

# Gros plan sur les performances de la fusion laser

De nouveaux systèmes optiques pour les systèmes de fusion laser sélectifs permettent un contrôle plus cohérent des conditions de traitement laser. Le faisceau de focalisation dynamique offre de nouvelles possibilités pour une commande de focalisation plus étroite sur le plateau de fabrication et dans différentes conditions thermiques.

## Les points essentiels de la fusion laser

Les systèmes de fusion laser sélectifs dirigent un petit spot laser qui chauffe la poudre métallique de telle sorte qu'elle se liquéfie pour créer un bain de fusion. Ce bain de fusion est déplacé à travers le lit de poudre et la « trainée » se solidifie rapidement une fois le retrait de l'énergie laser, créant une structure soudée solide et entièrement dense.

La quantité d'énergie transmise et la vitesse à laquelle le bain de fusion est déplacé sont toutes deux soigneusement réglées selon les caractéristiques de l'alliage métallique et l'épaisseur de couche fondue. Ce procédé repose sur une taille de spot contrôlée pour que la densité d'énergie et l'énergie totale transférée dans la poudre soit constant.

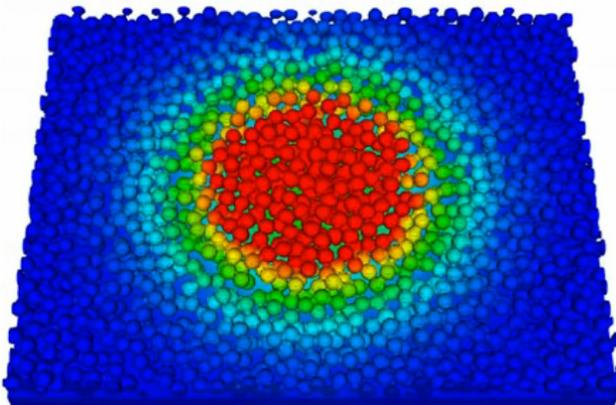
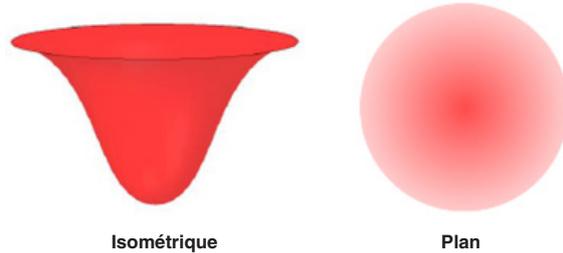


Image ci-dessus : les grains de poudre sont chauffés par le spot laser et la chaleur est transmise dans un matériau voisin

La focalisation du faisceau laser est donc critique pour la performance du procédé de fusion. Nous avons besoin d'un faisceau parfaitement focalisé pour créer le bon effet thermique. Toute dé-focalisation entrainera une transmission d'énergie à la matière en dehors de la zone de fusion prévue, ce qui pourrait conduire à des erreurs de dimension et à un état de surface médiocre. Si une dé-focalisation est telle que la taille du spot augmente considérablement, cela peut conduire à des propriétés du matériau variables et à une fusion incomplète de la pièce finale..

## Le défi de la focalisation

Un faisceau laser idéal présente un profil d'intensité gaussien, il est le plus intense dans le centre du faisceau et se réduit vers ses bords.



Des lentilles optiques sont utilisées pour focaliser le faisceau de quelques millimètres de diamètre à la sortie de la fibre, jusqu'à une taille étroite à l'intersection avec le plateau de fabrication. En s'éloignant de ce point focal, la zone de section transversale du faisceau augmente, atteignant deux fois la taille minimale à une certaine distance le long du faisceau, appelée la longueur de Rayleigh (ZR dans le schéma ci-dessous) :

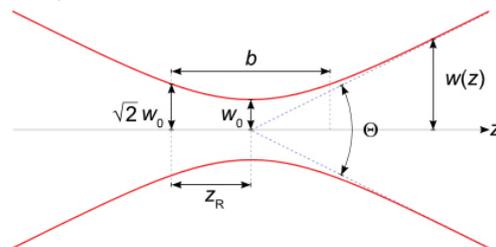
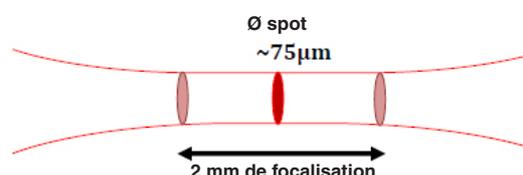


Image de Wikipédia

La longueur de Rayleigh est proportionnelle au carré du diamètre du spot et inversement proportionnelle à la longueur d'onde du laser. Plus le diamètre du spot est petit (ce qui est souhaitable pour produire des entités détaillées), plus la longueur de Rayleigh est courte et plus le système sera sensible pour une focalisation de précision. Si notre focalisation est inexacte et que la longueur de Rayleigh est éloignée du véritable point focal, alors notre zone de spot sera double et notre densité d'énergie diminuera de 50%.

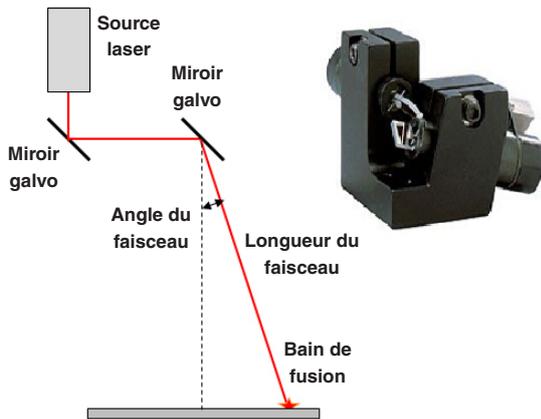
Sur une machine de fusion laser Renishaw dotée d'un diamètre de spot de 75 microns et d'une longueur d'onde de 1070 nm, la longueur de Rayleigh est de plusieurs mm. Bien sûr, réduire de moitié la densité d'énergie nous éloigne des conditions de traitement optimales pour la plupart des matières. Ainsi, dans la pratique, la plage de focalisation admissible est plutôt de  $\pm 1$  mm :

Cela signifie que nos éléments optiques doivent être en mesure de maintenir la focalisation dans cette plage lorsque le spot laser se déplace à travers le lit.



## Positionnement et focalisation du laser Galvo

La plupart des systèmes de fusion laser utilisent des systèmes de miroirs galvanométriques («galvo») pour diriger le faisceau laser vers différents emplacements à travers le lit de poudre. Une paire de miroirs est positionnée au-dessus du centre du lit et ceux-ci dirigent le faisceau sur une plage d'angles afin d'atteindre les positions XY requises sur le plateau de fabrication.

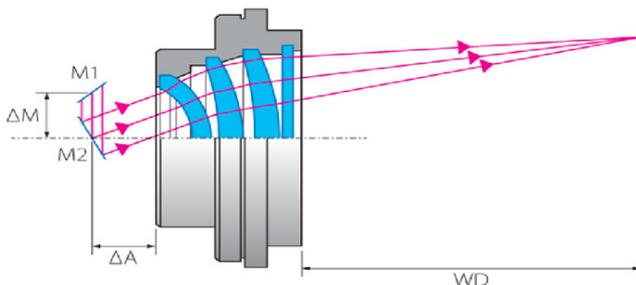


Le faisceau doit donc parcourir des distances différentes avant de frapper le lit, car ces angles peuvent varier. Plus le bain de fusion est éloigné du centre du lit, plus long est le trajet du faisceau laser depuis les miroirs galvo vers le lit.

Cela signifie que la distance focale du faisceau laser doit être modifiée avec précision avec l'angle du faisceau. Il y a deux façons de le faire : les systèmes de focalisation variable dynamique et les systèmes F-theta passifs.

## Systèmes F-Theta

Renishaw utilise un système F-theta sur sa machine AM400. Il comprend un ensemble de lentilles multi-éléments qui concentre un faisceau incident sur un plan plat. La lentille F-theta dispose d'une longueur focale qui varie en fonction de l'angle auquel le faisceau pénètre dans l'élément de lentille. Le but est de maintenir la distance opérationnelle (WD) constante pour toute la plage d'angles de faisceau incident :



Les systèmes F-theta offrent un design simple de contrôle passif qui permet un fonctionnement à grande vitesse. Cependant, ils font face à des défis de conception lorsqu'une haute puissance laser est utilisée :

- Pour éviter une lumière diffuse dans l'ensemble, des revêtements anti-réfléchissants sont utilisés, mais ceux-ci peuvent se traduire par une production de chaleur jusqu'à 0,3% de la puissance incidente au niveau de chaque surface. Couplé à l'absorption dans les lentilles, cela peut entraîner une génération de chaleur de 10W, qui augmente avec la puissance du laser. La variation de température dans l'ensemble des lentilles peut conduire à une variation de la distance focale.
- Comme la distance focale est une fonction de l'angle d'incidence, le positionnement des miroirs galvo par rapport aux éléments optiques F-theta est essentiel. Toute variation, pouvant encore résulter de la variation de température, risque de dé-focaliser le laser.
- Enfin, les systèmes multi-laser vont nécessiter plusieurs systèmes F-theta, ce qui entraîne des coûts système et plus de complexité.



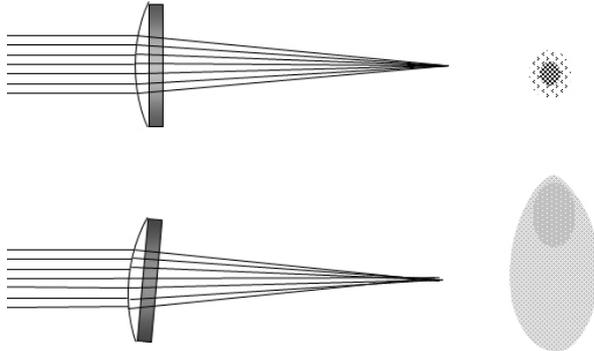
## Systèmes de focalisation dynamique

Les systèmes dynamiques placent une lentille beaucoup plus petite dans la ligne de faisceau en amont des miroirs galvo et la déplacent par rapport à l'emplacement source, ce qui permet une variation de la longueur focale du système optique. Renishaw est passé à cette méthode de contrôle focal sur sa nouvelle machine RenAM 500M qui dispose d'un laser 500W.

Ce déplacement contrôlé de la lentille corrige la variation de distance focale quasi-parabolique nécessaire lorsque le système galvo scanne le faisceau à travers le lit. Cela nous apporte des avantages importants :

- Les modifications de distance focale sont servos contrôlés, de sorte que toute distorsion connue causée par le système de scanning peut être mise en correspondance avec la demande de position de la lentille.
- Nous avons un plein contrôle programmatique sur la focalisation - si nous le souhaitons, nous pouvons délibérément dé-focaliser le laser pour créer différents effets de traitement.
- Parce que nous ne sommes plus limités par un ensemble de lentilles rigides, nous pouvons adapter la focalisation en fonction des conditions actuelles, en suivant les effets thermiques lors de l'impact des flux thermiques sur la structure de la machine lors du traitement.

- Avec moins d'éléments optiques et de revêtements anti-réfléchissants, les systèmes de focalisation dynamique proposent une moindre production de chaleur indésirable.
- Le renvoi d'informations des servos de focalisation peut être connecté aux positions galvo afin d'augmenter la traçabilité du procédé.
- Par rapport aux systèmes F-theta, les systèmes de focalisation dynamique sont compacts et économiques, ce qui les rend plus évolutifs pour les systèmes multi-laser.



Il convient de noter qu'il est essentiel de contrôler l'alignement de la lentille de focalisation sur l'axe optique pour assurer une focalisation et un positionnement précis du spot de faisceau. De petites erreurs dans l'alignement peuvent entraîner une importante dé-focalisation, c'est pourquoi le système optique doit être soigneusement aligné et contrôlé thermiquement pour empêcher cela.

## Résumé

Une fabrication de haute qualité exige de la cohérence, du contrôle et une traçabilité. Un contrôle strict de la distance focale est essentiel pour une performance de fusion laser homogène et productive.

Tandis que les systèmes AM deviennent toujours plus sophistiqués et s'exécutent à des puissances plus élevées avec plusieurs lasers, la focalisation dynamique devient de plus en plus utile.

## À propos de l'auteur

### Marc Saunders, Directeur des Applications AM

Marc Saunders affiche une expérience de plus de 25 ans dans la fabrication high tech. Lors de ses postes précédents chez Renishaw, il a joué un rôle clé dans le développement de la plate-forme primée d'usinage automatisé RAMTIC de l'entreprise et a apporté des solutions de métrologie clé en main aux clients dans le secteur de l'aérospatiale.

Marc gère le réseau mondial Renishaw de Centres de solutions de fabrication additive, permettant aux clients qui envisagent de déployer la fabrication additive comme processus de production d'acquérir une expérience pratique avec la technologie avant de s'engager dans une nouvelle installation.

[www.renishaw.fr/additive](http://www.renishaw.fr/additive)