

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/002805 A1

(43) Date de la publication internationale
02 janvier 2020 (02.01.2020)

(51) Classification internationale des brevets :

B22F 3/00 (2006.01) *B23K 26/34* (2014.01)
B22F 3/105 (2006.01) *B23K 26/342* (2014.01)
G05B 19/4099 (2006.01) *B23K 26/144* (2014.01)
B33Y 10/00 (2015.01) *B29C 64/153* (2017.01)
B33Y 30/00 (2015.01) *B29C 64/209* (2017.01)
B33Y 50/02 (2015.01)

1855961 29 juin 2018 (29.06.2018) FR

(71) **Déposant : SAFRAN** [FR/FR] ; 2 Boulevard du Général
Martial Valin, 75015 PARIS (FR).

(72) **Inventeurs : COURAPIED, Damien** ; SAFRAN AIR-
CRAFT ENGINES PI (AJI), Rond-Point René Ravaud
- Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR), **MARION,**
Guillaume ; SAFRAN AIRCRAFT ENGINES PI (AJI),
Rond-Point René Ravaud - Réau, 77550 MOISSY-CRA-
MAYEL (FR), **FERREIRA, Elise** ; SAFRAN AIRCRAFT
ENGINES PI (AJI), Rond-Point René Ravaud - Réau,
77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2019/051533

(22) Date de dépôt international :

24 juin 2019 (24.06.2019)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

(74) **Mandataire : BARBE, Laurent** et al. ; Gevers & Orès,
Immeuble Palatin 2, 3 Cours du Triangle, CS 80165, 92939
Paris La Défense Cedex (FR).

(54) **Title:** DEVICE AND METHOD FOR DIRECT MANUFACTURING BY LASER FUSION OF SPRAYED POWDER

(54) **Titre :** DISPOSITIF ET PROCEDE DE FABRICATION DIRECTE PAR FUSION LASER DE POUDRE PROJETEE

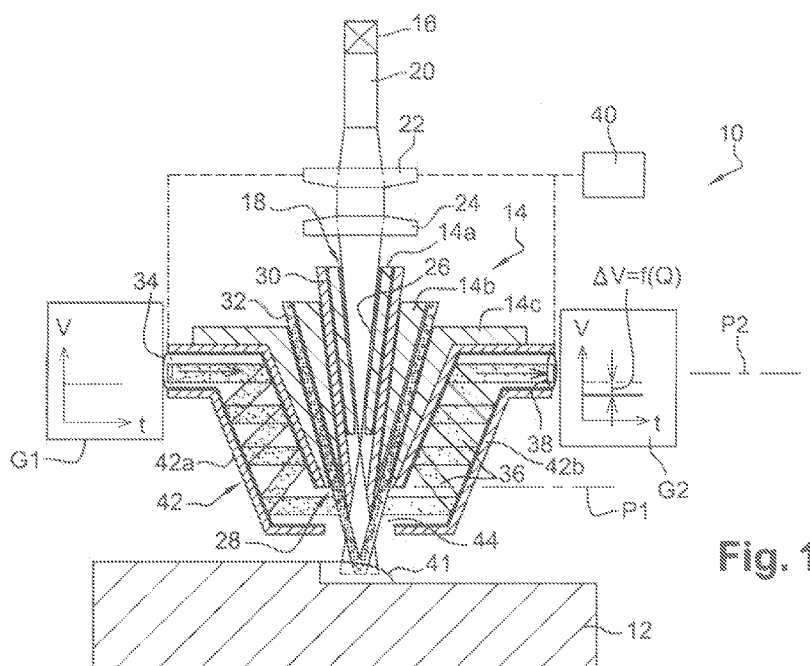


Fig. 1

(57) **Abstract:** A device (10) for direct manufacture by laser fusion of sprayed powder, comprising: - a nozzle (14) for spraying a metal powder, - at least one first laser emitter (16) configured to emit a first laser beam (18) at a predetermined wavelength λ_1 and at a predetermined power, so as to melt said sprayed powder, characterised in that it further comprises: - at least one second laser emitter (34) configured to emit a second laser beam (36) at a wavelength λ_2 through the sprayed powder, at the outlet of said nozzle, the wavelengths λ_1 and λ_2 being different, - at least one receiver (38) configured to receive said second laser beam, after it has passed through the sprayed powder, and - means (40) for comparing the light intensity of the second laser beam received by said receiver and the light intensity of the second laser beam emitted by said second emitter, and for determining the flow rate of powder sprayed by the nozzle.

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(57) **Abrége :** Dispositif (10) de fabrication directe par fusion laser de poudre projetée, comprenant : - une buse (14) de projection d'une poudre métallique, - au moins un premier émetteur laser (16) configuré pour émettre un premier faisceau laser (18) à une longueur d'onde λ_1 prédéterminée et à une puissance prédéterminée, de façon à faire fondre ladite poudre projetée, caractérisé en ce qu'il comprend en outre : - au moins un second émetteur laser (34) configuré pour émettre un second faisceau laser (36) à une longueur d'onde λ_2 à travers la poudre projetée, en sortie de ladite buse, les longueurs d'onde λ_1 et λ_2 étant différentes, - au moins un récepteur (38) configuré pour recevoir ledit second faisceau laser, après sa traversée de la poudre projetée, et - des moyens (40) de comparaison de l'intensité lumineuse du second faisceau laser reçu par ledit récepteur et de l'intensité lumineuse du second faisceau laser émis par ledit second émetteur, et de détermination du débit de poudre projetée par la buse.

DISPOSITIF ET PROCEDE DE FABRICATION DIRECTE PAR FUSION LASER DE POUDRE PROJETEE

Domaine de l'invention

5

La présente invention concerne un dispositif et un procédé de fabrication directe par fusion laser de poudre projetée.

Etat de la technique

10

Il est de plus en plus courant de réaliser des pièces par fabrication additive et c'est notamment le cas dans le domaine aéronautique.

Plusieurs technologies de fabrication additive existent et dépendent notamment du matériau de la pièce à réaliser, par exemple métallique ou plastique.

Un procédé de fabrication directe par laser aussi appelé procédé LMD (acronyme de l'anglais *Laser Metallic Deposition*) est un procédé de fabrication additive dérivé des procédés de cladding et de rechargement laser utilisés jusqu'alors pour le traitement de surface ou la réparation des pièces métalliques. L'idée de l'emploi de ce procédé en tant que procédé de fabrication est apparue à la fin du vingtième siècle avec notamment le développement du *Laser Engineered Net Shaping* (LENS®) par le laboratoire national américain Sandia. Sa première utilisation industrielle fut la fabrication de composants d'armes nucléaires de très faible volume (Morville, 2012). Ce procédé repose sur l'utilisation combinée d'un laser de puissance et d'une buse de projection de poudre coaxiale ou à injection latérale (Peyre, 2014). Concrètement, la poudre, transportée par un gaz porteur inerte (tel que de l'Argon, de l'Hélium, ou de l'Azote), est injectée dans le bain liquide métallique formé dans le substrat par l'interaction laser-

matière. La poudre peut alors s'échauffer, voire fondre sur son temps de vol, mais la fusion intervient surtout lors du contact avec le bain liquide métallique. Le substrat peut alors être considéré comme un creuset alimenté en poudre métallique, et les hauteurs des couches unitaires
5 formées dépendent des paramètres du procédé.

Parmi les paramètres ajustables du procédé LMD, il y a la vitesse d'avance de la buse, la puissance laser et le débit massique de la poudre injectée. Si les deux premiers sont relativement robustes et répétables de par
10 l'architecture de la machine, le débit de poudre est potentiellement plus exposé à des variations entre consigne et valeur réelle. En effet, le débit de poudre est piloté par la vitesse de rotation d'un plateau de distribution de poudre ainsi que par le débit des gaz porteurs de la poudre. Les câbles de transport de la poudre entre le réservoir et le dispositif étant longs
15 (plusieurs mètres), il y a certainement un écart et des instabilités dans la valeur réelle de débit de poudre en sortie de la buse. Avant de pouvoir contrôler la stabilité d'un débit de poudre, il faut pouvoir le régler. L'idéal est que la valeur du débit reste dans un intervalle (stabilité) autour d'une consigne (réglage).

20

Pour ces raisons, il est nécessaire de calibrer le débit de poudre régulièrement et de s'assurer de sa stabilité sur la durée de construction. Le tout de manière reproductible et répétable.

25 La présente invention permet de répondre au moins en partie à ce besoin, de façon simple, efficace et économique.

Exposé de l'invention

30 L'invention concerne un dispositif de fabrication directe par fusion laser de poudre projetée, comprenant :

- une buse de projection d'une poudre métallique,
- au moins un premier émetteur laser configuré pour émettre un premier faisceau laser à une longueur d'onde λ_1 prédéterminée et à une puissance prédéterminée, de façon à faire fondre ladite poudre projetée,

5 caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

- au moins un second émetteur laser configuré pour émettre un second faisceau laser à une longueur d'onde λ_2 à travers la poudre projetée, en sortie de ladite buse, les longueurs d'onde λ_1 et λ_2 étant différentes,

10 - au moins un récepteur configuré pour recevoir ledit second faisceau laser, après sa traversée de la poudre projetée, et

- des moyens de comparaison de l'intensité lumineuse du second faisceau laser reçu par ledit récepteur et de l'intensité lumineuse du second faisceau laser émis par ledit second émetteur, et de détermination du débit de poudre projetée par la buse.

15

L'invention peut permettre de mesurer précisément le débit de poudre projetée par détection laser. Un faisceau laser, différent de celui utilisé pour la fusion de la poudre projetée, est ainsi utilisé pour mesurer le débit de cette poudre. Le faisceau laser de mesure ou second faisceau laser a en
20 particulier une longueur d'onde différente de celle du premier faisceau laser utilisé pour provoquer la fusion de la poudre.

Le dispositif selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres, ou en
25 combinaison les unes avec les autres :

- ledit second faisceau laser est orienté dans une direction sensiblement perpendiculaire à la direction dudit premier faisceau laser,

30 - le dispositif comprend en outre un guide pour le second faisceau laser, qui est monté sur ladite buse et qui est configuré pour guider le second faisceau laser depuis ledit second émetteur jusqu'audit récepteur ; ce guide a l'avantage d'être compact est donc peu encombrant,

- ledit guide comprend une première portion s'étendant depuis ledit second émetteur jusqu'à une sortie de poudre de la buse, et une seconde portion s'étendant depuis la sortie de poudre de la buse jusqu'audit récepteur,
- la sortie de ladite buse est située dans un premier plan perpendiculaire
- 5 audit premier faisceau, ledit second émetteur et ledit récepteur étant situés dans un second plan qui est parallèle et à distance dudit premier plan,
- ladite buse a une forme conique ou tronconique dont une extrémité de plus petit diamètre forme la sortie de poudre, lesdites première et seconde
- 10 portions du guide étant positionnées de façon à définir entre eux un espace de passage de la poudre projetée qui est situé au niveau de ladite extrémité de plus petit diamètre,
- au moins un bloc de matériau transparent audit second faisceau est monté au niveau dudit espace pour empêcher l'introduction de poudre dans ledit guide,
- 15 - ladite buse comprend plusieurs cônes coaxiaux montés les uns à l'intérieur des autres et définissant entre eux un passage annulaire interne d'éjection d'un flux de gaz protecteur autour dudit premier faisceau, et un passage annulaire externe de projection de ladite poudre,
- la longueur d'onde λ_1 est supérieure ou égale à 1000 nm, et
- 20 - la longueur d'onde λ_2 est inférieure ou égale à 1000 nm.

La présente invention concerne également un procédé de fabrication directe par fusion laser de poudre projetée, au moyen d'un dispositif tel que décrit ci-dessus, dans lequel il comprend la fabrication d'une pièce par

25 fabrication additive sur un support et la détermination du débit de poudre projetée par la buse simultanément à la fabrication ou postérieurement à la fabrication.

Avantageusement, la pièce fabriquée est une pièce d'un moteur d'aéronef.

30

Brève description des figures

D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description qui suit d'un mode de réalisation non limitatif de l'invention en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- 5 - la figure 1 est une vue schématique en coupe axiale d'un mode de réalisation du dispositif selon l'invention de fabrication directe par fusion laser de poudre projetée,
- la figure 2 est une vue schématique en coupe axiale d'une variante de réalisation du dispositif selon l'invention,
- 10 - les figures 3 à 5 sont des graphes illustrant l'évolution d'un débit mesuré de poudre projetée par une buse d'un dispositif de fabrication, en fonction d'une consigne de rotation d'un plateau rotatif de distribution de la poudre,
- la figure 6 comprend des vues schématiques de côté d'une buse d'un dispositif de fabrication et illustrent la défocalisation occasionnée par une
- 15 perte de distance entre la buse et le support de fabrication, qui serait induite par une variation de la dimension des cordons provoquée par une instabilité du débit de poudre projetée,
- les figures 7 et 8 sont des graphes illustrant l'évolution de la hauteur d'un cordon en fonction du débit de poudre projetée,
- 20 - la figure 9 est une vue très schématique d'une installation de mesure et d'enregistrement du débit de poudre projetée par pesée continue de cette poudre, et
- la figure 10 est un graphe représentation l'évolution du débit de poudre projetée mesuré en fonction du temps au moyen de l'installation de la figure
- 25 9.

Description détaillée d'un mode de réalisation de l'invention

- La figure 1 représente un dispositif 10 de fabrication directe par fusion laser
- 30 de poudre projetée selon un mode de réalisation de l'invention.

Le dispositif 10 est conçu pour réaliser une pièce par fabrication additive sur un support 12 tel qu'un plateau horizontal. Le dispositif 10 est en général mobile par rapport au support 12 et porté par exemple par un bras robotisé. Le dispositif 10 est relié à une réserve de poudre métallique et à un distributeur de poudre métallique, une source de gaz inerte protecteur, et au moins une source d'énergie en particulier électrique. Le distributeur de poudre se présente en général sous la forme d'un plateau rotatif ou d'une goulotte vibrante et est associé à une source d'alimentation en gaz porteur de la poudre.

10

La poudre métallique et le support 12 peuvent être dans deux matériaux différents ou bien identiques.

Le dispositif 10 comprend une buse 14 de projection de la poudre métallique et au moins un premier émetteur laser 16 qui est configuré pour émettre un premier faisceau laser 18 à travers la buse 14. La poudre est véhiculée par le gaz porteur et est projetée sous la forme d'un flux de poudre.

Le faisceau laser 18 peut être acheminé jusqu'à la buse par un chemin optique défini par une fibre optique 20 et des lentilles, par exemple de collimation 22 et de focalisation 24. Le faisceau 18 est destiné à traverser un alésage axial interne 26 de la buse 14 et à être dirigé vers le support 12 sur lequel la poudre est projetée.

25

Le faisceau laser 18 est émis à une longueur d'onde λ_1 prédéterminée et à une puissance prédéterminée de façon à faire fondre la poudre projetée. λ_1 est par exemple de l'ordre de 1064nm. Le faisceau 18 est par exemple un faisceau YAG d'une puissance de 2kW.

30

Dans l'exemple représenté, la buse 14 a une forme générale conique ou tronconique dont une extrémité de plus petit diamètre forme la sortie 28 de poudre. La buse 14 comprend plusieurs cônes 14a, 14b, 14c coaxiaux, ici au nombre de trois, qui sont montés les uns à l'intérieur des autres.

5

Le cône interne 14a définit avec le cône intermédiaire 14b qui l'entoure un passage annulaire interne 30 d'éjection d'un flux de gaz protecteur autour du premier faisceau 18. Le passage 30 est donc relié à des moyens d'acheminement de gaz protecteur depuis la réserve précitée.

10

Le cône intermédiaire 14b définit avec le cône externe 14c qui l'entoure un passage annulaire externe 32 d'éjection d'un flux de poudre. Le passage 32 est donc relié à des moyens d'acheminement de poudre depuis la réserve précitée.

15

Ceci n'est toutefois pas limitatif. Il existe plusieurs modèles de buses, avec différents nombre de cônes, voir des jets « par point ». Le dispositif présenté ici fonctionne avec n'importe quel type de buse.

20 Selon l'invention, le dispositif 10 comprend en outre :

- au moins un second émetteur laser 34 configuré pour émettre un second faisceau laser 36,

- au moins un récepteur 38 configuré pour recevoir ce second faisceau laser 36, après sa traversée de la poudre projetée, et

25

- des moyens 40 de comparaison de l'intensité du second faisceau laser reçu par ledit récepteur et de l'intensité du second faisceau laser émis par ledit second émetteur, et de détermination du débit de poudre projetée par la buse 14.

30 Le second émetteur 34 et le récepteur 38 sont par exemple des photodiodes.

L'émetteur 34 est de préférence configuré pour générer un faisceau laser 36 de puissance suffisante et constante dans le temps. La longueur d'onde λ_2 du faisceau 34 doit être différente de celle λ_1 du faisceau 18. La
5 longueur d'onde λ_2 est de préférence en outre différente de la longueur d'onde λ_3 de l'émission principale du bain liquide 41 en fusion. En effet, le rayonnement provoqué par la fusion de la poudre sur le support ne doit pas impacté la mesure du débit de poudre et doit donc émettre à une longueur d'onde λ_3 différente de λ_2 .

10

Le récepteur 38 est adapté à l'émetteur 34 et vice versa. La puissance de l'émetteur 34 devra être suffisante pour assurer un bon rapport signal/bruit au niveau du récepteur 38 tout en restant suffisamment faible pour ne pas échauffer excessivement la poudre.

15

Le récepteur 38 a pour fonction de capter le faisceau 36 après la traversée du flux de poudre. Au passage de ce dernier, une partie de l'intensité lumineuse sera réfléchiée et absorbée par la poudre et ne sera donc pas transmise au récepteur. L'idée est donc de quantifier cet écart d'intensité
20 (différence de tension au niveau de la photodiode par exemple) et de le corrélérer à la quantité de poudre qui a occulté le faisceau. La corrélation entre la différence de tension et le débit de poudre pourra être faite une seule fois lors d'une étape préliminaire d'étalonnage. Une fois la relation tension/débit établie, la mesure de la tension de la photodiode suffira pour
25 mesurer le débit sortant de la buse. Le temps de réponse de la photodiode est un élément important. En effet, pour assurer un suivi en « temps réel » du débit de poudre, la mesure de la tension aux bornes de la photodiode devra de préférence être supérieure à la centaine d'Hertz de préférence.

30 Pour optimiser la réception du faisceau 36 et limiter les interactions entre les faisceaux 18, 36, il est préférable que l'émetteur 34 et le récepteur 38

soient à distance de la sortie 28 de la buse 14. Dans le cas particulier représenté dans lequel le faisceau 36 est sensiblement perpendiculaire au faisceau 34, la sortie de buse est de préférence située dans un premier plan P1 perpendiculaire au premier faisceau 18, et l'émetteur 34 et le récepteur 38 sont situés dans un second plan P2 qui est parallèle et à distance du plan P1.

Pour assurer la transmission du faisceau 36 entre l'émetteur 34 et le récepteur 38 et à travers le flux de poudre, le dispositif 10 comprend en outre un guide 42 pour le faisceau 36.

Le guide 42 est ici monté sur la buse 14 et est configuré pour guider le faisceau 36 depuis l'émetteur 34 jusqu'au récepteur 38. Dans l'exemple représenté, il a une forme générale tronconique et est monté de manière ajustée sur la buse 14. Il comprend une première portion 42a s'étendant depuis l'émetteur 34 jusqu'à la sortie de poudre 28 de la buse 14, et une seconde portion 42b s'étendant depuis cette sortie de poudre jusqu'au récepteur 38.

Le guide 42 comprend une surface interne réfléchissante pour le faisceau 38 qui est destiné à se propager par réflexion dans le guide. Les portions 42a, 42b définissent entre elles un espace 44 de passage de la poudre projetée, cet espace 44 étant situé au niveau de l'extrémité de plus petit diamètre de la buse et donc de la sortie de poudre 28. Comme on le voit sur le dessin, l'espace est conçu pour laisser passer le faisceau 18, le flux de gaz protecteur et le flux de poudre.

Le guide 42 est de préférence relié de manière rigide à la buse de manière à ne pas pouvoir se déplacer par rapport à elle en fonctionnement, ce qui pourrait affecter la précision des mesures.

Le dispositif 10 peut en outre comprendre des moyens de refroidissement de la buse 14 ainsi que du guide 42 qui peut s'échauffer du fait de la proximité avec le bain en fusion 41 et de la réflexion du laser 36.

- 5 Comme cela est visible dans la variante de réalisation de la figure 2, un bloc 46 en matériau transparent au faisceau 38 peut être monté à l'intérieur de chaque portion de guide 42a, 42b, au niveau de l'espace 44, de façon à éviter que de la poudre pénètre dans le guide 42 en fonctionnement et vienne perturber la mesure du débit.

10

- Comme évoqué dans ce qui précède, l'émetteur 34 est destiné à émettre un faisceau 36 avec une puissance constante. Cela se traduit par une tension d'alimentation constante au cours du temps de l'émetteur, comme schématiquement représenté par le graphe G1. En sortie du guide 42,
- 15 après la traversée du flux de poudre, la tension mesurée aux bornes du récepteur 38 est toujours constante mais est plus faible du fait de la perte lumineuse par absorption et réflexion de la poudre, comme schématiquement représenté par le graphe G2. La différence de tension ΔV permet de déterminer la valeur du débit de poudre projeté par une formule
- 20 $\Delta V = f(Q)$ qui peut être linéaire ou polygonale par exemple. Une étape d'étalonnage peut s'avérer nécessaire et sera présentée dans ce qui suit.

- Les graphes des figures 3 à 5 permettent de constater les difficultés rencontrées lors du réglage du débit de poudre d'un dispositif de fabrication
- 25 de la technique antérieure.

- Comme évoqué dans ce qui précède, le débit de poudre est un des paramètres les plus influents du procédé de fabrication additive. Les seuls paramètres accessibles sont ceux du distributeur de poudre à plateau
- 30 rotatif ou à goulotte vibrante, dont le modèle peut varier d'une machine à l'autre et d'un constructeur à l'autre. Les inventeurs ont construit une

courbe de réponse entre les paramètres du distributeur et le débit réellement obtenu.

5 Le graphe de la figure 3 représente l'intégralité des mesures ponctuelles de débit réalisées sur plusieurs mois avec une poudre à base d'Inconel 718. La cible était d'atteindre 6g/min, l'erreur sur le débit constaté était de plus ou moins 15%.

10 Le graphe de la figure 4 représente l'intégralité des mesures ponctuelles de débit réalisées sur plusieurs mois avec une poudre à base de TA6V. La cible était d'atteindre 3g/min, l'erreur sur le débit constaté était de plus ou moins 15%.

15 Le graphe de la figure 5 représente l'intégralité des mesures ponctuelles de débit réalisées sur plusieurs mois avec une poudre à base d'Inconel 738. La cible était d'atteindre 2.5g/min, l'erreur sur le débit constaté était de plus ou moins 15%.

20 Il apparaît clairement que le débit obtenu pour des mêmes variables d'entrées varie fortement d'un jour à l'autre.

25 Cette variation de débit provoque une modification dimensionnelle des cordons de matière déposée et ainsi participe à la création de défauts métallurgiques de type porosité ou manques de fusion dans les pièces construites.

30 Afin de savoir si ces variations sont problématiques ou non pour le procédé, les inventeurs ont réalisé un calcul théorique : on suppose que des paramètres de fabrication permettant la construction d'un mur de 50 couches (environ 10mm de haut) sans perte de distance buse-pièce WD_x ont été définis et figés lors d'une étude matériaux.

La distance buse-pièce WD_x illustrée à la figure 6 doit de préférence rester comprise entre 3,3 et 3,7mm pour que la construction reste stable. Pour ce calcul nous prendrons une tolérance de + ou – 0,5mm.

5

Ainsi, la question est de savoir quelle variation du débit entraîne une variation de hauteur de cordon H_x qui, cumulée sur 50 couches, entraîne une perte de distance buse-pièce WD_x supérieure à la tolérance de + ou – 0,5mm, c'est-à-dire quelle variation du débit entraîne une variation de

10 hauteur de cordon de 0,01mm.

Pour relier la variation de débit $\Delta\text{Débit}$ à la variation de hauteur H_x du cordon, les inventeurs ont utilisé le logiciel NextStep, développé par Safran Tech, pour estimer les dimensions des cordons à partir des paramètres

15 d'entrées Puissance, Vitesse et Débit. Ce logiciel permet de construire un méta modèle à l'aide de régressions logarithmiques multiples entre données d'entrées et de sorties. Dans le cas présent, la phase d'apprentissage du méta modèle a été effectuée sur les mesures expérimentales des dimensions de 180 cordons. La validité des résultats a

20 été démontrée en construisant 50 cordons avec des paramètres d'entrée qui n'étaient pas dans le plan d'expérience initial et en comparant les dimensions de cordons prédéterminées et mesurées.

La figure 7 représente l'évolution de la hauteur de cordon en fonction du

25 débit de poudre pour des paramètres conseillés pour l'Inconel 718 (350W 2000mm/min 6g/min). Pour ne pas dépasser une variation de hauteur de $\pm 10\mu\text{m}$ par cordon, le débit ne doit pas varier de plus de $\pm 0,2\text{g/min}$ ($\pm 3,3\%$).

30 La figure 8 représente l'évolution de la hauteur de cordon en fonction du débit de poudre pour une poudre d'Inconel 738 (P200 ; V400 ; D2,5). Pour

ne pas dépasser une variation de hauteur de $\pm 10\mu\text{m}$ par cordon, le débit ne doit pas varier + de $\pm 0,1\text{g/min}$ (soit $\pm 2\%$).

5 D'autres courbes similaires ont été tracées pour le TA6V, le René77 et le René 142, la conclusion est que, quel que soit le débit cible, une stabilité du débit à + ou - 2% ne devrait pas être dépassée. Sur une construction massive construite par dépôt de cordons les uns à côté des autres, l'influence d'une variation de débit est observable expérimentalement. En effet, la variation dimensionnelle de cordon peut entraîner la formation de
10 manques de fusion et donc de porosités linéaires (dont la plus grande dimension est deux fois supérieure à la plus petite). Ce type d'indication exclue directement la pièce des classes de santé matière définies par la PR7210 pour les pièces de fabrication additive. Ce type de défaut doit donc à tout prix être évité.

15 Ainsi, pour toutes les raisons exposées précédemment, il est nécessaire de calibrer le débit de poudre régulièrement et s'assurer de sa stabilité sur la durée d'une construction. Le tout de manière reproductible et répétable. Le dispositif selon l'invention est étalonné au préalable par une méthode de
20 mesure et d'enregistrement continu de la masse de poudre s'écoulant à travers la buse 14 permettant d'accéder à une valeur de débit et à l'associer à une valeur de tension.

Comme illustré à la figure 9, pour réaliser cette mesure, la buse 14 est
25 positionnée au-dessus d'un récipient 52 lui-même positionné sur une balance 54 permettant la mesure en continue de la masse de poudre projetée. La balance 54 peut être une balance KERN® reliée par un port de transmission série RS232 à un ordinateur Raspberry Pi®. Ce dernier reçoit et enregistre à une fréquence d'environ 3Hz la valeur instantanée de
30 masse mesurée par la balance. En parallèle de cet enregistrement, un

ordinateur traite le signal afin de calculer le débit de poudre et sa variation au court du temps.

5 L'ordinateur Raspberry Pi® est équipé d'une liaison Wifi et est configuré pour se comporter comme un point d'accès Wifi dès le démarrage. Ainsi, un réseau Wifi apparait dans la liste des réseaux disponibles des ordinateurs environnants, ce qui leur permet de se connecter directement dessus afin de récupérer les fichiers d'enregistrement et les courbes générées.

10

La balance 52 et le dispositif d'enregistrement fonctionnent par batterie et peuvent donc être intégrés directement à n'importe quelle machine sans aucune modification ou branchement, ce qui est avantageux. Le système peut être utilisé dans un environnement inerte ce qui le rend compatible avec des machines disposants d'une option d'inertage.

15

L'ordinateur est programmé pour détecter l'allumage de la balance 54 et générer un nouveau fichier à chaque allumage ce qui permet de réaliser et séparer efficacement différentes mesures. Le nom du fichier de la mesure en court est affiché sur un petit écran LCD.

20

La présence du Wifi et des batteries permet de faire l'intégralité des mesures porte fermée et donc de supprimer totalement les risques liés à l'utilisation de poudre (cancérogène, inflammable et explosive) pour les opérateurs et la machine lors de la mesure.

25

L'étalonnage du dispositif peut consister à enregistrer la tension du signal avant et après projection de poudre, pour plusieurs débits différents, et à déterminer la loi mathématique du type précité qui régit la relation entre la tension du signal mesuré et le débit de poudre projetée.

30

La figure 10 illustre l'évolution du débit de poudre en fonction du temps. On constate qu'il est sensiblement constant au cours du temps car il respecte la stabilité requise de +/-2% évoquée dans ce qui précède.

5 Plusieurs variantes sont envisageables :

- l'ordinateur et la balance pourraient être rassemblés dans un seul appareil,
- le dispositif pourrait être relié à une source d'alimentation dans la machine et y rester à demeure comme moyen de calibration intégré à la machine,
- l'ordinateur pourrait être celui de la commande numérique de la machine afin d'intégrer totalement le dispositif à la machine ; cependant, la portabilité du système serait perdue,
- l'ordinateur pourrait être n'importe quel autre modèle d'ordinateur qu'un Raspberry pi,
- l'ordinateur pourrait être remplacé par un microcontrôleur,
- la balance pourrait être remplacée par un système présentant moins de latence,
- le Wifi pourrait être remplacé par un câble réseau de type ethernet et d'un passage de câble étanche dans la machine permettant de sécuriser la mesure ; cela nécessite cependant d'apporter une modification à la machine,
- un écran de plus grande dimension pourrait être intégré afin d'afficher en direct les valeurs de débit, la courbe de stabilité et un indicateur de conformité du réglage de la machine aux opérateurs sur la machine,
- le dispositif pourrait recevoir un signal de la part de la machine afin de se synchroniser avec un programme de calibration et/ou de lancer automatiquement une mesure sur demande de la machine,
- le dispositif pourrait envoyer directement une information à la machine afin de lui permettre de corriger la consigne de débit de

compenser automatiquement l'écart avec la valeur mesurée, le réglage ne nécessiterait donc plus d'intervention humaine.

- 5 Le dispositif selon l'invention peut permettre notamment de contrôler la stabilité du débit de poudre projetée en ayant accès à sa variation au cours du temps. Une variante du débit se caractérise par une variation du signal détectée. L'étalonnage du dispositif permet un réglage de ce débit et en particulier d'avoir accès aux valeurs du débit de poudre projetée.

REVENDICATIONS

1. Dispositif (10) de fabrication directe par fusion laser de poudre projetée, comprenant :
 - 5 - une buse (14) de projection d'une poudre métallique,
- au moins un premier émetteur laser (16) configuré pour émettre un premier faisceau laser (18) à une longueur d'onde λ_1 prédéterminée et à une puissance prédéterminée, de façon à faire fondre ladite poudre projetée,
 - 10 caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
- au moins un second émetteur laser (34) configuré pour émettre un second faisceau laser (36) à une longueur d'onde λ_2 à travers la poudre projetée, en sortie de ladite buse, les longueurs d'onde λ_1 et λ_2 étant différentes,
 - 15 - au moins un récepteur (38) configuré pour recevoir ledit second faisceau laser, après sa traversée de la poudre projetée, et
- des moyens (40) de comparaison de l'intensité lumineuse du second faisceau laser reçu par ledit récepteur et de l'intensité lumineuse du second faisceau laser émis par ledit second émetteur, et de détermination
20 du débit de poudre projetée par la buse.
2. Dispositif (10) selon la revendication précédente, dans lequel ledit second faisceau laser (36) est orienté dans une direction sensiblement perpendiculaire à la direction dudit premier faisceau laser (18).
3. Dispositif (10) selon la revendication 1 ou 2 dans lequel il comprend
25 en outre un guide (42) pour le second faisceau laser (36), qui est monté sur ladite buse et qui est configuré pour guider le second faisceau laser depuis ledit second émetteur (34) jusqu'audit récepteur (38).
4. Dispositif (10) selon la revendication précédente, dans lequel ledit guide (42) comprend une première portion (42a) s'étendant depuis ledit
30 second émetteur jusqu'à une sortie de poudre (28) de la buse (14), et une

seconde portion (42b) s'étendant depuis la sortie de poudre de la buse jusqu'audit récepteur (38).

5 5. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel la sortie (28) de ladite buse (14) est située dans un premier plan (P1) perpendiculaire audit premier faisceau (18), ledit second émetteur (34) et ledit récepteur (38) étant situés dans un second plan (P2) qui est parallèle et à distance dudit premier plan.

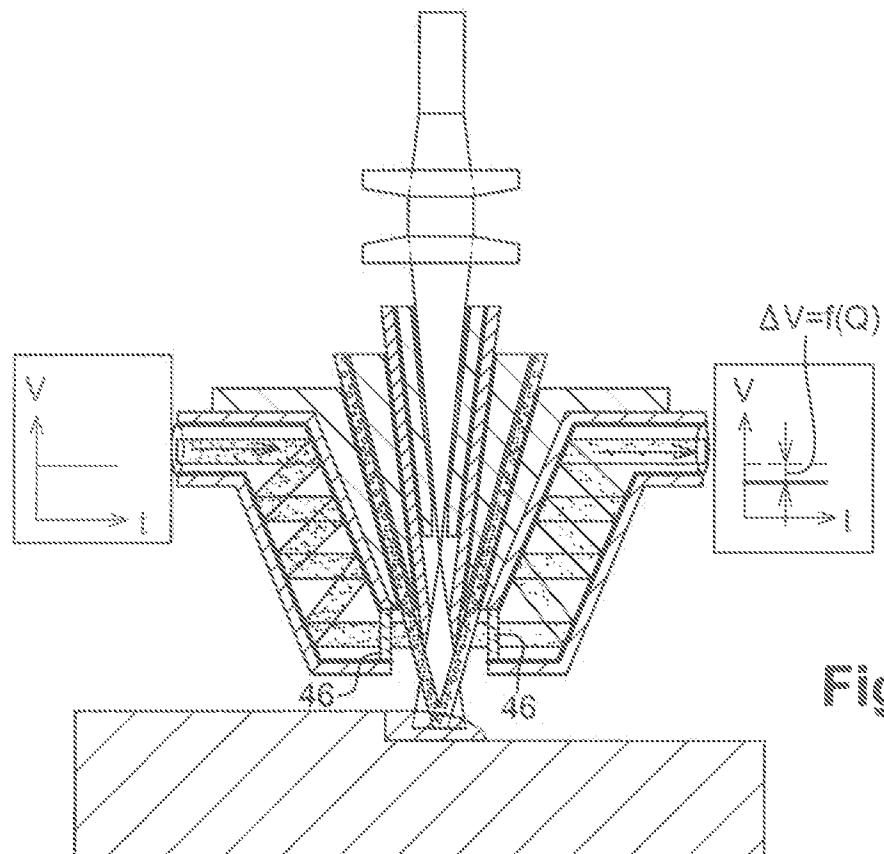
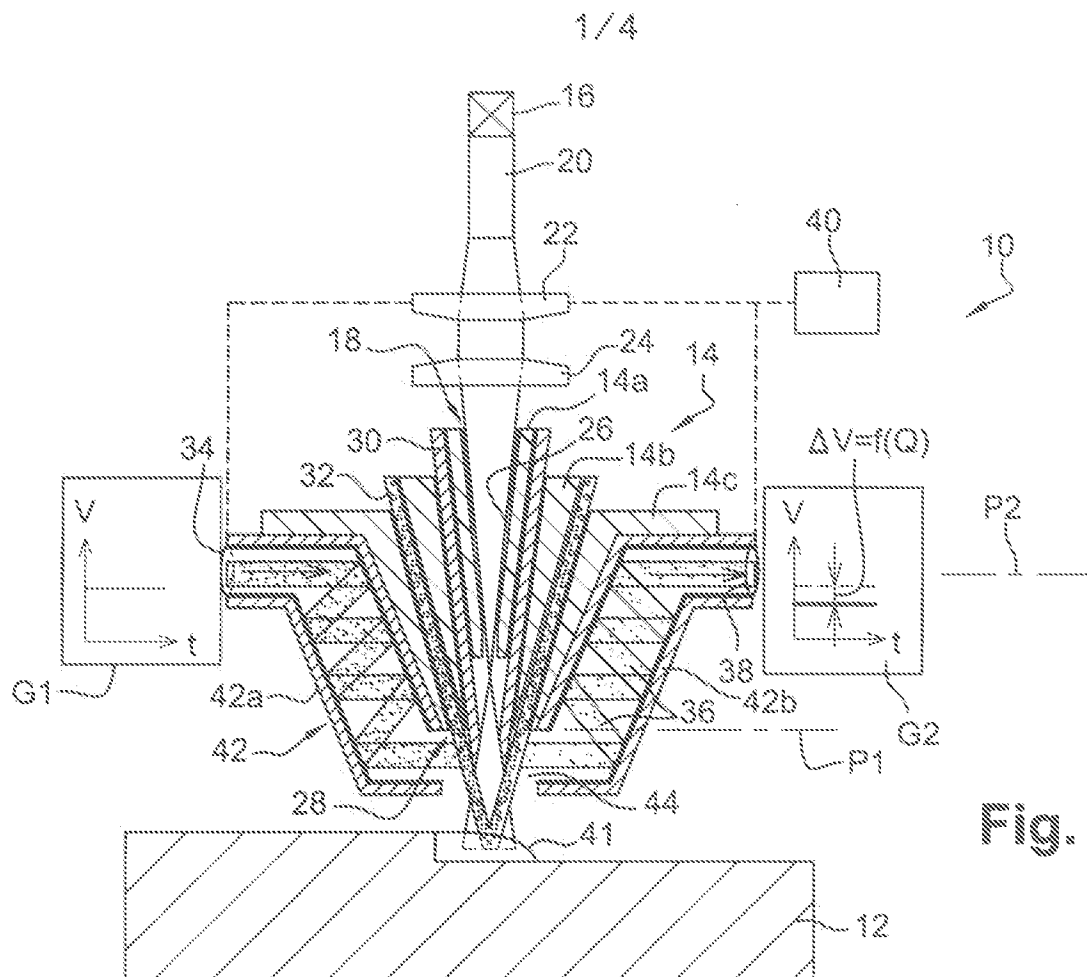
10 6. Dispositif (10) selon la revendication 4 ou 5, dans lequel ladite buse (14) a une forme conique ou tronconique dont une extrémité de plus petit diamètre forme la sortie de poudre (28), lesdites première et seconde portions (42a, 42b) du guide étant positionnées de façon à définir entre eux un espace (44) de passage de la poudre projetée qui est situé au niveau de ladite extrémité de plus petit diamètre.

15 7. Dispositif (10) selon la revendication 6, dans lequel au moins un bloc (46) de matériau transparent audit second faisceau (36) est monté au niveau dudit espace (44) pour empêcher l'introduction de poudre dans ledit guide (42).

20 8. Dispositif (10) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite buse (14) comprend plusieurs cônes (14a, 14b, 14c) coaxiaux montés les uns à l'intérieur des autres et définissant entre eux un passage annulaire interne (30) d'éjection d'un flux de gaz protecteur autour dudit premier faisceau (18), et un passage annulaire externe (32) de projection de ladite poudre.

25 9. Procédé de fabrication directe par fusion laser de poudre projetée, au moyen d'un dispositif (10) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel il comprend la fabrication d'une pièce par fabrication additive sur un support (12) et la détermination du débit de poudre projetée par la buse (14) simultanément à la fabrication ou postérieurement à la fabrication.

30 10. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la pièce fabriquée est une pièce d'un moteur d'aéronef.



2 / 4

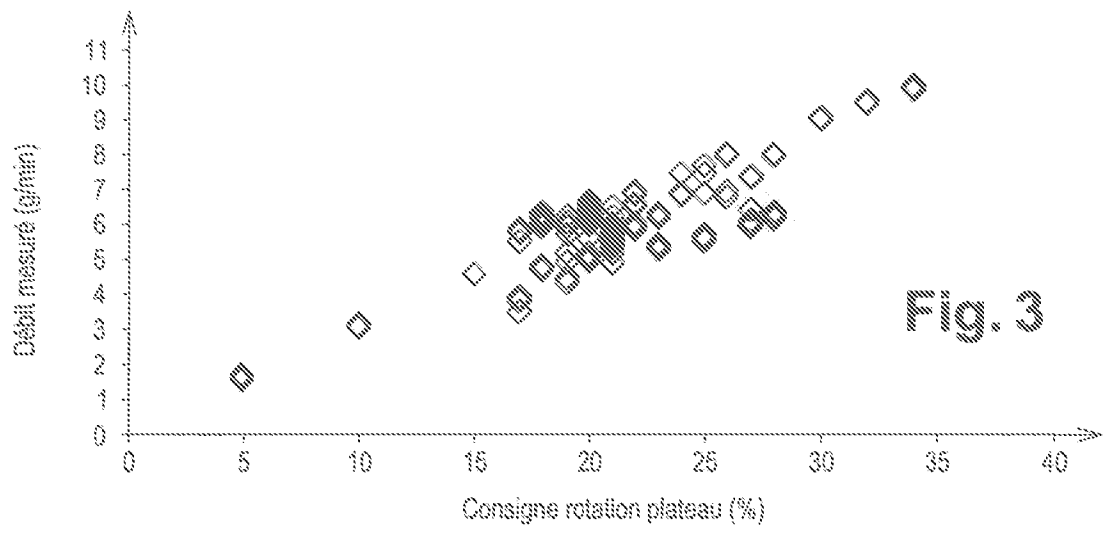


Fig. 3

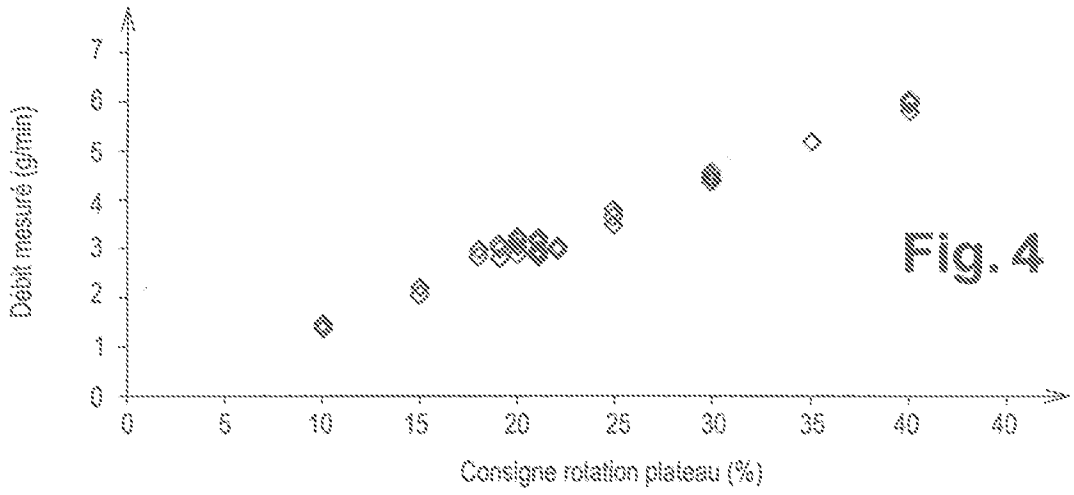


Fig. 4

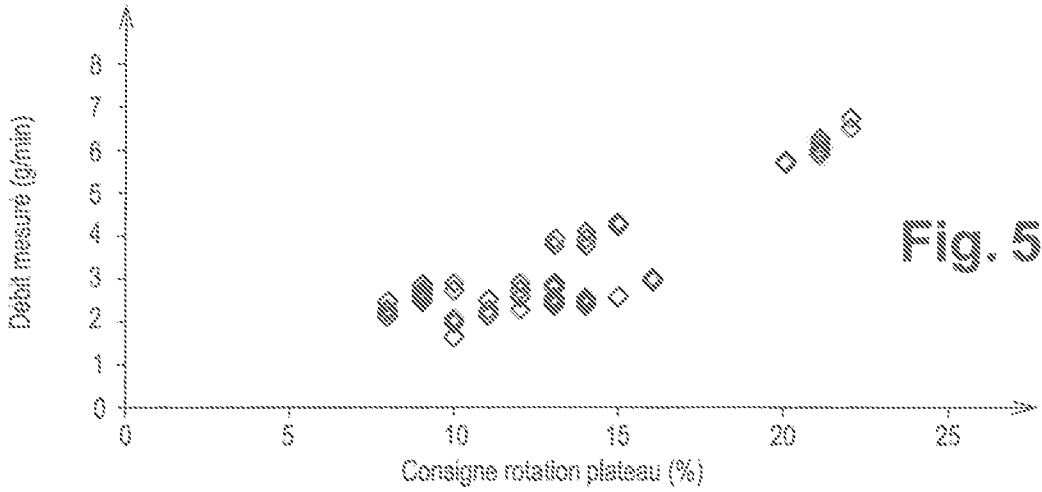


Fig. 5

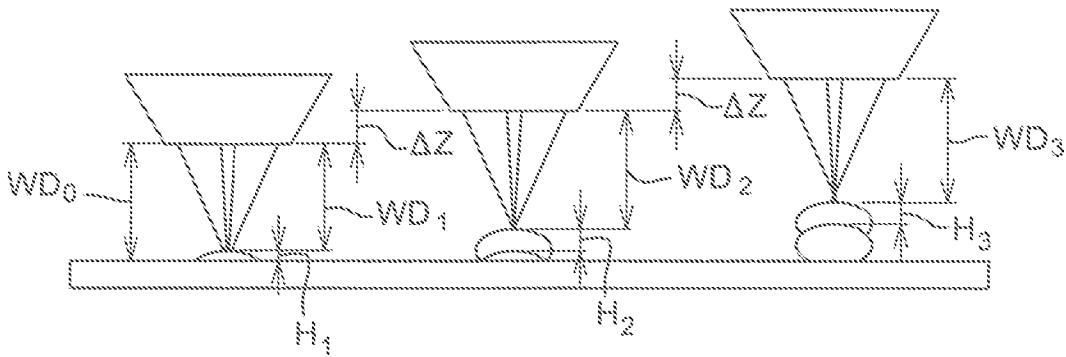


Fig. 6

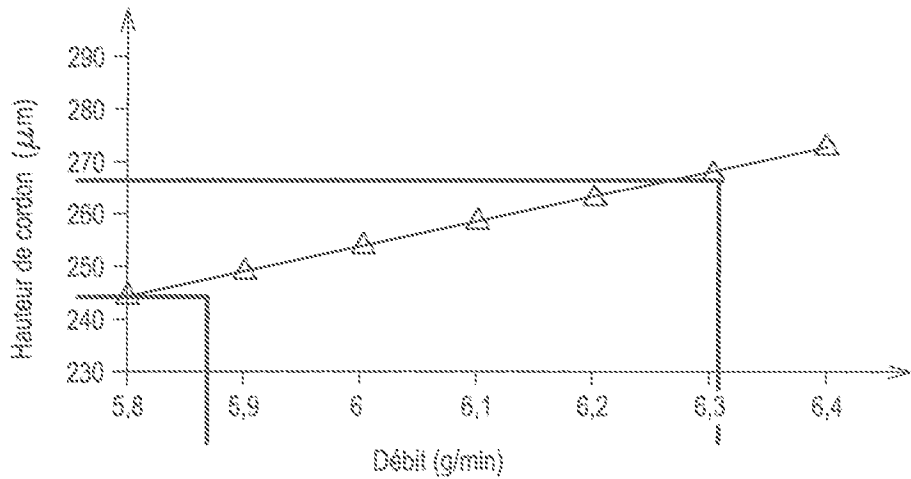


Fig. 7

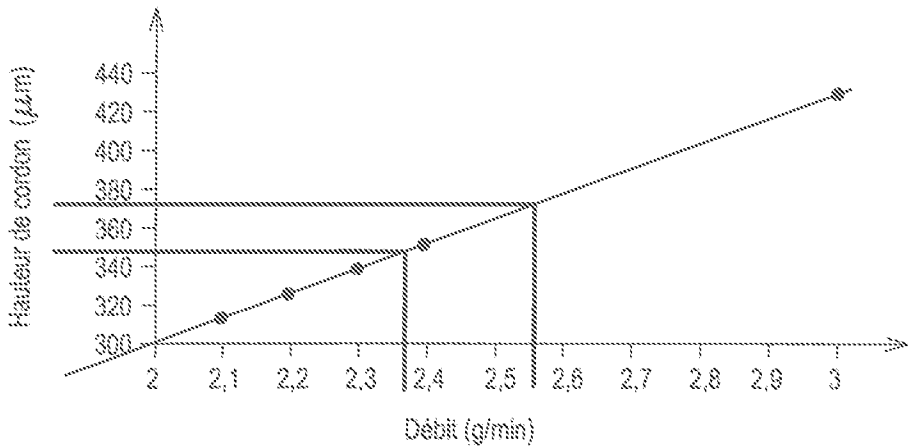


Fig. 8

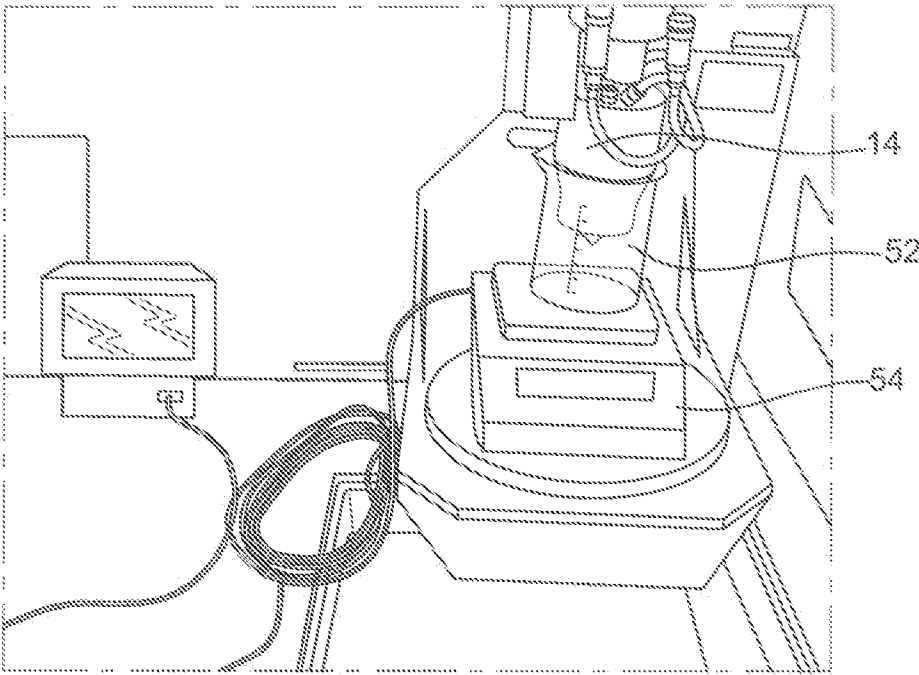


Fig. 9

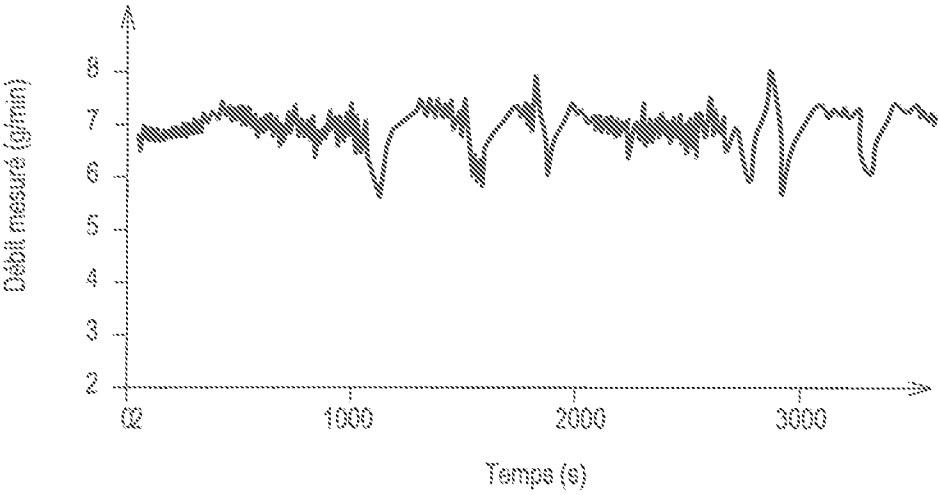


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2019/051533**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

B22F 3/00(2006.01)i; **B22F 3/105**(2006.01)i; **G05B 19/4099**(2006.01)i; **B33Y 10/00**(2015.01)i; **B33Y 30/00**(2015.01)i; **B33Y 50/02**(2015.01)i; **B23K 26/34**(2014.01)i; **B23K 26/342**(2014.01)i; **B23K 26/144**(2014.01)i; **B29C 64/153**(2017.01)i; **B29C 64/209**(2017.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B22F; G05B; B33Y

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2017297107 A1 (OKA MASAKI [JP] ET AL) 19 October 2017 (2017-10-19) abstract paragraph [0002] paragraph [0010] paragraphs [0024], [0025], [0028] paragraph [0032] paragraph [0033] - paragraph [0035] paragraph [0037] - paragraph [0040] paragraph [0041] - paragraph [0052] paragraph [0060] - paragraph [0063] paragraph [0053] - paragraph [0059] figure 5 figure 6 figure 9	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 September 2019

Date of mailing of the international search report

01 October 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

**European Patent Office
 p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
 Netherlands**

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Ugarte, Eva

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2019/051533

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2685922 A1 (STRASBOURG ELEC [FR]; INST RGL PROMOTION RECH APPLIQ [FR]) 09 July 1993 (1993-07-09) page 1, lines 17-21 page 2, lines 25-31; figures 1-3 page 3, line 1 - page 4, line 2 the whole document	1-10
A	CN 105136752 A (UNIV TSINGHUA) 09 December 2015 (2015-12-09) abstract; figures 1,2	1
A	US 2004133298 A1 (TOYSERKANI EHSAN [CA] ET AL) 08 July 2004 (2004-07-08) paragraph [0011] - paragraph [0015] paragraph [0024]; figure 1 paragraph [0037] - paragraph [0043] paragraph [0052] - paragraph [0056] claim 1	1-10
A	US 2017266727 A1 (NISHINO TOMOKO [JP] ET AL) 21 September 2017 (2017-09-21) abstract figures 1-3	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2019/051533

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2017297107	A1	19 October 2017	CN	107297498	A	27 October 2017
				DE	102017206001	A1	19 October 2017
				JP	6412049	B2	24 October 2018
				JP	2017190505	A	19 October 2017
				US	2017297107	A1	19 October 2017
FR	2685922	A1	09 July 1993	AT	129934	T	15 November 1995
				DE	69300757	D1	14 December 1995
				DE	69300757	T2	27 June 1996
				EP	0574580	A1	22 December 1993
				ES	2082651	T3	16 March 1996
				FR	2685922	A1	09 July 1993
				JP	H06507679	A	01 September 1994
				US	5418350	A	23 May 1995
				WO	9313871	A1	22 July 1993
CN	105136752	A	09 December 2015	NONE			
US	2004133298	A1	08 July 2004	AU	2003278047	A1	25 May 2004
				CA	2504368	A1	13 May 2004
				US	2004133298	A1	08 July 2004
				WO	2004039531	A2	13 May 2004
US	2017266727	A1	21 September 2017	CN	106604810	A	26 April 2017
				DE	112015004212	T5	29 June 2017
				JP	5905060	B1	20 April 2016
				JP	2016060063	A	25 April 2016
				US	2017266727	A1	21 September 2017
				WO	2016042794	A1	24 March 2016

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2019/051533

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B22F3/00 B22F3/105 G05B19/4099 B33Y10/00 B33Y30/00 B33Y50/02 B23K26/34 B23K26/342 B23K26/144 B29C64/153 B29C64/209		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) B22F G05B B33Y		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2017/297107 A1 (OKA MASAKI [JP] ET AL) 19 octobre 2017 (2017-10-19) abrégé alinéa [0002] alinéa [0010] alinéas [0024], [0025], [0028] alinéa [0032] alinéa [0033] - alinéa [0035] alinéa [0037] - alinéa [0040] alinéa [0041] - alinéa [0052] alinéa [0060] - alinéa [0063] alinéa [0053] - alinéa [0059] figure 5 figure 6 figure 9 ----- -/-	1-10
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 24 septembre 2019		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 01/10/2019
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Ugarte, Eva

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 685 922 A1 (STRASBOURG ELEC [FR]; INST RGL PROMOTION RECH APPLIQ [FR]) 9 juillet 1993 (1993-07-09) page 1, lignes 17-21 page 2, lignes 25-31; figures 1-3 page 3, ligne 1 - page 4, ligne 2 le document en entier -----	1-10
A	CN 105 136 752 A (UNIV TSINGHUA) 9 décembre 2015 (2015-12-09) abrégé; figures 1,2 -----	1
A	US 2004/133298 A1 (TOYSERKANI EHSAN [CA] ET AL) 8 juillet 2004 (2004-07-08) alinéa [0011] - alinéa [0015] alinéa [0024]; figure 1 alinéa [0037] - alinéa [0043] alinéa [0052] - alinéa [0056] revendication 1 -----	1-10
A	US 2017/266727 A1 (NISHINO TOMOKO [JP] ET AL) 21 septembre 2017 (2017-09-21) abrégé figures 1-3 -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2019/051533

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2017297107	A1	19-10-2017	CN 107297498 A	27-10-2017
			DE 102017206001 A1	19-10-2017
			JP 6412049 B2	24-10-2018
			JP 2017190505 A	19-10-2017
			US 2017297107 A1	19-10-2017

FR 2685922	A1	09-07-1993	AT 129934 T	15-11-1995
			DE 69300757 D1	14-12-1995
			DE 69300757 T2	27-06-1996
			EP 0574580 A1	22-12-1993
			ES 2082651 T3	16-03-1996
			FR 2685922 A1	09-07-1993
			JP H06507679 A	01-09-1994
			US 5418350 A	23-05-1995
			WO 9313871 A1	22-07-1993

CN 105136752	A	09-12-2015	AUCUN	

US 2004133298	A1	08-07-2004	AU 2003278047 A1	25-05-2004
			CA 2504368 A1	13-05-2004
			US 2004133298 A1	08-07-2004
			WO 2004039531 A2	13-05-2004

US 2017266727	A1	21-09-2017	CN 106604810 A	26-04-2017
			DE 112015004212 T5	29-06-2017
			JP 5905060 B1	20-04-2016
			JP 2016060063 A	25-04-2016
			US 2017266727 A1	21-09-2017
			WO 2016042794 A1	24-03-2016
