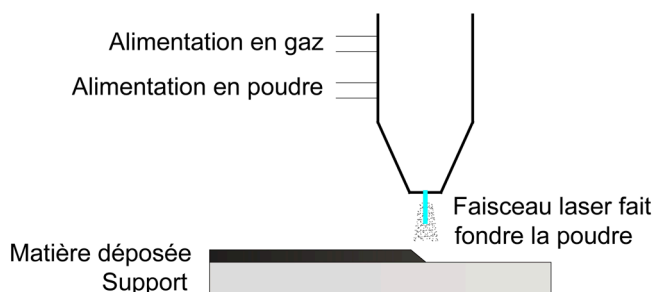


Figure 2 : Dépôt direct de métal – schéma de fonctionnement

Chacun de ces procédés a des avantages et des inconvénients. En particulier, le choix de l'un ou de l'autre de ces procédés dépend de la taille de la pièce à fabriquer et de sa complexité. Le Tableau 1 résume les principaux avantages et inconvénients des trois procédés.

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des différents procédés de fabrication additive

Procédé	Avantages	Inconvénients
PBF	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de fabriquer des pièces complexes ; • Post traitement (usinage par exemple) des pièces moins important. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taille des pièces fabriquées est limitée ; • Vitesse de fabrication faible (<70 cm³/h) ; • Coût de l'équipement important (> 700 k€).
DMD	<ul style="list-style-type: none"> • Vitesse de fabrication plus élevée (100-200 cm³/h) ; • Taille des pièces > 1 m³ ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de l'équipement important (700 k€) ; • Rugosité de la surface plus importante ;
WAAM	<ul style="list-style-type: none"> • Vitesse de fabrication plus élevée (200-500cm³/h) ; • Investissement plus faible pour l'équipement ; • Possibilité d'utiliser les fils usuels des procédés de soudure MIG/MAG ; • Taille des pièces théoriquement illimitée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Géométrie des pièces simple ; • Post traitement des pièces nécessaire (fraisage, usinage).

La fabrication additive dans la Construction Métallique

Dans le domaine de la Construction Métallique, il est possible d'identifier actuellement trois grandes familles de cas d'application de la FAM :

Ajout de propriétés/fonctionnalités à des pièces existantes :

La référence [3] présente deux études de cas d'ajout de propriétés sur une pièce existante. Il s'agit d'ajout de raidisseurs sur un tube mince et d'ajout de connecteurs en cisaillement à l'intérieur d'une section tubulaire. On peut noter que l'ajout de propriétés/fonctionnalités fait partie des domaines les plus développés de la FAM dans les autres secteurs industriels. Les procédés les mieux adaptés pour cette application sont le WAAM (pour des grandes tailles) et notamment le DMD.

Optimisation de nœuds d'assemblage :

Dans le domaine de la Construction Métallique, l'optimisation de nœuds d'assemblage est le champ d'application/de recherche le plus visé par des équipes de recherche sur la FAM. En particulier, le bureau d'étude ARUP a étudié la possibilité d'optimisation d'un nœud (d'une structure tensegrité – voir Figure 4) à l'aide de la FAM. Grâce à l'optimisation, il a été possible de réduire le poids du nœud de 75% ce qui conduisait à une réduction de 40% du poids total de la structure. ARUP a également réalisé une étude économique qui a toutefois démontré que – au moment de la fabrication – le coût de fabrication par FAM était trois fois supérieur au coût de la fabrication « traditionnelle » de la pièce. Cependant, selon leur analyse, le coût de la fabrication a le potentiel de réduire dans les prochaines années au point de rendre la FAM économiquement intéressant pour la fabrication de pièces complexes de petites séries.



Figure 4 : Optimisation d'un nœud d'une structure tensegrité par ARUP

D'autres exemples d'optimisation de nœuds d'assemblage sont présentés dans les références [3], [4] et [7].

Fabrication de structures « architecturales » :

Finally, the AM is employed (always in a modest way to date) to create structures with very complex geometry according to the wishes of architects. In this field of application, the manufacturing cost is not decisive for the choice of a working method because it is almost impossible to manufacture the desired geometry according to another mode of manufacturing. The most emblematic example realized in this field of application is represented in Figure 5. It is a walkway manufactured by the company MX3D with the WAAM process. In the future this walkway will be installed above the canal Oudezijds Achterburgwal in Amsterdam.



Figure 5 : Passerelle fabriquée par la société MX3D – Image de la référence [6]

Quelques références intéressantes

- [1] Ashraf, M., Gibson, I., Rashed, M.G. (2018). Challenges and prospects of 3D printing in structural engineering. 13th International Conference on Steel, Space and Composite Structures, Perth, Australia.
- [2] Camacho, D. D., Clayton, P., O'Brien, W. J., Seepersad, C., Juenger, M., Ferron, R., Salamone, S. (2018). Applications of additive manufacturing in the construction industry – A forward-looking review. Automation in Construction 89, 110-119.
- [3] Buchanan, C., Gardner, L. (2019). Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications opportunities and challenges. Engineering Structures 180, 332-348.

- [4] Feldmann, M., Kühne, R. Citarelli, S., Reisgen, U., Sharma, R. Oster, L. (2019). 3D-Drucken im Stahlbau mit automatisierten Wire Arc Additive Manufacturing. Stahlbau 88/3, 203-213.
- [5] Hildebrand, J. Bergmann, J. P. (2019). Dehnungsbasierter Ansatz für die schnelle Verzugsermittlung generative hergestellter Strukturen. Stahlbau 88/9, 370-377.
- [6] Gardner, L., Buchanan, C., Kyvelou, P., Herbert, G. (2019). Testing and verification of the world's first metal 3D printed bridge. Proceedings of the 9th International Conference on Steel and Aluminium Structures ICSAS19, Bradford, United Kingdom.
- [7] Abdelwahab, M. M., Tsavdaridis, K. D. (2019). Optimised 3D printed metallic node-connections for reticulated structures. Proceedings of the 9th International Conference on Steel and Aluminium Structures ICSAS19, Bradford, United Kingdom.