

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①① N° de publication : **3 044 944**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **15 62291**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **B 22 F 12/58** (2020.12), B 22 F 3/105, B 33 Y 10/00,  
B 33 Y 30/00, B 33 Y 40/00, B 22 F 10/34

⑫

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤④ DISPOSITIF ET PROCÉDE POUR LA FABRICATION D'UNE PIÈCE TRIDIMENSIONNELLE  
PAR FUSION SELECTIVE SUR LIT DE POUDRE.

②② Date de dépôt : 14.12.15.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 16.06.17 Bulletin 17/24.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 16.07.21 Bulletin 21/28.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SNECMA Société anonyme* — FR.

⑦② Inventeur(s) : MOTTIN JEAN-BAPTISTE et  
FRIBOURG GUILLAUME.

⑦③ Titulaire(s) : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES Société  
par actions simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

**FR 3 044 944 - B1**



### Arrière-plan de l'invention

La présente invention se rapporte au domaine général de la réalisation de pièces par fabrication additive. L'invention s'applique plus particulièrement aux procédés de fabrication de pièces tridimensionnelles à gradient de propriétés par fusion sélective sur lit de poudre.

Les pièces à gradient de propriétés sont des pièces qui comprennent des portions ayant des propriétés différentes, par exemple des matériaux différents, une structure granulaire différente, etc.

On cherche de plus en plus à fabriquer des pièces présentant des propriétés variées notamment pour optimiser leur masse et/ou leur fiabilité. Par exemple, on peut choisir un matériau adapté à chaque portion de la pièce, en fonction des sollicitations environnementales et thermomécaniques auxquelles la portion sera soumise. Ainsi, on peut augmenter la fiabilité de la pièce en optimisant les propriétés de chaque portion, et dans certains cas réduire la masse globale en choisissant pour les portions qui le permettent des matériaux plus légers.

Une telle réduction de la masse des pièces est désirable dans le domaine aéronautique, où les problématiques actuelles concernent précisément la réduction de la masse embarquée dans les turbomoteurs, pour réduire la consommation de carburant.

Cependant, la fabrication d'une telle pièce est généralement difficile. Par exemple, les moyens de fabrication de pièces métalliques ou en alliage métallique traditionnels, tels que la fonderie ou l'usinage, ne permettent généralement pas leur réalisation. Lorsque l'on souhaite fabriquer une pièce à gradient de propriétés, il est d'usage de diviser la pièce en sous-pièces présentant des propriétés différentes, puis de les coller ou de les braser entre elles. De telles pratiques sont longues et coûteuses.

Les dispositifs utilisés pour fabriquer des pièces par fabrication additive, par exemple par fusion sélective sur lit de poudre (du type « Selective Laser Melting » ou « Electron Beam Melting »), permettent de réaliser des pièces tridimensionnelles complexes d'un seul tenant plus simplement, et à moindre coût par rapport aux procédés traditionnels précités. A l'heure actuelle, ces dispositifs et les procédés de fabrication associés ne permettent pas de fabriquer des pièces à gradient de propriétés.

### Objet et résumé de l'invention

La présente invention a donc pour but principal de permettre la fabrication de pièces à gradient de propriétés par fabrication additive, et plus particulièrement par fusion sélective sur lit de poudre, afin notamment d'obtenir un meilleur rapport entre la fiabilité de la pièce et sa masse.

Ce but est atteint grâce à un dispositif pour la fabrication d'une pièce tridimensionnelle par fusion sélective sur lit de poudre, le dispositif comprenant :

- un premier réservoir destiné à contenir une première poudre, ledit réservoir étant muni d'une première vanne de distribution de poudre,
- au moins un deuxième réservoir destiné à contenir une deuxième poudre différente de la première poudre, ledit réservoir étant muni d'une deuxième vanne de distribution de poudre,
- des moyens de contrôle de la quantité de première poudre délivrée par la première vanne,
- des moyens de contrôle de la quantité de deuxième poudre délivrée par la deuxième vanne,
- une chambre de mélange en communication sélective avec les première et deuxième vannes, ladite chambre comprenant une troisième vanne de distribution de poudre et des moyens pour mélanger les particules poudre contenues dans ladite chambre,
- un support destiné à recevoir de la poudre délivrée par la troisième vanne et sur lequel est destinée à être fabriquée la pièce,
- des moyens d'étalement de poudre sur le support, et
- un organe de chauffage destiné à fusionner localement de la poudre étalée sur le support.

Le dispositif selon l'invention est avantageux en ce qu'il permet de fabriquer une pièce d'un seul tenant qui présente des portions dont les propriétés peuvent être différentes, et assurer une transition sous la forme d'un gradient de propriétés entre ces portions.

La pièce est, de façon connue en soit, fabriquée par un empilement de couches successives et solidaires de poudre fusionnée sélectivement. Le dispositif selon l'invention permet de faire varier la composition de chaque couche au fur et à mesure de la fabrication de la

pièce. En effet, on peut remplir les réservoirs avec deux poudres différentes, par exemple deux poudres comprenant des matériaux différents ou un matériau identique mais une granulométrie différente, et choisir, pour chaque couche, la proportion de chaque poudre qui sera  
5 présente dans la couche. On peut ainsi augmenter la fiabilité de la pièce en assurant une transition de propriétés sous la forme d'un gradient de composition entre les différentes portions de la pièce, le gradient étant réalisé dans le sens de fabrication de la pièce. En outre, on peut également optimiser la masse de la pièce obtenue en choisissant le  
10 meilleur matériau ou la meilleure granulométrie adapté à chaque portion, en fonction des sollicitations auxquelles elle sera soumise en fonctionnement.

Les réservoirs sont munis de vannes de distribution de poudre et le dispositif comprend des moyens de contrôle de la quantité de poudre  
15 qu'elles délivrent. Ainsi, on peut par exemple asservir à l'aide d'un automate, les vannes de distribution de poudre pour obtenir une quantité de poudre déterminée dans la chambre de mélange et assurer un contrôle précis de la composition de chaque couche qui sera fusionnée par l'organe de chauffage sur le support.

20 Le dispositif selon l'invention est également remarquable en ce qu'il permet de mélanger les poudres dans la chambre de mélange avant leur dépôt, ce qui assure que la poudre déposée est homogène.

De préférence, le dispositif comprend en outre des moyens de contrôle de la quantité de poudre ou d'un mélange de poudres délivrée  
25 par la troisième vanne.

Les moyens de contrôle peuvent comprendre une balance destinée à peser de la poudre.

De préférence également, les moyens pour mélanger les particules de poudre contenues dans la chambre de mélange comprennent  
30 un orifice d'entrée et un orifice de sortie de flux gazeux à l'intérieur de la chambre de mélange, lesdits orifices d'entrée et de sortie de flux gazeux étant configurés pour faire circuler un gaz dans la chambre de mélange afin de mélanger la poudre contenue dans ladite chambre. En outre, la sortie de gaz peut comprendre des moyens pour empêcher à de la poudre  
35 présente dans la chambre de mélange de sortir de ladite chambre.

Les moyens pour mélanger les particules de poudre contenues dans la chambre de mélange peuvent comprendre un pétrin ou une hélice.

De préférence encore, une vanne de distribution de poudre est pilotée par un actionneur piézoélectrique ou un actionneur hydraulique. En outre, la vanne de distribution de poudre peut être asservie à l'aide des moyens de contrôle de la quantité de poudre délivrée par ladite vanne.

Les moyens d'étalement de poudre peuvent comprendre un rouleur ou un racleur.

L'organe de chauffage peut comprendre un laser ou un générateur de faisceau d'électrons.

L'invention vise également un procédé de fabrication d'une pièce tridimensionnelle par fusion sélective sur lit le poudre, la pièce comprenant un empilement successif de couches, le procédé comprenant, pour la fabrication d'une couche, les étapes suivantes :

- a) délivrance d'une quantité contrôlée d'une première poudre à partir d'un premier réservoir,
- b) délivrance d'une quantité contrôlée d'une deuxième poudre différente de la première à partir d'un deuxième réservoir,
- c) mélange des première et deuxième poudres délivrées aux étapes a) et b),
- d) dépôt d'une couche du mélange des première et deuxième poudres obtenu à l'étape c), et
- e) fusion d'au moins une partie de la couche de poudre déposée à l'étape d).

Comme mentionné précédemment en lien avec le dispositif de l'invention, le procédé selon l'invention est notamment remarquable en ce qu'on mélange les première et deuxième poudres délivrées avant de les déposer. Cela permet notamment d'obtenir une couche de poudre déposée qui est homogène, et de réaliser des couches comportant un mélange de plusieurs poudres. Dans le procédé selon l'invention, la première poudre est différente de la deuxième. Par « différentes » on entend qu'elles peuvent comprendre un matériau différent ou une granulométrie différente, par exemple les deux poudres peuvent comprendre un même matériau mais avoir des granulométries différentes, ou comprendre un matériau différent et une granulométrie identique, ou encore comprendre des matériaux et des granulométries différents. En

outre, les quantités de première poudre et de deuxième poudre délivrées à partir des réservoirs sont contrôlées, par exemple à l'aide de moyens de contrôle tels qu'une balance, ce qui permet d'obtenir des gradients de composition précis.

5 La quantité contrôlée de première poudre et/ou la quantité contrôlée de deuxième poudre peut varier entre deux couches successives.

L'invention vise enfin un procédé tel que celui décrit précédemment dans lequel la pièce à fabriquer est une pièce pour  
10 l'aéronautique. Par « pièce pour l'aéronautique » on entend une pièce pouvant être utilisée dans un turboréacteur destiné à propulser un aéronef, par exemple : une aube de turbomachine aéronautique, des secteurs d'anneaux de turbine, un disque de turbine, un système d'injection de chambre à combustion aéronautique, un composant de  
15 système d'injection aéronautique, une bride, un système de bridage, un support d'équipements moteur un capot, etc.

#### Brève description des dessins

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention  
20 ressortiront de la description faite ci-dessous, en référence aux dessins annexés qui en illustrent des exemples de réalisation dépourvu de tout caractère limitatif. Sur les figures :

- la figure 1 est une vue schématique en coupe d'un dispositif selon un mode de réalisation de l'invention,

25 - la figure 2 est un ordinogramme représentant les principales étapes d'un procédé selon l'invention, et

- les figures 3A à 3C illustrent un premier exemple d'application de l'invention pour la fabrication d'une aube de turbine, et

30 - les figures 4A et 4B illustrent un deuxième exemple d'application de l'invention pour la fabrication un disque de turbine basse pression.

#### Description détaillée de l'invention

Un mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention va être  
35 décrit en lien avec la figure 1. Un tel dispositif permet de fabriquer une pièce par fusion sélective sur lit de poudre à gradient de propriétés.

Le dispositif 1 comprend tout d'abord un bâti dont une partie est un plateau fixe 2, une autre partie comprend une zone de fabrication 3 située à côté du plateau fixe 2 dans laquelle la pièce est destinée à être fabriquée, et un réservoir de récupération de poudre 4 situé à côté de la zone de fabrication 3 et à l'opposé du plateau fixe 2.

La zone de fabrication 3 est munie d'un support 5 mobile destiné à recevoir de la poudre et sur lequel sera fabriquée une pièce 6. Le support 5 prend ici la forme d'un plateau apte à se déplacer verticalement au fur et à mesure de la fabrication de la pièce 6. Le support 5 peut par exemple être monté sur un vérin hydraulique. Avant de commencer la fabrication d'une pièce, les surfaces supérieures du plateau fixe 2 et du support 5 sont alignées horizontalement.

Le dispositif 1 comprend en outre un organe de distribution de poudre 7 à l'intérieur duquel sont disposés un premier 8 et un deuxième 9 réservoir de poudre. De façon générale, le premier réservoir 8 comprend une première poudre, et le deuxième réservoir 9 comprend une deuxième poudre, différente de la première. Les réservoirs 8, 9 sont situés en partie haute dans l'organe de distribution de poudre 7.

A titre d'exemple, les deux réservoirs peuvent contenir deux poudres différentes, par exemple comprenant des matériaux différents et de granulométries identiques, ou comprenant un matériau identique et de granulométries différentes, ou encore comprenant des matériaux différents et de granulométries différentes.

Dans le cas où le premier réservoir contient un alliage métallique et le deuxième réservoir un métal pur, il devient possible de modifier la composition de l'alliage à l'aide du métal pur au cours du procédé de fabrication et selon les besoins.

Dans le cas où le premier réservoir contient une poudre de granulométrie donnée, et où le deuxième réservoir contient la même poudre avec une granulométrie plus faible, il devient possible de contrôler la densité de la pièce obtenue en jouant sur la quantité de poudre provenant du deuxième réservoir. En effet, en ajoutant plus de poudre du deuxième réservoir, dont les grains sont plus petits, on augmente la densité de la pièce.

Dans le cas où le premier réservoir contient une poudre d'un premier matériau, et où le deuxième réservoir contient une poudre d'un

deuxième matériau différent du premier mais compatible chimiquement avec le premier, il devient possible de réaliser une pièce comprenant deux matériaux avec un gradient de composition entre les deux matériaux (ou, en d'autres termes, une transition « douce » entre les deux matériaux).

5 Cela permet d'augmenter la fiabilité de la pièce et sa tenue.

Chacun des réservoirs 8, 9 est muni d'une vanne de distribution de poudre 8a, 9a, au niveau de son extrémité inférieure. Ces vannes de distribution de poudre 8a, 9a sont ici en communication avec une chambre de mélange 10 prenant la forme d'une cavité logée dans une partie basse  
10 de l'organe de distribution de poudre 7. De la sorte, les réservoirs 8, 9 sont ici situés au-dessus de la chambre de mélange 10.

A titre d'exemple, la chambre de mélange 10 peut présenter un volume compris de préférence entre  $0,5 \text{ cm}^3$  et  $10 \text{ cm}^3$ , voire entre  $0,5 \text{ cm}^3$  et  $100 \text{ cm}^3$ , de manière à stocker la quantité de poudre nécessaire  
15 pour réaliser une couche de poudre sur le support 5. Bien entendu, le volume de la chambre de mélange sera adapté à l'utilisation, notamment à la surface du support 5 et aux épaisseurs de couches envisagées.

L'organe de distribution de poudre 7 comprend en outre des moyens pour contrôler la quantité de poudre délivrée par les vannes de distribution 8a, 9a. Ces moyens prennent, dans l'exemple illustré, la forme de balances 8b, 9b aptes à peser de la poudre, qui sont par exemple situées au-dessous des vannes de distribution de poudre 8a, 9a correspondantes. Ces balances 8b, 9b peuvent être connectées à un système d'asservissement (non représenté) des vannes de distribution de  
20 poudre 8a, 9a correspondantes, afin de contrôler les quantités de poudre délivrées par chacune d'elles précisément et de façon automatique.

La chambre de mélange 10 a ici une forme sensiblement conique et est également munie d'une vanne de distribution de poudre 10a située à son extrémité inférieure. L'organe de distribution de poudre 7  
30 est positionné de telle sorte que la vanne 10a de la chambre de mélange 10 se trouve au-dessus du plateau fixe 2. Par ailleurs, dans l'exemple illustré, le plateau fixe 2 comprend une balance 10b apte à peser la poudre délivrée par la vanne 10a, qui peut, comme précédemment, asservir la vanne 10a par un système d'asservissement non représenté.

35 A titre d'exemple, les vannes de distribution de poudre 8a, 9a, 10a peuvent être pilotées par un actionneur piézoélectrique ou un

actionneur hydraulique. Les balances 8b, 9b, 10b peuvent quant à elle être des balances électroniques présentant préférentiellement une sensibilité à 0,1g, plus préférentiellement une sensibilité à 0,01g ou encore plus préférentiellement une sensibilité à 0,001g.

5           La chambre de mélange 10 comprend également des moyens pour mélanger les particules de poudre qu'elle contient. Ces moyens comprennent, dans l'exemple illustré, un orifice d'entrée 11a et un orifice de sortie 11b de flux gazeux qui débouchent dans la chambre de mélange 10. Un gaz est destiné à entrer dans la chambre 10 par l'orifice d'entrée 10 11a, à circuler dans la chambre pour assurer le mélange des poudres, puis à sortir de la chambre par l'orifice de sortie 11b. L'orifice de sortie 11b peut comprendre un capot de protection 11c empêchant à de la poudre de s'échapper de la chambre de mélange 10 par l'orifice de sortie 11b. On notera qu'il peut y avoir plusieurs orifices d'entrée 11a et de sortie 11b, 15 notamment afin de contrôler le trajet du flux gazeux dans la chambre de mélange.

          Les moyens pour mélanger les particules de poudre contenues dans la chambre de mélange 10 peuvent également être mécaniques, et consister par exemple en un pétrin ou une hélice (non représentés) 20 actionné par un moteur électrique. Une combinaison des moyens pour mélanger les particules de poudre décrits précédemment est aussi envisageable au sein d'un même dispositif.

          Dans l'exemple illustré, l'organe de distribution de poudre 7 est fixe, ainsi que la chambre de mélange 10 qui est située en permanence 25 au-dessous des réservoirs 8, 9 de poudre. On notera que l'invention ne se limite pas à des réservoirs 8, 9 fixes ou une chambre de mélange 10 fixe, mais que ces éléments peuvent être mobiles dans le dispositif 1. En d'autres termes, la chambre de mélange 10 peut être en communication sélective avec les vannes 8a, 9a et se déplacer pour récupérer 30 successivement de la poudre depuis un réservoir, puis depuis l'autre réservoir. En outre, le nombre de réservoirs n'est pas limité à deux et on ne sort pas du cadre de l'invention en utilisant plus de deux réservoirs de poudre.

          Le dispositif 1 comprend également des moyens d'étalement de 35 poudre sur le support. Dans l'exemple illustré, ces moyens comprennent un rouleau 12 (ou un racleur) qui peut se déplacer horizontalement depuis

une extrémité du plateau fixe 2 jusqu'au réservoir de récupération de poudre 4. Ce rouleau 12 peut être réglable en hauteur de façon à contrôler l'épaisseur de la couche de poudre déposée sur le support 5. En position initiale, le rouleau 12 est situé à proximité de la vanne 10a, à l'opposé du support 5, de façon à pouvoir pousser de la poudre délivrée par la vanne 10a et à l'étaler sur le support 5.

De plus, le dispositif 1 comprend un organe de chauffage 13 destiné à fusionner de la poudre déposée sur le support 5. Dans l'exemple illustré, l'organe de chauffage comprend une portion génératrice 13a d'un faisceau laser ou d'un faisceau d'électrons, et une portion de guidage 13b du faisceau laser ou du faisceau d'électron. Dans le cas d'un laser, la portion de guidage 13b peut comprendre des moyens optiques (par exemple des miroirs mobiles) qui permettent de déplacer le faisceau laser sur le support 5. Dans le cas d'un faisceau d'électrons, la portion de guidage 13b peut comprendre des bobines aptes à dévier le faisceau d'électrons.

Enfin, le dispositif 1 peut être contrôlé de façon automatique par un automate (non représenté), qui sera chargé de contrôler le support 5, l'organe de distribution de poudre 7 (et notamment l'asservissement des vannes de distribution de poudre 8a, 9a, 10a) et l'organe de chauffage 13.

Un procédé de fabrication d'une pièce tridimensionnelle par fusion sélective sur lit de poudre va maintenant être décrit en lien avec l'ordinogramme de la figure 2, et le dispositif de la figure 1.

De façon connue en soi, dans un procédé de fabrication d'une pièce par fusion sélective sur lit de poudre, on dispose d'une quantité de poudre que l'on dépose ou étale uniformément à l'aide de moyens d'étalement sur le support 5, puis l'organe de chauffage 13 fusionne certaines parties de la couche de poudre déposée sur le support 5. Les étapes précédentes sont répétées pour obtenir la pièce finale.

Dans le procédé selon l'invention, pour fabriquer une couche de la pièce, on obtient tout d'abord une quantité de première poudre (étape E1a). Cette quantité de première poudre est par exemple issue d'un premier réservoir 8, et a été délivrée dans la chambre de mélange 10 à l'aide de la vanne de distribution de poudre 8a associée au premier réservoir 8. On peut contrôler la quantité délivrée dans la chambre 10 à l'aide par exemple d'une balance 8b.

Puis, on obtient une quantité d'une deuxième poudre (étape E1b), la deuxième poudre étant différente de la première (par exemple d'un matériau différent ou d'une granulométrie différente). Cette quantité de deuxième poudre est par exemple issue d'un deuxième réservoir 9, et a  
5 été délivrée dans la chambre de mélange 10 à l'aide de la vanne de distribution de poudre 9a associée au deuxième réservoir 9. On peut contrôler la quantité délivrée dans la chambre 10 à l'aide par exemple d'une balance 9b. Les étapes E1a et E1b peuvent être réalisées simultanément, ou successivement.

10 Une fois les quantités des deux poudres dans la chambre de mélange 10, elles sont mélangées dans la chambre 10 (étape E2). Par exemple, on fait circuler un gaz neutre comme de l'Argon dans la chambre à l'aide des orifices d'entrée 11a et de sortie 11b de flux de gaz, pendant une durée suffisante pour que le mélange soit homogène. En variante, on  
15 peut utiliser des moyens mécaniques tels qu'un pétrin ou une hélice, comme décrit précédemment.

La poudre mélangée obtenue est ensuite déversée depuis la chambre de mélange 10 sur le plateau fixe 2 au moyen de la vanne de distribution 10a. Une balance 10b, éventuellement présente au-dessous de  
20 la vanne 10a permet de contrôler la quantité du mélange de poudres délivrée (étape E3).

Ensuite, le mélange de poudre obtenu est déposé sur le support 5 (étape E4). Pour ce faire, le rouleau 12 (ou un autre moyen d'étalement), se déplace en direction du support 5 en entraînant avec lui  
25 la poudre délivrée par la vanne 10a. Le support 5 a préalablement été abaissé d'une hauteur correspondant à l'épaisseur voulue pour une couche. Le rouleau 12 étale uniformément la poudre sur le support et entraîne l'éventuel surplus de poudre vers le réservoir de récupération 4.

Avant que le rouleau 12 ne reprenne sa position initiale, l'organe  
30 de chauffage 13 est activé et fusionne sélectivement des parties de la couche de poudre déposée sur le support 5 (étape E5), pour former une tranche de la pièce à fabriquer.

Enfin, le rouleau 12 retourne à sa position initiale, et les étapes  
35 précédentes peuvent être répétées pour chaque couche. Pour réaliser des gradients de composition dans la pièce, il est avantageux de faire varier

les quantités de première et/ou de deuxième poudre entre deux couches successives.

On notera que le procédé selon l'invention peut être utilisé pour fabriquer seulement une partie d'une pièce, l'autre partie de la pièce  
5 pouvant être fabriquée, de façon connue en soi, en utilisant un seul type de poudre.

Des exemples d'application d'un procédé selon l'invention vont maintenant être décrits pour la fabrication de pièces pour l'aéronautique, et notamment d'une aube de turbine (Exemple 1) et d'un disque de  
10 turbine basse pression (Exemple 2).

### Exemple 1

On s'intéresse à la fabrication d'une aube de turbine de  
15 turbomachine aéronautique telle que celle illustrée schématiquement sur la figure 3A.

De façon connue en soi, l'aube 20 comprend un aubage 21 qui s'étend entre un pied 22 et une tête 23. L'aube 20 est en outre munie d'une plateforme inférieure 24 et d'une plateforme supérieure 25 qui  
20 délimitent entre elles une veine d'écoulement de flux gazeux.

L'aube 20 est montée sur un disque et est entraînée en rotation dans la turbomachine. En fonctionnement, l'aubage 21 est soumis aux conditions imposées par le flux gazeux chaud, tandis que les portions de pied 22 et de tête 23 sont protégées de la veine par les plateformes 24,  
25 et sont soumises à des températures inférieures.

L'aube 20 est fabriquée couche par couche selon la direction Z correspondant à la direction longitudinale dans laquelle s'étend l'aube 20. Ainsi, l'aube 20 peut être divisée grossièrement en trois portions que sont le pied 22 avec la plateforme inférieure 24, l'aubage 21, et la tête 23 avec  
30 la plateforme supérieure 25, qui sont soumises à des conditions environnementales différentes. Il est donc envisageable, grâce à un procédé selon l'invention, de fabriquer une telle aube 20 en une seule pièce par fusion sélective sur lit de poudre en faisant varier la composition de la poudre entre les différentes portions de la pièce, notamment pour  
35 réduire sa masse.

De plus, le procédé selon l'invention permet de créer un gradient de composition entre les différentes portions pour assurer une transition douce de composition entre ces portions, et augmenter la fiabilité de la pièce.

5 On a représenté schématiquement par des rectangles hachurés sur la figure 3A différentes zones a, b, c, d et e de l'aube 20, qui peuvent comprendre des compositions différentes en poudres.

Un premier exemple de gradient de composition des couches en fonction des zones de l'aube 20 est représenté sur le graphe de la figure  
10 3B. Dans ce graphe on a représenté la composition en une poudre A et en une poudre B dans l'aube 20 en fonction des zones de l'aube présentées ci-dessus. Dans ce premier exemple, la zone a correspondant au pied de l'aube 20 est fabriquée uniquement en utilisant une poudre A. Puis, dans  
15 les zones b, c et d, correspondant aux plateformes 24, 25 et à l'aubage 21, la proportion de poudre A et de poudre B varie linéairement jusqu'à atteindre une proportion de 100% en poudre B dans la zone e correspondant à la tête 23 de l'aube 20.

Un deuxième exemple de gradient de composition des couches en fonction des zones de l'aube 20 est représenté sur le graphe de la  
20 figure 3C. La zone a est tout d'abord fabriquée seulement avec la poudre A. La composition en poudres dans la zone c est de 66% de poudre A et 33% de poudre B. La zone b est une zone de transition linéaire de composition entre la zone a et la zone c. Puis, la zone d est une zone de transition linéaire de composition entre la zone c et la zone e. La  
25 proportion de poudre B dans la zone e est de 100%.

Dans les deux exemples de gradients de composition décrits précédemment en référence aux figures 3B et 3C, la poudre A peut par exemple comprendre un alliage du type Inconel® 718 avec une granulométrie définie par un  $d_{90}$  inférieur à 50  $\mu\text{m}$ , et la poudre B peut par  
30 exemple comprendre un alliage du type Hastelloy® X ayant un  $d_{90}$  inférieur à 50  $\mu\text{m}$ .

On notera qu'il est également possible de fabriquer de la même manière d'autres types d'aubes, comme des aubes de compresseur bi matériaux, par exemple dont le pied de l'aube comprend un alliage à base  
35 de titane Ti17, et la pale comprend un alliage à base de titane TA6V.

## Exemple 2

On s'intéresse à la fabrication d'un disque de turbine basse  
pression 30 de turbomachine aéronautique tel que celui illustré  
5 schématiquement sur la figure 4A. Le disque 30 présente des trous de  
fixation 31, une partie 32 formant une bride qui sera sollicitée en fatigue  
(notamment au niveau des trous de fixation 31) et une partie 33 formant  
une jante qui sera sollicitée en fluage.

Pour assurer une bonne tenue en fluage de la pièce, on cherche  
10 à obtenir une microstructure comportant des grains de taille plus  
importante, alors que pour assurer une bonne tenue en fatigue, des grains  
plus petits sont préférables. En effet, une déformation en fluage se produit  
à cause de glissements au niveau des joints de grains, l'augmentation de  
la taille des grains permet de réduire le nombre de joints de grain et leur  
15 longueur cumulée. A l'inverse, pour réduire la propagation d'une fissure  
(et donc augmenter la tenue à la fatigue), on cherche à augmenter le  
nombre de joints de grains en réduisant leur taille.

Le disque 30 est fabriqué à partir de couches de poudre  
fusionnées et empilées par exemple selon l'axe Y, la partie 32 étant  
20 fabriquée avant la partie 33. Ainsi, grâce à un procédé selon l'invention, il  
est possible de fabriquer un tel disque 30 en une seule pièce par fusion  
sélective sur lit de poudre en faisant varier la composition de la poudre  
entre les deux parties 32, 33, pour optimiser sa structure granulaire en  
fonction des sollicitations auxquelles elle sera soumise.

25 De plus, le procédé selon l'invention permet de créer un  
gradient entre les structures granulaires des parties 32 et 33 pour assurer  
une transition douce de propriétés entre ces parties, et augmenter la  
fiabilité de la pièce.

On a représenté schématiquement par des rectangles hachurés  
30 sur la figure 4 les différentes zones  $f$ ,  $g$  et  $h$  de la pièce, qui peuvent  
comprendre des compositions différentes en poudres. La zone  $f$   
correspond sensiblement à la partie 32 formant bride, la zone  $h$   
correspond sensiblement à la partie 33 formant jante, et la zone  $g$  est la  
zone intermédiaire entre les parties 32 et 33 du disque 30.

35 On a représenté sur le graphe de la figure 4B un exemple  
d'évolution de la composition en deux poudres C et D dans le disque 20 en

fonction de la zone du disque considérée. La zone  $f$  est fabriquée à partir seulement de la poudre C et la zone  $h$  est fabriquée à partir seulement de la poudre D. La zone  $g$  intermédiaire est une zone de transition linéaire de composition entre les zones  $f$  et  $g$ . On veillera ainsi à choisir une poudre C

5 qui forme des grains plus fins que la poudre D.

Le tableau ci-dessous donne trois exemples CD1, CD2 et CD3 de couples de poudres d'alliages métalliques C et D qui peuvent être utilisées pour fabriquer un disque 20 par un procédé selon l'invention et dont les propriétés mécaniques de résistance à la fatigue et au fluage sont

10 optimisées selon les zones de la pièce.

	Poudre C	Poudre D
CD1	Inconel® 718 / $d_{90} \leq 50 \mu\text{m}$	Inconel® 718 / $d_{90} \leq 150 \mu\text{m}$
CD2	Inconel® 718 / $d_{90} \leq 50 \mu\text{m}$	Udimet® 730 / $d_{90} \leq 50 \mu\text{m}$
CD3	Inconel® 718 / $d_{90} \leq 50 \mu\text{m}$	Udimet® 720 / $d_{90} \leq 150 \mu\text{m}$

## REVENDEICATIONS

1. Dispositif (1) pour la fabrication d'une pièce tridimensionnelle (6) par fusion sélective sur lit de poudre, le dispositif comprenant :

- 5           - un premier réservoir (8) destiné à contenir une première poudre, ledit réservoir étant muni d'une première vanne de distribution de poudre (8a),
- au moins un deuxième réservoir (9) destiné à contenir une deuxième poudre différente de la première poudre, ledit réservoir étant
- 10           muni d'une deuxième vanne de distribution de poudre (9a),
- des moyens de contrôle (8b) de la quantité de première poudre délivrée par la première vanne,
- des moyens de contrôle (9b) de la quantité de deuxième poudre délivrée par la deuxième vanne,
- 15           - une chambre de mélange (10) en communication sélective avec les première et deuxième vannes, ladite chambre comprenant une troisième vanne de distribution de poudre (10a) et des moyens (11a, 11b) pour mélanger les particules poudre contenues dans ladite chambre,
- un support (5) destiné à recevoir de la poudre délivrée par la
- 20           troisième vanne et sur lequel est destinée à être fabriquée la pièce,
- des moyens d'étalement de poudre (12) sur le support, et
- un organe de chauffage (13) destiné à fusionner localement de la poudre étalée sur le support,
- les moyens de contrôle de la quantité de poudre comprenant une balance
- 25           (8b, 9b, 10b) destinée à peser de la poudre.

2. Dispositif selon la revendication 1, comprenant en outre des moyens de contrôle (10b) de la quantité de poudre ou d'un mélange de poudre délivrée par la troisième vanne.

30

3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, dans lequel les moyens pour mélanger les particules de poudre contenues dans la chambre de mélange comprennent un orifice d'entrée (11a) et un orifice de sortie (11b) de flux gazeux à l'intérieur de la chambre de

35           mélange (10), lesdits orifices d'entrée et de sortie de flux gazeux étant

configurés pour faire circuler un gaz dans la chambre de mélange afin de mélanger la poudre contenue dans ladite chambre.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,  
5 dans lequel les moyens pour mélanger les particules de poudre contenues dans la chambre de mélange comprennent un pétrin ou une hélice.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4,  
10 dans lequel une vanne de distribution de poudre (8a, 9a, 10a) est pilotée par un actionneur piézoélectrique ou un actionneur hydraulique.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5,  
15 dans lequel l'organe de chauffage (13) comprend un laser ou un générateur de faisceau d'électrons.

7. Procédé de fabrication d'une pièce tridimensionnelle (6) par fusion sélective sur lit le poudre, la pièce comprenant un empilement successif de couches, le procédé comprenant, pour la fabrication d'une couche, les étapes suivantes :

20 a) délivrance d'une quantité contrôlée d'une première poudre (étape E1a) à partir d'un premier réservoir,  
b) délivrance d'une quantité contrôlée d'une deuxième poudre (étape E1b) différente de la première à partir d'un deuxième réservoir,  
c) mélange des première et deuxième poudres (étape E2) délivrées  
25 aux étapes a) et b),  
d) dépôt (étape E4) d'une couche du mélange des première et deuxième poudres obtenu à l'étape c), et  
e) fusion (étape E5) d'au moins une partie de la couche de poudre déposée à l'étape d),  
30 les quantités de première et de deuxième poudre étant chacune contrôlées avec des moyens de contrôle comprenant une balance.

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel la quantité contrôlée de première poudre et/ou la quantité contrôlée de deuxième  
35 poudre varie entre deux couches successives.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 et 8, dans lequel la pièce à fabriquer est une pièce pour l'aéronautique (20, 30).

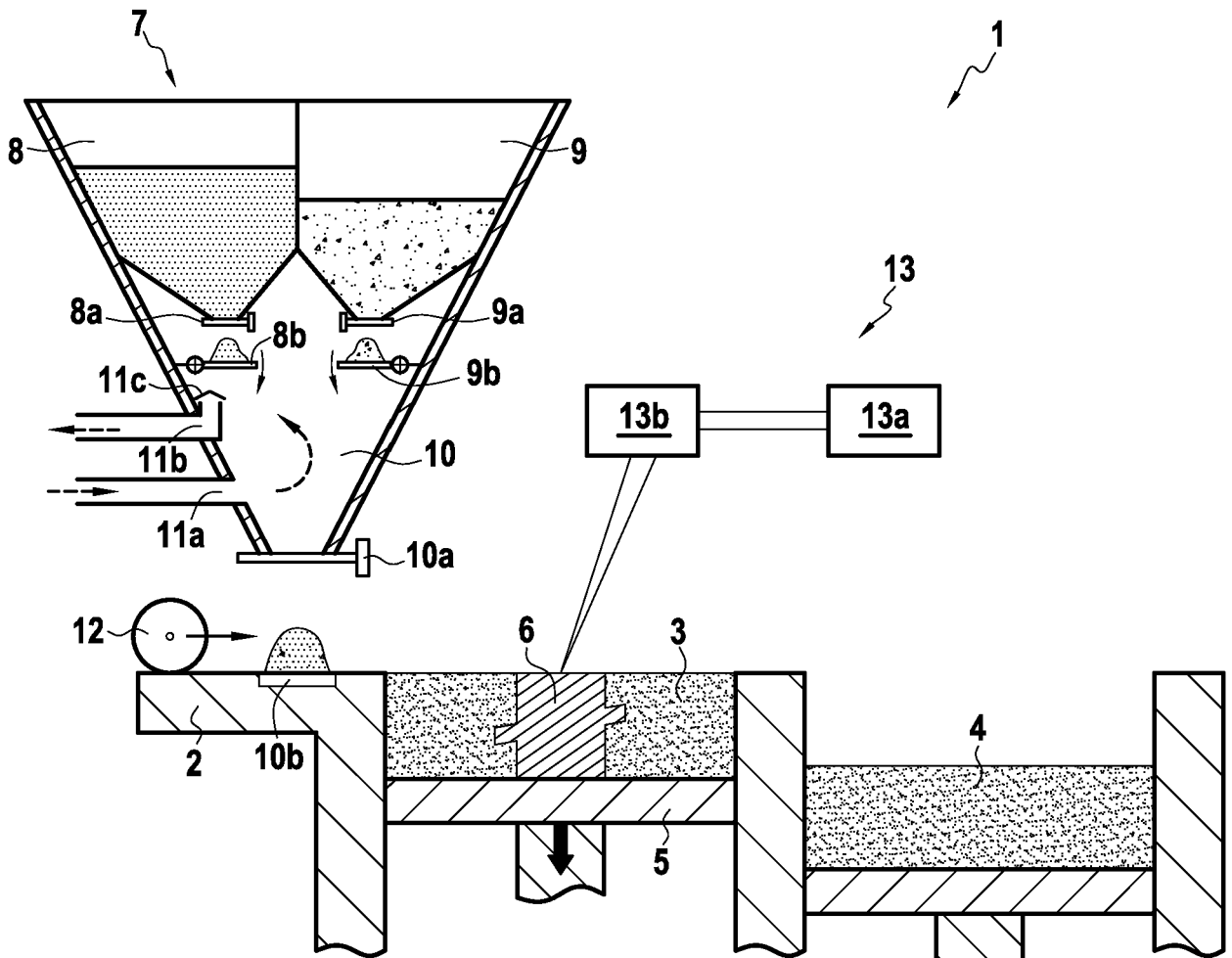


FIG.1

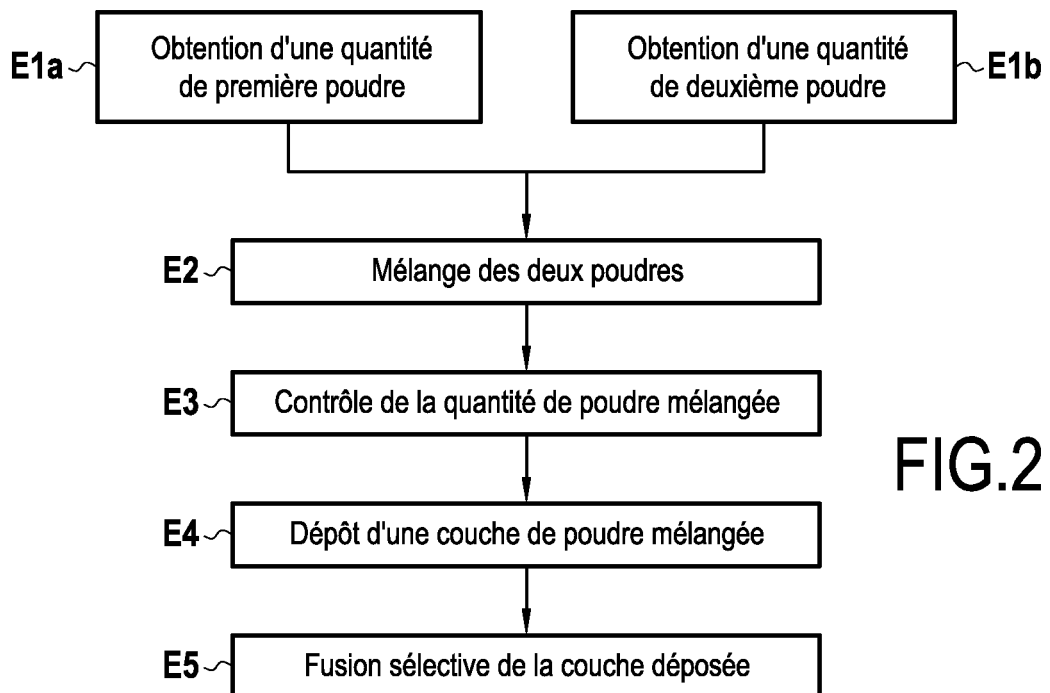


FIG.2

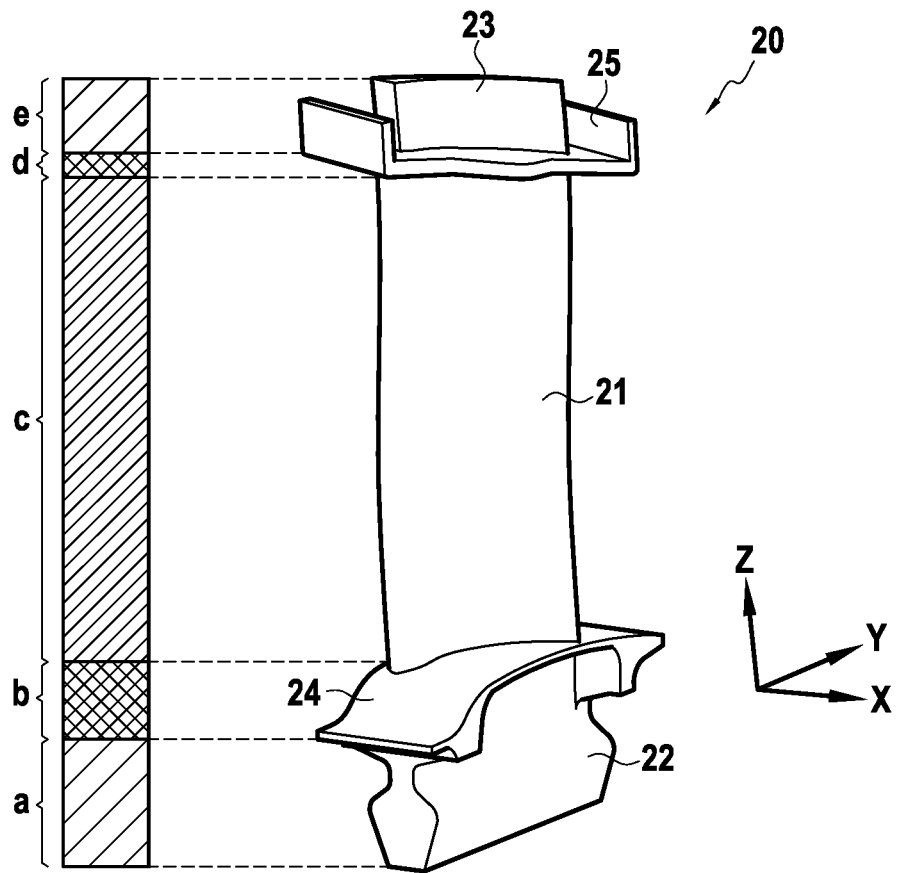


FIG.3A

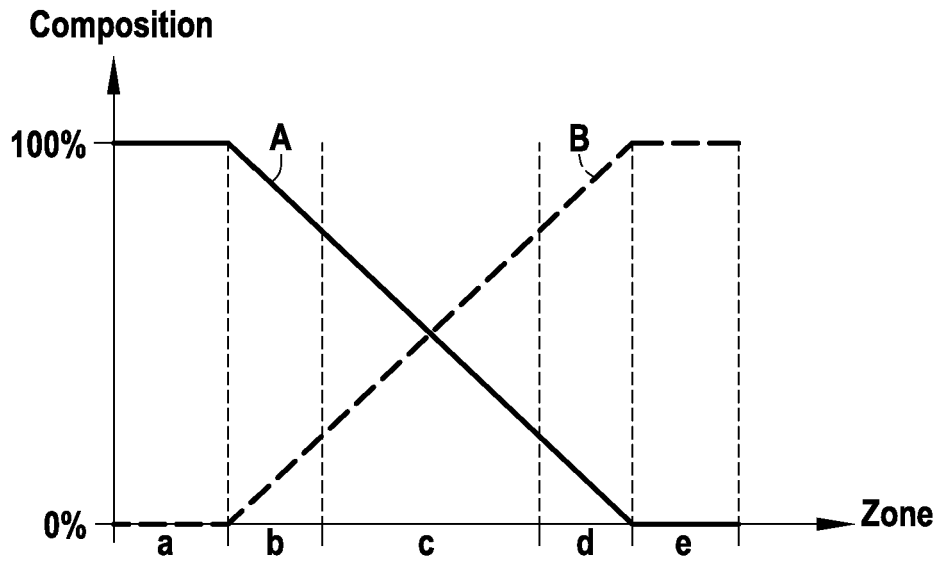


FIG.3B

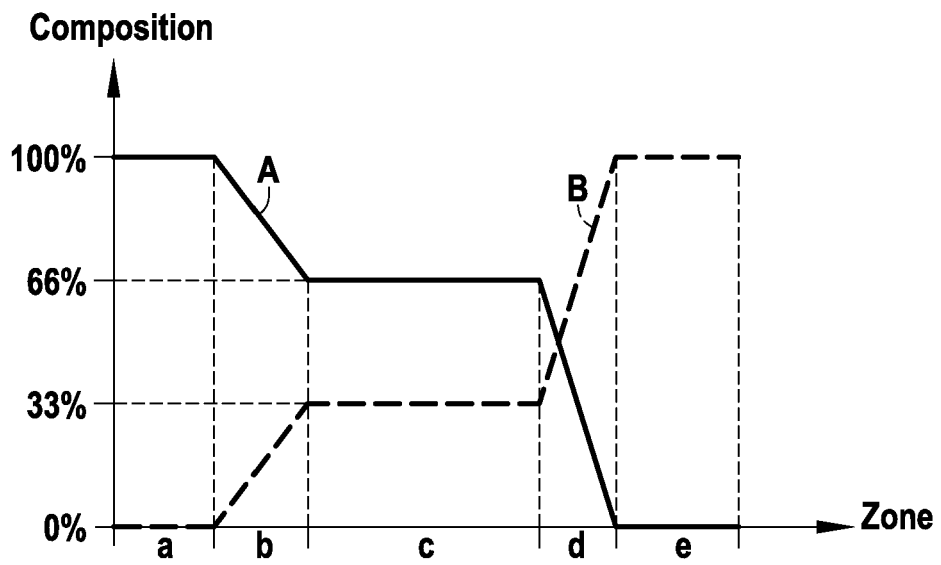


FIG.3C

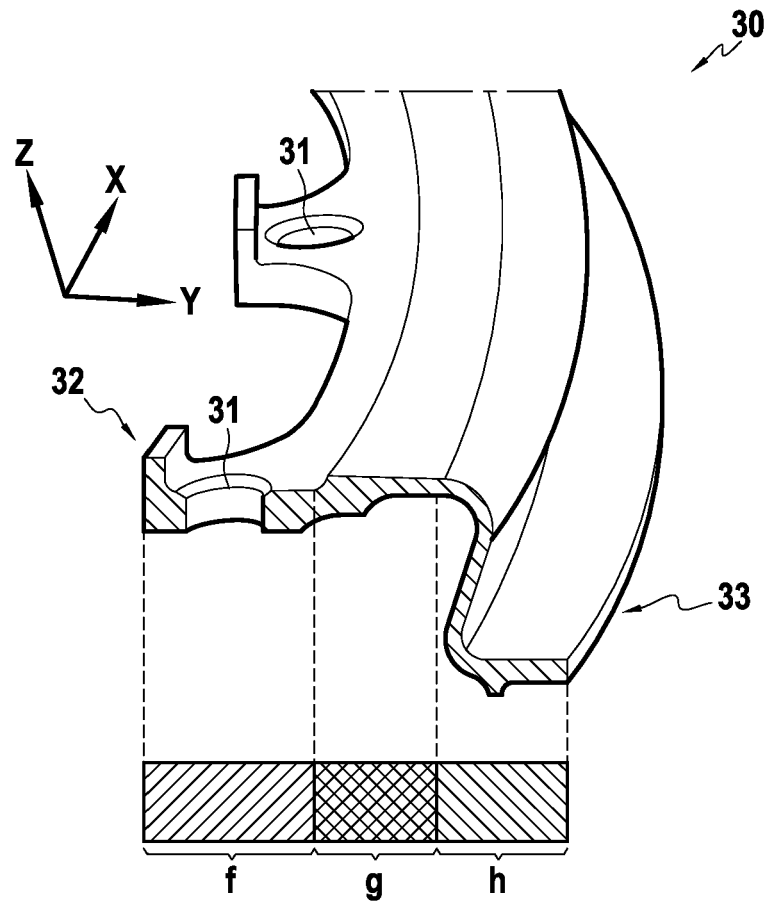


FIG. 4A

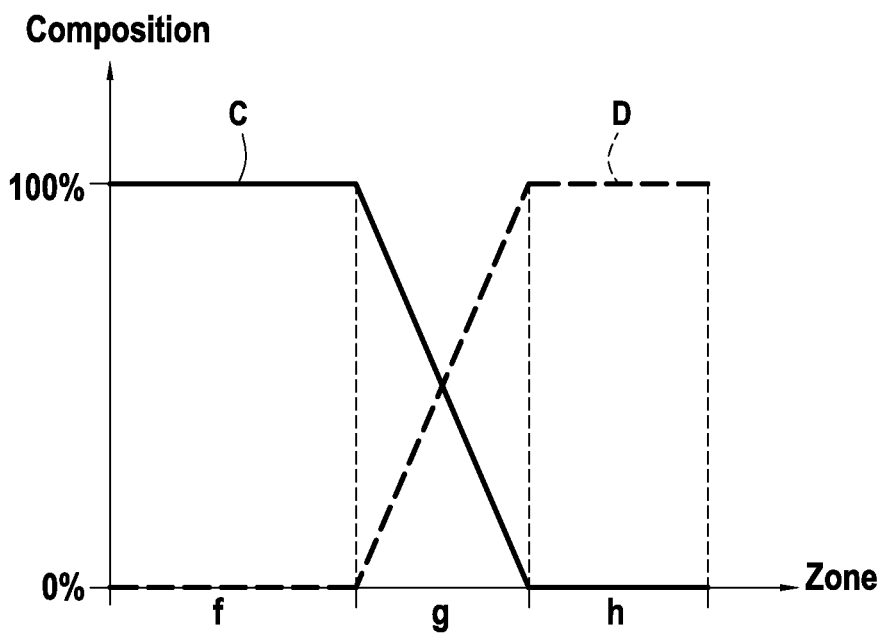


FIG. 4B

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

CN 104 001 917 A (UNIV SOUTH CHINA TECH) 27 août 2014 (2014-08-27)

DE 10 2012 014839 A1 (CL SCHUTZRECHTSVERWALTUNGS GMBH [DE]) 30 janvier 2014 (2014-01-30)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL**

WO 2014/188778 A1 (SHIMABUN CORP [JP]) 27 novembre 2014 (2014-11-27) & US 2016/074938 A1 (KITANI KENSUKE [JP] ET AL) 17 mars 2016 (2016-03-17)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT