

# Caractérisation de la résistance à l'impact de structures lattices en AlSi10Mg obtenues par Fabrication additive (SLM)

Pauline Delroisse<sup>a</sup>, Olivier Rigo<sup>b</sup>, Pascal J. Jacques<sup>a</sup>, Aude Simar<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institute of Mechanics Materials and Civil Engineering, IMAP, Université catholique de Louvain, Belgique

<sup>b</sup> Sirris, ADD group, Liège, Belgique

## Résumé

Bien que la fabrication additive soit en plein essor ces dernières années, la caractérisation de structures architecturées plus complexes produites par cette technique n'est pas encore parfaitement bien définie.

Ce travail va mettre en évidence l'influence de la fusion localisée par laser et des vitesses de refroidissement très élevées sur la microstructure. En effet, quelques soient les paramètres de fabrication sélectionnés, la microstructure d'élément en alliage d'aluminium AlSi10Mg produits par SLM présente toujours trois zones bien distinctes relatives à leur position dans le bain de fusion. De plus, suite à la géométrie particulière des lattices étudiées, une analyse plus approfondie montre que la microstructure évolue également selon sa localisation au sein de la structure. Ainsi, selon que la zone analysée ait reposé sur des couches précédemment solidifiées ou non, la microstructure peut y est plus ou moins grossière. Les différentes hétérogénéités ainsi présentes dans l'échantillon peuvent toutefois disparaître grâce à un post-traitement thermique. Après un recuit à 525°C, des précipités globulaires de silicium se forment dans la matrice d'aluminium et viennent uniformiser et homogénéiser la microstructure. De plus, selon la durée passée dans la four ainsi que la température de mise en solution, ces précipités peuvent être plus ou moins gros, avec un diamètre moyen pouvant aller de 0.5 à 1.2µm. Pour finir, l'effet de cette microstructure avant ou après traitement thermique est observée sur des échantillons ayant subi des essais mécaniques de traction, compression ou impact. Les essais quasi-statiques mettent en évidence un comportement beaucoup plus ductile de la structure après traitement thermique. A titre d'exemple, après traitement thermique la déformation en compression de la lattice peut être multipliée par 8. Les essais d'impact quant à eux mettent en évidence une déformation de la structure très localisée sous la zone d'impact. A nouveau, après traitement thermique, le mode de rupture de la lattice évolue : elle se densifie plutôt que de rompre.

## Introduction

Les domaines aéronautiques et spatiaux tentent constamment d'améliorer les propriétés mécaniques de leurs produits ainsi que leurs coûts de fabrication. La fabrication additive y trouve dès lors tout son intérêt puisqu'elle permet la création de structures allégées en alliage d'aluminium, sans aucune perte de matière. De précédentes recherches ont déjà mis en évidence

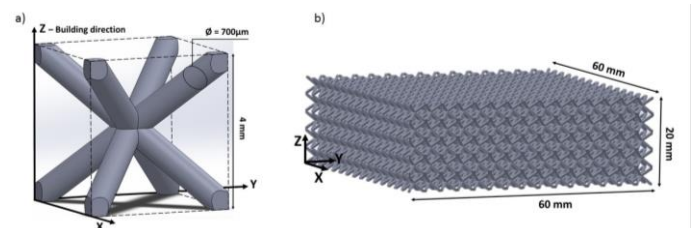
l'influence de différents paramètres de fabrication ou design sur le comportement des échantillons [Yan 2015][Qiu 2015]. Le travail présenté ci-dessous étudie des structures lattices cubiques centrées d'AlSi10Mg produites par fusion progressive de poudre (Selective laser melting-SLM). L'objectif majeur est de comprendre le comportement face à l'impact de telles structures et de déterminer les paramètres pré et post-traitement idéaux afin d'optimiser l'énergie absorbée après impact. Pour y parvenir, l'étude porte sur trois aspects : la caractérisation de microstructure, l'étude des traitements thermiques et l'influence de ceux-ci sur les propriétés mécaniques.

## Echantillons analysés

Les structures architecturées étudiées sont constituées d'une répétition périodique d'une maille élémentaire (figure 1a) cubique centrée, incluse dans un cube de 4mm de côté. Les lattices finales présentent des dimensions différentes selon les essais mécaniques réalisés :

- En traction : éprouvette de traction classique ( $e=0.8\text{mm}$ ,  $L_0=40\text{mm}$ ,  $l=5.3\text{mm}$ )
- En compression : lattice de  $16 \times 16 \times 16\text{mm}^3$
- En impact : lattice de  $60 \times 60 \times 20\text{mm}^3$  (Figure b)

Figure 1 Modèle CAD des échantillons produits a) la maille CC élémentaire, b) la lattice pour l'impact



## Résultats expérimentaux

La section ci-dessous reprend une partie des résultats principaux obtenus lors de l'analyse des structures lattices d'AlSi10Mg fabriquées par SLM.

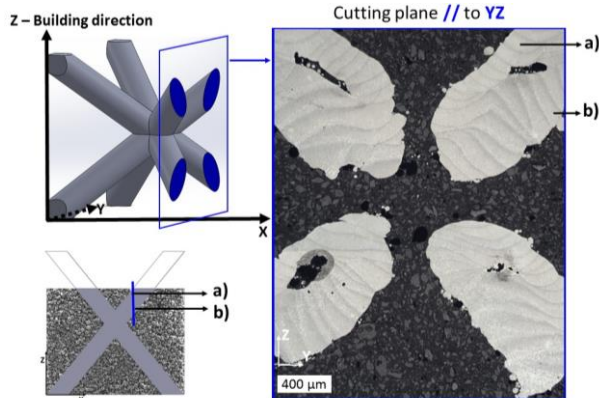
### Etude de la microstructure

Deux échelles d'hétérogénéités sont observées dans la microstructure : l'une est due à la géométrie particulière des lattice, l'autre est typique du procédé SLM.

### L'influence de la géométrie lattice

Suite à la fabrication oblique des tiges, le gradient thermique subi n'est pas le même sur une même couche fabrication. Une partie (Figure 2, zone a) reposera sur des zones précédemment solidifiées, alors que l'autre (Figure 2, zone b) reposera sur de la poudre. Cette dernière étant moins conductrice que l'aluminium solidifié, elle joue le rôle d'isolant thermique. La microstructure qui surplombe ces zones est donc plus grossière.

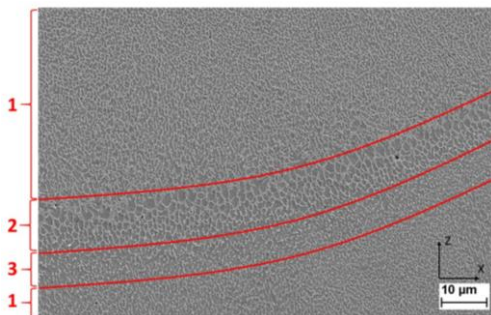
Figure 2 Evolution de la microstructure selon la zone observée sur une tige: en a) zone qui repose sur des couches précédemment solidifiées, en b) tronçon de tige qui repose sur de la poudre.



### L'effet du procédé lasage

Etant donné la fusion localisée de la poudre et le tracé du laser, le bain de fusion prend une forme hémisphérique. Au sein de ce bain, trois zones se distinguent, chacune d'entre elles subissant un taux de refroidissement différent (plus élevé au centre et plus lent en périphérie). Comme illustré sur la figure 3, la zone 1 (cœur de la zone fondue) présente une microstructure plus fine que la zone 2 puisqu'elle reste moins longtemps à haute température. La zone 3 quant à elle fait partie de la couche inférieure, déjà solidifiée, mais qui subit un recuit suite au nouveau passage du laser.

Figure 3 Les 3 zones caractéristiques dans la microstructure des alliages d'aluminium créés par SLM.

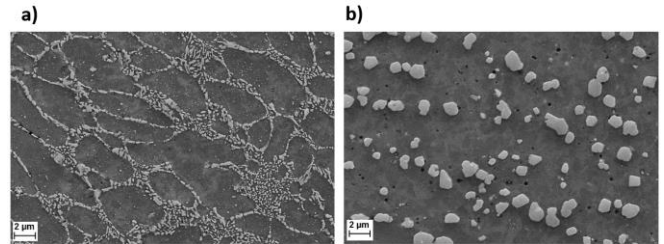


### Les traitements thermiques

Après traitement thermique, l'eutectique de silicium se globularise (Figure 4). La microstructure s'homogénéise. De plus, si le temps passé à haute température augmente,

le diamètre moyen des précipités augmente selon la loi d'Oswald.

Figure 4 Microstructure avant (a) et après (b) traitement T6: 525°C/5h + trempe + 165°C/7h



### Essais mécaniques

Les tests de traction permettent de déterminer un module de Young de l'ordre de 69GPa. Après traitement thermique, les essais mettent en évidence une évolution de comportement. Pour la traction, il semble qu'un traitement thermique T6 ne soit pas optimal puisqu'il réduit à la fois la force maximale et le déplacement supportés. En revanche, un traitement thermique T4, sans l'étape de vieillissement artificiel permet d'augmenter la ductilité de l'échantillon ( $\epsilon$  passe de 1.3 à 2.2%). Pour la compression, la force maximale subie diminue mais la déformation endurée après traitement thermique T6 augmente (de l'ordre de x8).

### Références

Qiu C. and al., Influence of processing conditions on strut structure and compressive properties of cellular lattice structures fabricated by selective laser melting, *Materials Science & Engineering A*, 628(2015) 188-197.

Yan C. and al., Microstructure and mechanical properties of aluminium alloy cellular lattice structures manufactured by direct metal laser sintering, *Materials Science & Engineering A*, 628(2015) 238-246.