

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

3 146 821

②1 N° d'enregistrement national : 23 02617

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : B 22 D 19/02 (2023.01), B 22 C 13/10, B 29 C 70/10, 70/86

①2 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 21.03.23.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 27.09.24 Bulletin 24/39.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : SAFRAN CERAMICS Société anonyme — FR.

⑦2 Inventeur(s) : CARLIN Maxime, François, Roger, LELEU Charles, Joseph, AUPÉTIT Christophe, Paul et MARCHAIS Alexandre.

⑦3 Titulaire(s) : SAFRAN CERAMICS Société anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

⑤4 Procédé de fabrication d'un secteur d'anneau de turbine.

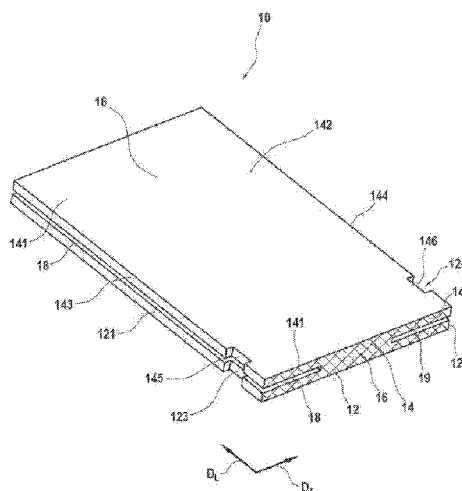
⑤7 Procédé de fabrication d'un secteur d'anneau de turbine

Procédé de fabrication d'au moins un secteur d'anneau de turbine (300) en matériau composite comprenant :

- la réalisation d'au moins une ébauche fibreuse (10) par tissage tridimensionnel,
- la découpe du contour de l'ébauche fibreuse (10),
- la mise en forme de l'ébauche fibreuse (10) de manière à obtenir une préforme fibreuse ayant une forme voisine de celle du secteur d'anneau à réaliser,
- la consolidation de la préforme fibreuse,
- le chargement de la préforme consolidée sur un outillage de support,
- l'infiltration de la préforme consolidée par un métal fondu de manière à obtenir un secteur d'anneau brut en matériau composite.

Lors de la découpe du contour de l'ébauche fibreuse (10), des première et deuxième encoches (123, 124) sont découpées respectivement dans le premier bord latéral (121) de la partie inférieure (12) et dans le deuxième bord latéral (122) de la partie inférieure (12). La préforme fibreuse est suspendue sur l'outillage de support par les première et deuxième encoches (123, 124).

Figure pour l'abrégé : Fig. 2.



FR 3 146 821 - A1



## Description

### Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'un secteur d'anneau de turbine

#### Domaine technique

[0001] La présente invention se rapporte à la fabrication de secteurs d'anneau de turbine en matériau composite à matrice céramique (CMC) dans laquelle on infiltre une préforme fibreuse par un métal fondu.

#### Technique antérieure

[0002] Différents procédés de fabrication de pièces en matériau composite à matrice céramique sont connus. On connaît le procédé dit « Pre-preg » dans lequel des fils pré imprégnés de résine précurseur de carbone sont mis sous la forme de nappes qui sont ensuite drapées pour obtenir une préforme fibreuse. La préforme fibreuse est moulée, cuite, et enfin infiltrée par un métal (ou un alliage métallique) à l'état liquide (technique d'infiltration à l'état fondu : « MI » pour « Melt-Infiltration »). On connaît encore le procédé dit « Slurry-Cast » dans lequel on peut dans un premier temps densifier partiellement une préforme fibreuse tissée par voie gazeuse, par exemple par infiltration chimique en phase gazeuse (CVI), puis introduire une poudre céramique dans la préforme pré densifiée, par exemple par immersion dans une barbotine adéquate, et enfin infiltrer la préforme par un métal fondu (MI) de façon à finaliser la densification de la pièce. Dans l'un ou l'autre des procédés présentés, l'infiltration de la préforme peut être réactive, c'est-à-dire que le métal fondu peut réagir avec une phase de matrice déjà présente dans la préforme.

[0003] Traditionnellement, en raison de la conception des fours d'infiltration, les préformes sont infiltrées l'une après l'autre en les tenant avec une pince, la préforme étant directement trempée dans un bain de métal fondu ou mise en contact avec celui-ci à l'aide d'un drain, le drain pouvant être par exemple un tissu, un feutre, un mat, ou tout autre matériau poreux. Le drain est mis au contact du métal fondu d'une part, et de la préforme à infiltrer d'autre part, le métal fondu étant transféré à la préforme et infiltré dans celle-ci par capillarité à l'aide du drain.

[0004] Cette infiltration présente plusieurs inconvénients comme notamment :

[0005] - un risque d'endommagement de la préforme lors de l'installation (choc, chute, etc.),

[0006] - un risque de chute de la pièce lors de l'opération d'infiltration,

[0007] - un risque de déformation lors du serrage de la pince,

[0008] - l'absence de maîtrise du positionnement de la préforme dans son environnement.

[0009] Le document US2022170143 divulgue un outillage de support pour préformes poreuses à infiltrer par un métal fondu. Ce document décrit des préformes comportant

des encoches utilisées pour suspendre les préformes sur l'outillage de support. Cependant, dans ce document les encoches sont formées par usinage après consolidation des préformes. Une telle opération d'usinage est coûteuse en temps et risque d'entraîner une pollution des préformes.

[0010] Il serait donc souhaitable de disposer d'une solution simple et économique pour améliorer la fabrication de secteurs d'anneau de turbine en matériau composite par infiltration avec un métal fondu.

### **Exposé de l'invention**

[0011] A cet effet, la présente invention propose un procédé de fabrication d'au moins un secteur d'anneau de turbine en matériau composite comprenant :

- la réalisation d'au moins une ébauche fibreuse par tissage tridimensionnel entre une pluralité de couches de fils de chaîne et une pluralité de couches de fils de trame, l'ébauche fibreuse s'étendant suivant une direction longitudinale et une direction transversale, l'ébauche fibreuse comprenant une partie inférieure s'étendant suivant la direction transversale entre des premier et deuxième bords latéraux, la partie inférieure étant destinée à former la base annulaire du secteur d'anneau, et une partie supérieure s'étendant suivant la direction transversale entre des premier et deuxième bords latéraux, la partie supérieure étant reliée à la partie inférieure par une portion centrale, la partie supérieure comprenant des première et deuxième portions de déploiement s'étendant suivant la direction transversale entre la portion centrale et respectivement les premier et deuxième bords latéraux de la partie supérieure, la première portion de déploiement étant séparée de la partie inférieure par une première déliaison, la deuxième portion de déploiement étant séparée de la partie inférieure par une deuxième déliaison, les premier et deuxième bords latéraux de la partie inférieure étant alignés respectivement avec les premier et deuxième bords latéraux de la partie supérieure,

- la découpe du contour de l'ébauche,
- la mise en forme de l'ébauche fibreuse par pliage des première et deuxième portions de déploiement vers la portion centrale de façon à former des première et deuxième parties de préforme de bride de fixation et par courbure de la partie inférieure de façon à former une partie de préforme de base annulaire de manière à obtenir une préforme fibreuse ayant une forme voisine de celle du secteur d'anneau à réaliser,

- la consolidation de la préforme fibreuse,
- le chargement de la préforme consolidée sur un outillage de support,
- l'infiltration de la préforme consolidée par un métal fondu de manière à obtenir un secteur d'anneau brut en matériau composite comprenant une base annulaire avec des

premier et deuxièmes bords latéraux comportant respectivement des première et deuxième encoches, une première bride de fixation et une deuxième bride de fixation, caractérisé en ce que, lors de la découpe du contour de l'ébauche fibreuse, les première et deuxième encoches sont découpées respectivement dans le premier bord latéral de la partie inférieure et dans le deuxième bord latéral de la partie inférieure, et en ce que ladite au moins une préforme fibreuse consolidée est suspendue sur l'outillage de support par les première et deuxième encoches.

- [0012] Les encoches permettent de suspendre la préforme sur l'outillage de support de manière stable et équilibrée, et ce avec un contact minimum entre la préforme et l'outillage.
- [0013] Dans le procédé de l'invention, les encoches sont réalisées en même temps que la découpe du contour de l'ébauche fibreuse. La réalisation des encoches n'a donc pas d'impact sur le coût de fabrication du secteur d'anneau car elle est incluse dans l'opération de découpe de l'ébauche fibreuse.
- [0014] En outre, les encoches servent de détrompeurs amont/aval pour le secteur d'anneau brut.
- [0015] Selon une caractéristique particulière du procédé de l'invention, les première et deuxième encoches sont respectivement présentes dans des portions sacrificielles, les portions sacrificielles étant éliminées après l'infiltration de la préforme consolidée par un métal fondu. La découpe des encoches n'a ainsi aucun impact sur le renfort fibreux du secteur d'anneau final et, par conséquent, sur les propriétés mécaniques du secteur d'anneau en matériau composite. En outre, la qualité du secteur d'anneau final est améliorée car les points de contact entre l'outillage de support et la préforme susceptibles d'engendrer des défauts dans la pièce lors de l'infiltration par un métal fondu, sont situés en dehors de la pièce finale et sont éliminés.
- [0016] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, les première et deuxième encoches sont découpées par faisceau laser ou jet d'eau sous pression.
- [0017] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, lors de la découpe du contour de l'ébauche fibreuse, des troisième et quatrième encoches sont découpées respectivement dans le premier bord latéral de la partie supérieure et dans le deuxième bord latéral de ladite partie supérieure, les troisième et quatrième encoches étant découpées simultanément avec les première et deuxième encoches. En découpant simultanément les première et troisième encoches dans les premiers bords latéraux des parties inférieure et supérieure et les deuxième et quatrième encoches dans les deuxièmes bords latéraux des parties inférieure et supérieure, on simplifie le procédé de fabrication car il n'est pas nécessaire d'utiliser un outillage pour protéger la partie supérieure de l'ébauche fibreuse lors de la découpe des encoches.
- [0018] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, les première à

quatrième encoches sont respectivement présentes dans des portions sacrificielles, les portions sacrificielles étant éliminées après l'infiltration de la préforme consolidée par un métal fondu.

[0019] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, les première à quatrième encoches sont découpées par faisceau laser ou jet d'eau sous pression.

[0020] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, l'outillage de support comprend un portant comprenant au moins une barre de suspension et au moins un support de préforme poreuse, chaque support comprenant une première partie reliée à ladite au moins une barre de suspension par une liaison coulissante et une deuxième partie s'étendant à partir de la première partie, la deuxième partie de chaque support de préforme poreuse comprenant deux bras transversaux s'étendant suivant une deuxième direction, chaque bras transversal comportant une projection s'étendant suivant une première direction, les projections coopérant respectivement avec les première et deuxième encoches présentes sur la préforme.

[0021] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, la deuxième partie de chaque support de préforme comprend une vis anti-basculement.

[0022] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, la deuxième partie de chaque support de préforme poreuse comprend une butée réglable présente dans la partie inférieure de la deuxième partie.

### **Brève description des dessins**

[0023] [Fig.1] La [Fig.1] est une vue schématique en perspective illustrant le tissage 3D d'une ébauche fibreuse pour la fabrication de l'aube de la [Fig.1],

[0024] [Fig.2] La [Fig.2] est une vue schématique en perspective de l'ébauche fibreuse de la [Fig.1] après découpe du contour de ladite ébauche conformément à un mode de réalisation de l'invention,

[0025] [Fig.3] La [Fig.3] est une vue schématique en perspective d'une préforme fibreuse obtenue à partir de l'ébauche fibreuse de la [Fig.2],

[0026] [Fig.4] La [Fig.4] est une vue schématique en perspective d'un secteur d'anneau brut en matériau composite obtenu après infiltration par un métal fondu de la préforme de la [Fig.3],

[0027] [Fig.5] La [Fig.5] est une vue schématique en perspective d'un secteur d'anneau en matériau composite obtenu près usinage du secteur d'anneau brut de la [Fig.4],

[0028] [Fig.6] La [Fig.6] est une vue schématique en perspective d'un outillage de support sur lequel est suspendu la préforme de la [Fig.3],

[0029] [Fig.7] La [Fig.7] est une vue schématique en perspective d'un support pour préforme de l'outillage de support de la figure,

[0030] [Fig.8] La [Fig.8] est une vue schématique de face du support pour préforme de

l'outillage de support de la [Fig.6] avec une préforme fibreuse,

[0031] [Fig.9] La [Fig.9] est une vue schématique de côté du support pour préforme de l'outillage de support de la [Fig.6],

[0032] [Fig.10] La [Fig.10] est une vue schématique en coupe d'un four pour l'infiltration par du métal fondu utilisant l'outillage de support de la [Fig.6].

### **Description des modes de réalisation**

[0033] Le procédé de fabrication de secteurs d'anneau de turbine de l'invention débute par la réalisation d'une ou plusieurs ébauches fibreuses par tissage tridimensionnel entre une pluralité de couches de fils de chaîne et une pluralité de couches de fils de trame.

[0034] La [Fig.1] montre très schématiquement une ébauche fibreuse 10 destinée à former une préforme fibreuse d'un secteur d'anneau de turbine en matériau composite à réaliser. L'ébauche de structure fibreuse 10 est obtenue, comme illustrée schématiquement sur la [Fig.1], par tissage tridimensionnel (3D) réalisé de façon connue au moyen d'un métier à tisser de type jacquard sur lequel on a disposé un faisceau de fils de chaînes 50 en une pluralité de couches, les fils de chaînes étant liés par des fils de trame 60.

[0035] Pour le tissage de l'ébauche fibreuse 10, on peut utiliser des fils en fibres céramique, par exemple des fils en fibres SiC tels que ceux commercialisés par la société japonaise Nippon Carbon sous la dénomination "Hi-Nicalon S", ou des fils en fibres de carbone. Le tissage peut être de type interlock. D'autres armures de tissage tridimensionnel peuvent être utilisées comme par exemple des armures multi-toile ou multi-satin. On pourra se référer au document WO 2006/136755.

[0036] L'ébauche fibreuse 10 est tissée en une seule pièce, l'ébauche s'étendant suivant une direction longitudinale DL et une direction transversale DT. L'ébauche fibreuse comprend une partie inférieure 12 s'étendant suivant la direction transversale DT entre des premier et deuxième bords latéraux 121 et 122, la partie inférieure 12 étant destinée à former la base annulaire du secteur d'anneau, et une partie supérieure 14 s'étendant suivant la direction transversale DT entre des premier et deuxième bords latéraux 143 et 144. La partie supérieure 14 est reliée à la partie inférieure 12 par une portion centrale 16. La partie supérieure 14 comprend des première et deuxième portions de déploiement 141 et 142 destinées à former des brides de fixation du secteur d'anneau. Les premier et deuxième bords latéraux 121 et 122 de la partie inférieure 12 sont alignés respectivement avec les premier et deuxième bords latéraux 143 et 144 de la partie supérieure 14.

[0037] La première portion de déploiement 141 s'étend suivant la direction transversale DT entre la portion centrale 16 et le premier bord latéral 143 de la partie supérieure 14. La première portion de déploiement 141 est séparée de la partie inférieure 12 par une

première déliaison 18.

- [0038] La deuxième portion de déploiement 142 s'étend suivant la direction transversale DT entre la portion centrale 16 et le deuxième bord latéral 144 de la partie supérieure 14. La deuxième portion de déploiement 142 est séparée de la partie inférieure 12 par une deuxième déliaison 19.
- [0039] Une fois l'ébauche fibreuse 10 tissée et comme illustré sur la [Fig.2], on procède à la découpe du contour de l'ébauche, par exemple au moyen d'un faisceau laser ou d'un jet d'eau sous pression, de manière à retirer les fils flottés présents à l'extérieur de la masse tissée (phase dite de « trimming ») et obtenir ainsi une préforme à plat d'un secteur d'anneau brut.
- [0040] Conformément à l'invention, lors de la découpe de la préforme à plat, des première et deuxième encoches 123 et 124 sont découpées respectivement dans les premier et deuxième bords latéraux 121 et 122 de la partie inférieure 12. Dans l'exemple décrit ici et illustré sur la [Fig.2], une troisième encoche 145 est découpée simultanément avec la première encoche 123 dans le premier bord latéral 143 de la partie supérieure 14 tandis qu'une quatrième encoche 146 est découpée simultanément avec la deuxième encoche 124 dans le deuxième bord latéral 144 de la partie supérieure 14.
- [0041] La découpe des encoches dans l'ébauche fibreuse 10 peut être réalisée par exemple par faisceau laser ou jet d'eau sous pression.
- [0042] Selon une variante de réalisation, lors de la découpe de la préforme à plat, seules les première et deuxième encoches 123 et 124 sont découpées respectivement dans les premier et deuxième bords latéraux 121 et 122 de la partie inférieure 12. Dans ce cas, un outillage est utilisé pour protéger les premier et deuxième bords latéraux 143 et 144 de la partie supérieure 14 lors de la découpe des encoches 123 et 124 afin d'éviter la découpe des encoches 145 et 146 dans la partie supérieure 14.
- [0043] En découpant simultanément les première et troisième encoches 123 et 145 dans les premiers bords latéraux 121 et 143 des parties inférieure 12 et supérieure 14 et les deuxième et quatrième encoches 124 et 146 dans les deuxièmes bords latéraux 122 et 144 des parties inférieure 12 et supérieure 14, on simplifie le procédé de fabrication car il n'est pas nécessaire d'utiliser un outillage pour protéger la partie supérieure de l'ébauche fibreuse lors de la découpe des encoches.
- [0044] Le procédé se poursuit par la mise en forme de l'ébauche fibreuse 10 de manière à obtenir une préforme fibreuse 100 illustrée sur la [Fig.3]. La préforme fibreuse 100 a une forme voisine de celle du secteur d'anneau à réaliser et présente une section sensiblement en forme de  $\pi$  inversé. L'ébauche fibreuse 10 est mise en forme par pliage à  $90^\circ$  des première et deuxième portions de déploiement 141 et 142 de l'ébauche fibreuse vers la portion centrale 16 de façon à former des première et deuxième parties de préforme de bride de fixation 110 et 120 et par courbure de la partie inférieure 12 de

l'ébauche de façon à former une partie de préforme de base annulaire 130. La mise en forme de l'ébauche fibreuse peut être réalisée au moyen d'un outillage de conformation (non représenté sur la [Fig.3]) permettant d'imposer aux portions de déploiement 141 et 142 le rayon de courbure nécessaire et l'orientation désirée pour les brides de fixation ainsi que la courbure souhaitée à la partie inférieure 12. La mise en forme de l'ébauche fibreuse peut éventuellement comprendre un compactage afin d'obtenir un taux de fibre cible.

- [0045] Comme illustrée sur la [Fig.3], les encoches 123, 145, 124 et 146 sont respectivement présentes dans des portions sacrificielles 101, 102, 103 et 104 de la préforme fibreuse 100 (délimitée par les pointillés sur la [Fig.3]). Les portions sacrificielles 101, 102, 103 et 104 correspondent à des zones s'étendant sur toute la longueur de la préforme suivant la direction longitudinale DL et sur une largeur déterminée à partir d'un bord de la préforme incluant les encoches. Les portions sacrificielles 101 à 104 sont éliminées en fin de la fabrication du secteur d'anneau comme expliqué ci-après.
- [0046] La préforme fibreuse 100 est consolidée par infiltration chimique en phase gazeuse (CVI) d'une phase de matrice céramique afin d'être en mesure de conserver sa forme pour la suite du procédé.
- [0047] On procède ensuite au chargement de la préforme 100 sur un outillage de support 200 en vue de son infiltration par un métal fondu. Sur la [Fig.6], l'outillage de support 200 comprend un portant 201 comprenant deux barres de suspension 210 et 220 s'étendant chacune longitudinalement suivant une première direction D1. Les barres de suspension 210 et 220 sont fixées à un cadre 230 par des organes de serrage 231 de manière à être maintenues espacées l'une de l'autre suivant une deuxième direction D2 perpendiculaire à la première direction D1. Le cadre 230 est fixé au niveau de sa partie centrale à une tige d'interface 240 destinée à être reliée à un dispositif de mesure de masse d'un four comme expliqué plus loin.
- [0048] L'outillage de support 200 comprend en outre au moins support 500 destiné à maintenir la préforme 100 lors de son infiltration avec un métal fondu. Comme illustré sur les figures 6 à 9, le support 500 comprend une première partie 510 formée d'une première oreille 511 comportant un trou oblong 5110 et d'une deuxième oreille 512 comportant un trou oblong 5120. Chaque support 500 peut être monté sur une barre de suspension de l'outillage de support 200, par exemple la barre de suspension 210, en plaçant les deux oreilles 511 et 512 d'un côté et de l'autre de la barre et en insérant un axe de suspension 250 dans les trous oblongs 5110 et 5120 des oreilles 511 et 512 ([Fig.8]). Chaque support 500 se trouve ainsi monté sur une barre de suspension 210 par une liaison coulissante suivant une troisième direction D3, perpendiculaire aux première et deuxième directions D1 et D2.
- [0049] Le support 500 comprend en outre une deuxième partie 520 s'étendant à partir de la

première partie 510. La deuxième partie 520 est destinée à supporter la préforme fibreuse 100. La deuxième partie 520 de chaque support 500 comprend un bras longitudinal 521 s'étendant suivant la troisième direction D3 et deux bras transversaux 522 et 523 s'étendant de chaque côté du bras longitudinal 521 suivant la direction D2. Une première projection 5220 est montée sur le bras transversal 522 au moyen d'une vis de serrage 5222, la projection 5220 s'étendant à partir du bras 522 suivant la direction D1 et présentant une extrémité libre 5221. Une deuxième projection 5230 est montée sur le bras transversal 523 au moyen d'une vis de serrage 5232, la projection 5230 s'étendant à partir du bras 523 suivant la direction D1 et présentant une extrémité libre 5231. Comme illustrées sur les figures 7 et 8, les extrémités libres 5221 et 5231 des première et deuxième projections 5220 et 5230 sont aptes à coopérer avec respectivement la deuxième encoche 124 et la première encoche 123 présentes respectivement sur les bords latéraux 122 et 121 de la partie de préforme de base annulaire 130 de la préforme 100.

- [0050] Comme illustrée sur la [Fig.7], la préforme 100 est mise en place sur le support 500 en engageant les extrémités libres 5221 et 5231 des projections 5220 et 5230 respectivement dans les encoches 124 et 123, la préforme 100 étant alors maintenue en suspension par les extrémités libres 5221 et 5231 (figures 8 et 9). Des cales de réglages amovibles 5223 et 5233 peuvent être utilisées afin d'ajuster l'entrefer des projections 5220 et 5230 par rapport à l'écartement entre les encoches 124 et 123 suivant la direction D2. La suspension de la préforme 100 par les projections 5220 et 5230 ne nécessite pas la présence d'orifices sur les pattes des préformes, ce qui permet d'éviter des opérations d'usinage d'orifices dans les préformes lorsque ceux-ci ne sont pas utiles pour la fixation ou le maintien des secteurs d'anneau.
- [0051] Selon une caractéristique optionnelle du support 500, celui-ci peut comprendre une vis anti-basculement 524 dont la tige filetée 5241 est vissée dans un orifice 525 présent sur la partie supérieure du bras longitudinal 521. La tête 5240 de la vis anti-basculement 524 bloque le basculement de la préforme 100 ([Fig.8]).
- [0052] Selon une autre caractéristique optionnelle du support 500, celui-ci peut comprendre une butée fixe 526 présente sur la partie supérieure du bras longitudinal 521 afin de limiter par contact ponctuel la translation de la préforme poreuse dans la direction D1.
- [0053] Toujours selon une autre caractéristique optionnelle du support 500, celui-ci peut comprendre une butée réglable 527 présente sur la partie inférieure du bras longitudinal 521 afin de limiter par contact ponctuel la rotation de la préforme sur les projections et ainsi positionner la préforme suivant un plan vertical parallèle à la direction D3 lors des opérations d'infiltration de la préforme avec un métal fondu. La butée réglable 527 coopère par vissage avec un orifice 528 présent sur la partie inférieure du bras longitudinal 521.

- [0054] En combinaison avec les encoches 124 et 123, le support 500 permet de maintenir de façon fiable une préforme poreuse avec seulement quelques points de contact ponctuels, ce qui permet d'optimiser l'infiltration de la préforme par un métal fondu tout en facilitant et sécurisant le chargement de la préforme sur l'outillage de support.
- [0055] Une fois chargée sur l'outillage de support 200, la préforme 100 est densifiée par infiltration avec du silicium liquide (« Melt Infiltration »).
- [0056] L'outillage de support peut supporter un nombre variable de préformes fibreuses. L'outillage de support 200 décrit ici peut supporter jusqu'à huit préformes fibreuses. Bien entendu, en fonction des besoins et des dimensions de l'outillage de support de l'invention, celui-ci peut supporter un nombre plus ou moins important de préformes. On veillera toutefois à avoir un nombre équivalent de préformes et une répartition symétrique de celle-ci sur chaque barre de suspension afin d'équilibrer l'outillage de support et ne pas perturber la mesure de masse lors de l'infiltration.
- [0057] La [Fig.10] montre une vue en coupe d'un four 1 selon un mode de réalisation de l'invention pouvant être utilisé dans un procédé d'infiltration selon l'invention. Le four 1 comprend une enceinte 2 hermétique à l'intérieur de laquelle sont présents un creuset 4 ayant un volume interne contenant un métal fondu 6, et un outillage de support 200 comprenant une pluralité de supports 500 chacun chargé d'une préforme fibreuse 100 comme décrits ci-avant.
- [0058] Le creuset 4 peut être en un matériau céramique. Le métal fondu 6 peut par exemple être du silicium ou un alliage de silicium. Le four 1 est ici muni d'un système de chauffage par induction 40 comprenant une bobine d'induction 42 et un suscepteur 44 qui sont disposés autour du creuset 4 et de la préforme 8 dans l'enceinte 2 du four 1. Le système de chauffage comprend en outre, de façon connue, un générateur haute fréquence 36 relié à la bobine 42 de façon à générer un champ magnétique variable à l'aide de la bobine. Le suscepteur 44 peut par exemple être un cylindre en graphite. Le four 1 peut en outre être muni d'une pompe à vide 38 en communication fluïdique avec l'intérieur de l'enceinte 2, de façon à réaliser le procédé d'infiltration sous vide. On notera qu'un autre type de four que celui illustré peut être utilisé, en particulier le four peut comprendre un système de chauffage résistif au lieu d'un système inductif.
- [0059] Le four 1 comprend un dispositif de mesure de la masse des préformes 100 correspondant ici à une balance 20 du type peson, à laquelle l'outillage de support 200 est suspendu par le biais de la tige d'interface 240. Dans cet exemple, la balance 20 est située à l'extérieur de l'enceinte 2 du four 1, au-dessus de l'enceinte 2. Bien entendu, d'autres dispositifs de mesure de masse peuvent être utilisés sans sortir du cadre de la présente invention.
- [0060] Le four 1 comprend en outre un dispositif de déplacement comprenant ici un vérin 24 ayant une tige 26 sur laquelle est monté le creuset 4. Dans cet exemple, le vérin 24 est

situé à l'extérieur de l'enceinte 2 du four 1, au-dessous de l'enceinte 2. De la sorte, le vérin 20 permet de déplacer le creuset 4 avec un mouvement de translation verticale à l'intérieur de l'enceinte 2 du four 1, notamment en direction des préformes 100 présentes sur l'outillage de support 200. Ainsi, le creuset 4 est mobile en translation verticale dans l'enceinte 2. Dans une variante non illustrée, le creuset peut être monté fixe dans le four, et la préforme peut être mobile en translation verticale.

[0061] Dans l'exemple illustré, le four 1 comprend également un système de contrôle 28 de la position relative entre les préformes et le creuset, qui est configuré pour commander le vérin 24 en fonction de l'évolution de la masse des préformes 100 telle que mesurée par la balance 20. Ce système de contrôle 28 peut être par exemple un automate ou un ordinateur équipé d'une carte d'acquisition à entrées/sorties. Le système de contrôle 28 peut recevoir en entrée des signaux électriques provenant de la balance 20, et envoyer des signaux de commande en sortie au vérin 24.

[0062] L'infiltration des préformes 100 est réalisée par mise en contact desdites préformes avec le métal fondu 6 qui peut par exemple être du silicium ou un alliage de silicium, le métal fondu infiltrant la porosité des préformes par capillarité. La mise en contact peut être directe, c'est-à-dire que les préformes sont directement trempées dans le bain de métal fondu, ou indirecte en mettant les préformes en contact avec un ou plusieurs drains (non représentés sur la [Fig.10]) eux-mêmes en contact avec le bain de métal fondu qui est alors acheminé jusqu'aux préformes par capillarité. La mise en contact ou non des préformes avec le métal fondu et, par conséquent, le contrôle de l'infiltration des préformes par le métal fondu sont réalisés par la commande du vérin 24. L'infiltration des préformes 100 par le métal fondu 6 se termine lorsque la balance 20 mesure une prise de masse prédéterminée correspondant au niveau de densification souhaité pour les préformes.

[0063] On obtient alors des pièces, ici des secteurs d'anneau brut, en matériau CMC comprenant un renfort fibreux densifié par une matrice et présentant une forme similaire à celle de la préforme 100 représentée sur la [Fig.3]. Comme illustré sur la [Fig.4], chaque secteur d'anneau brut 300 comporte une base annulaire 330 avec des premier et deuxième bords latéraux 121 et 122 comportant respectivement les première et deuxième encoches 123 et 124, une première bride de fixation 310 avec une extrémité libre comportant la troisième encoche 145 et une deuxième bride de fixation 320 avec une extrémité libre comportant la quatrième encoche 146. Les encoches 123, 145, 146 et 124 sont respectivement présentes dans des zones sacrificielles 301 à 304 correspondant respectivement aux zones sacrificielles 101, 102, 103 et 104 de la préforme fibreuse 100.

[0064] Le secteur d'anneau brut 300 est usiné afin d'éliminer les zones sacrificielles 301, 302, 303 et 304. On obtient ainsi comme représenté sur la [Fig.5] un secteur d'anneau

400 en matériau composite comprenant un renfort fibreux constitué par la préforme fibreuse 100 sans les zones sacrificielles, le secteur d'anneau 400 comprenant une base annulaire 430 dont la face interne est destinée à définir une veine d'écoulement de flux gazeux dans une turbine à gaz et des bides de fixation 410 et 420 s'étendant à partir de la face externe de la base annulaire 430.

## Revendications

[Revendication 1]

Procédé de fabrication d'au moins un secteur d'anneau de turbine (300) en matériau composite comprenant :

- la réalisation d'au moins une ébauche fibreuse (10) par tissage tridimensionnel entre une pluralité de couches de fils de chaîne (50) et une pluralité de couches de fils de trame (60), l'ébauche fibreuse s'étendant suivant une direction longitudinale (DL) et une direction transversale (DT), l'ébauche fibreuse (10) comprenant une partie inférieure (12) s'étendant suivant la direction transversale entre des premier et deuxième bords latéraux (121 et 122), la partie inférieure (12) étant destinée à former la base annulaire du secteur d'anneau, et une partie supérieure (14) s'étendant suivant la direction transversale entre des premier et deuxième bords latéraux (143, 144), la partie supérieure (14) étant reliée à la partie inférieure (12) par une portion centrale (16), la partie supérieure comprenant des première et deuxième portions de déploiement (141 et 142) s'étendant suivant la direction transversale entre la portion centrale (16) et respectivement les premier et deuxième bords latéraux (143, 144) de la partie supérieure (14), la première portion de déploiement (141) étant séparée de la partie inférieure (12) par une première déliaison (18), la deuxième portion de déploiement (142) étant séparée de la partie inférieure (12) par une deuxième déliaison (19), les premier et deuxième bords latéraux (121, 122) de la partie inférieure (12) étant alignés respectivement avec les premier et deuxième bords latéraux (143, 144) de la partie supérieure (14),
- la découpe du contour de l'ébauche fibreuse (10),
- la mise en forme de l'ébauche fibreuse (10) par pliage des première et deuxième portions de déploiement (141, 142) vers la portion centrale (16) de façon à former des première et deuxième parties de préforme de bride de fixation (110, 120) et par courbure de la partie inférieure (12) de façon à former une partie de préforme de base annulaire (130) de manière à obtenir une préforme fibreuse (100) ayant une forme voisine de celle du secteur d'anneau à réaliser,
- la consolidation de la préforme fibreuse (100),
- le chargement de la préforme consolidée sur un outillage de support (200),
- l'infiltration de la préforme consolidée par un métal fondu de manière à obtenir un secteur d'anneau brut (300) en matériau composite

comprenant une base annulaire (330) avec des premier et deuxièmes bords latéraux comportant respectivement des première et deuxième encoches (123, 124), une première bride de fixation (310) et une deuxième bride de fixation (320), caractérisé en ce que, lors de la découpe du contour de l'ébauche fibreuse (10), les première et deuxième encoches (123, 124) sont découpées respectivement dans le premier bord latéral (121) de la partie inférieure (12) et dans le deuxième bord latéral (122) de la partie inférieure (12), et en ce que ladite au moins une préforme fibreuse consolidée est suspendue sur l'outillage de support (200) par les première et deuxième encoches (123, 124).

- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel les première et deuxième encoches (123, 124) sont respectivement présentes dans des portions sacrificielles (101, 104), les portions sacrificielles étant éliminées après l'infiltration de la préforme consolidée par un métal fondu.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les première et deuxième encoches sont découpées par faisceau laser ou jet d'eau sous pression.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel, lors de la découpe du contour de l'ébauche fibreuse (10), des troisième et quatrième encoches (145, 146) sont découpées respectivement dans le premier bord latéral (143) de la partie supérieure (14) et dans le deuxième bord latéral (144) de ladite partie supérieure, les troisième et quatrième encoches étant découpées simultanément avec les première et deuxième encoches (123, 124).
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 4, dans lequel les première à quatrième encoches (123, 124, 145, 146) sont respectivement présentes dans des portions sacrificielles (101, 104, 102, 103), les portions sacrificielles étant éliminées après l'infiltration de la préforme consolidée par un métal fondu.
- [Revendication 6] Procédé selon la revendication 4 ou 5, dans lequel les première à quatrième encoches sont découpées par faisceau laser ou jet d'eau sous pression.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel l'outillage de support comprend un portant (201) comprenant au moins une barre de suspension (210) et au moins un support de préforme poreuse (500), chaque support comprenant une première partie (510) reliée à ladite au moins une barre de suspension par une liaison cou-

lissante et une deuxième partie (520) s'étendant à partir de la première partie, la deuxième partie (520) de chaque support de préforme poreuse (500) comprenant deux bras transversaux (522, 523) s'étendant suivant une deuxième direction (D2), chaque bras transversal comportant une projection (5220 ; 5230) s'étendant suivant une première direction (D1), les projections (5220, 5230) coopérant respectivement avec les première et deuxième encoches (123, 124) présentes sur la préforme (100).

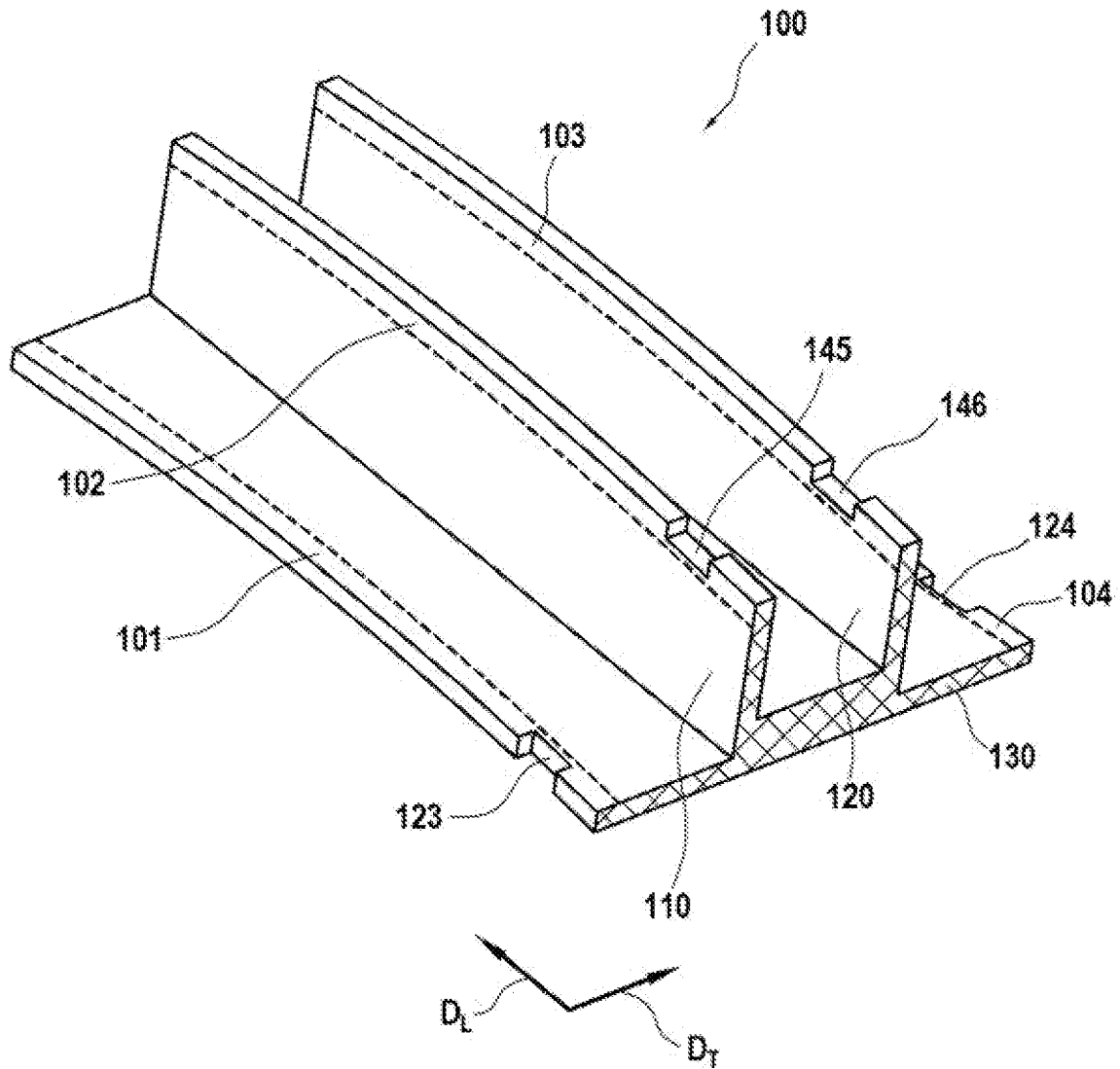
[Revendication 8] Procédé selon la revendication 3, dans lequel la deuxième partie (520) de chaque support de préforme (100) comprend une vis anti-basculement (524).

[Revendication 9] Procédé selon la revendication 3 ou 4, dans lequel la deuxième partie (520) de chaque support de préforme poreuse (500) comprend une butée réglable (528) présente dans la partie inférieure de la deuxième partie.

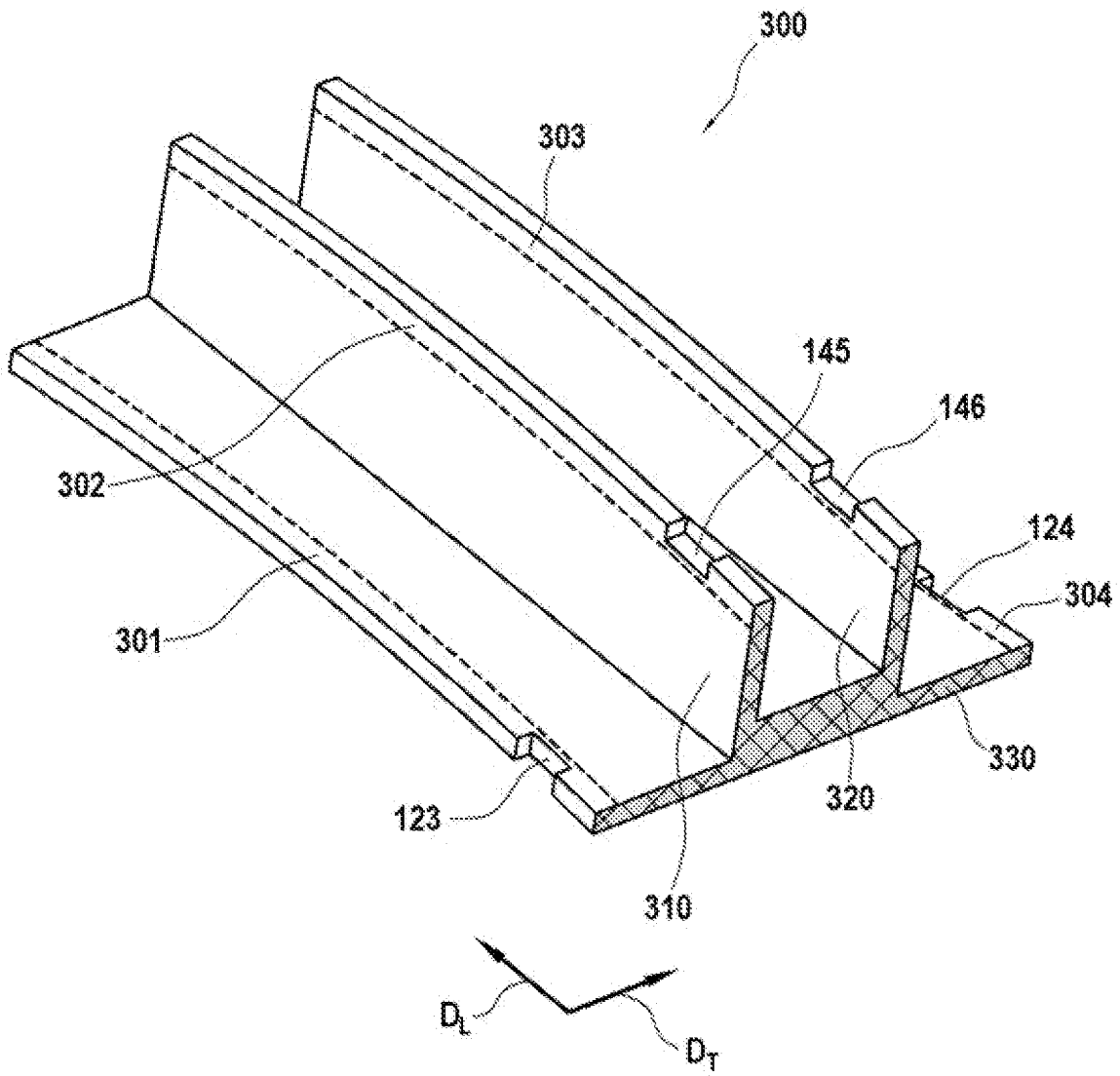




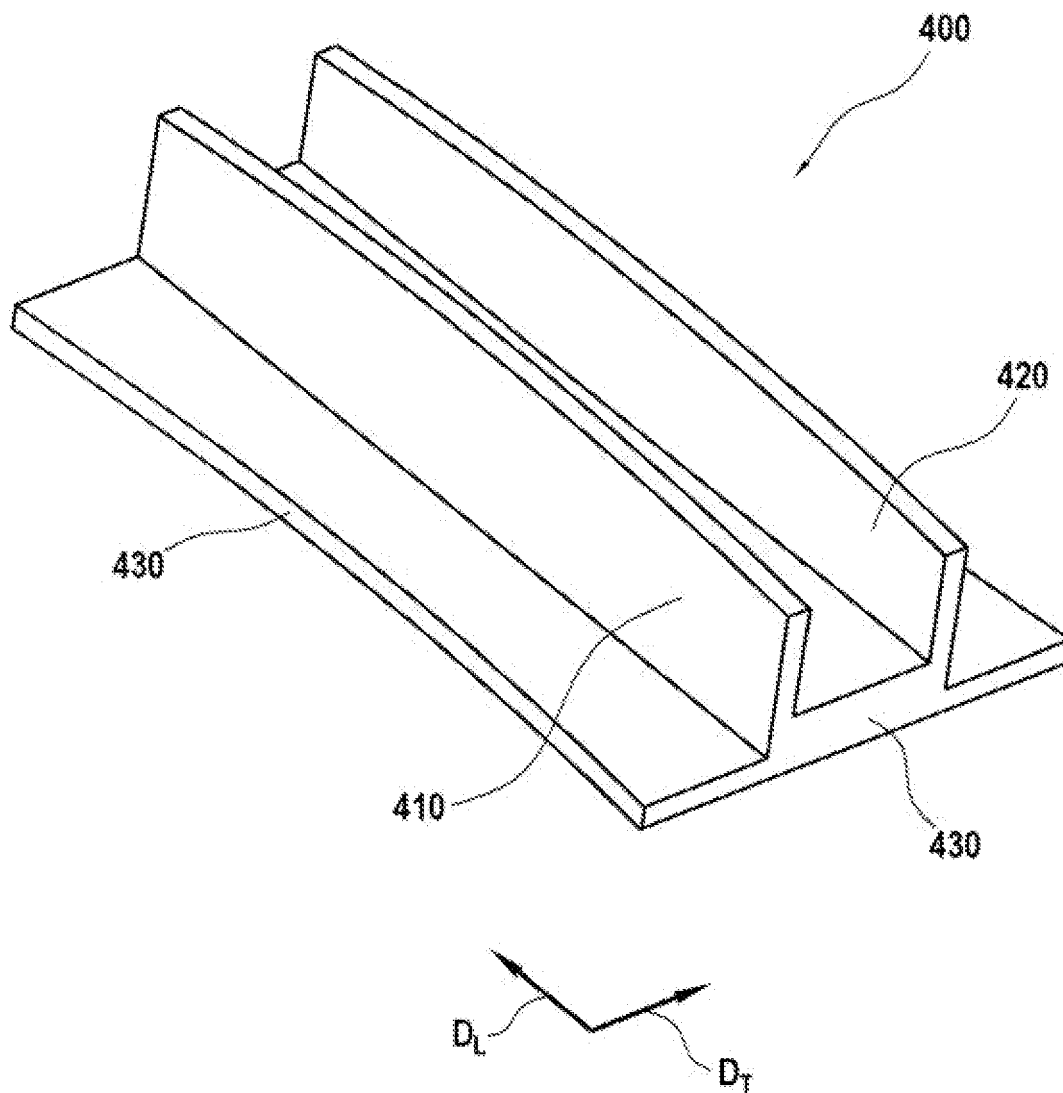
[Fig. 3]



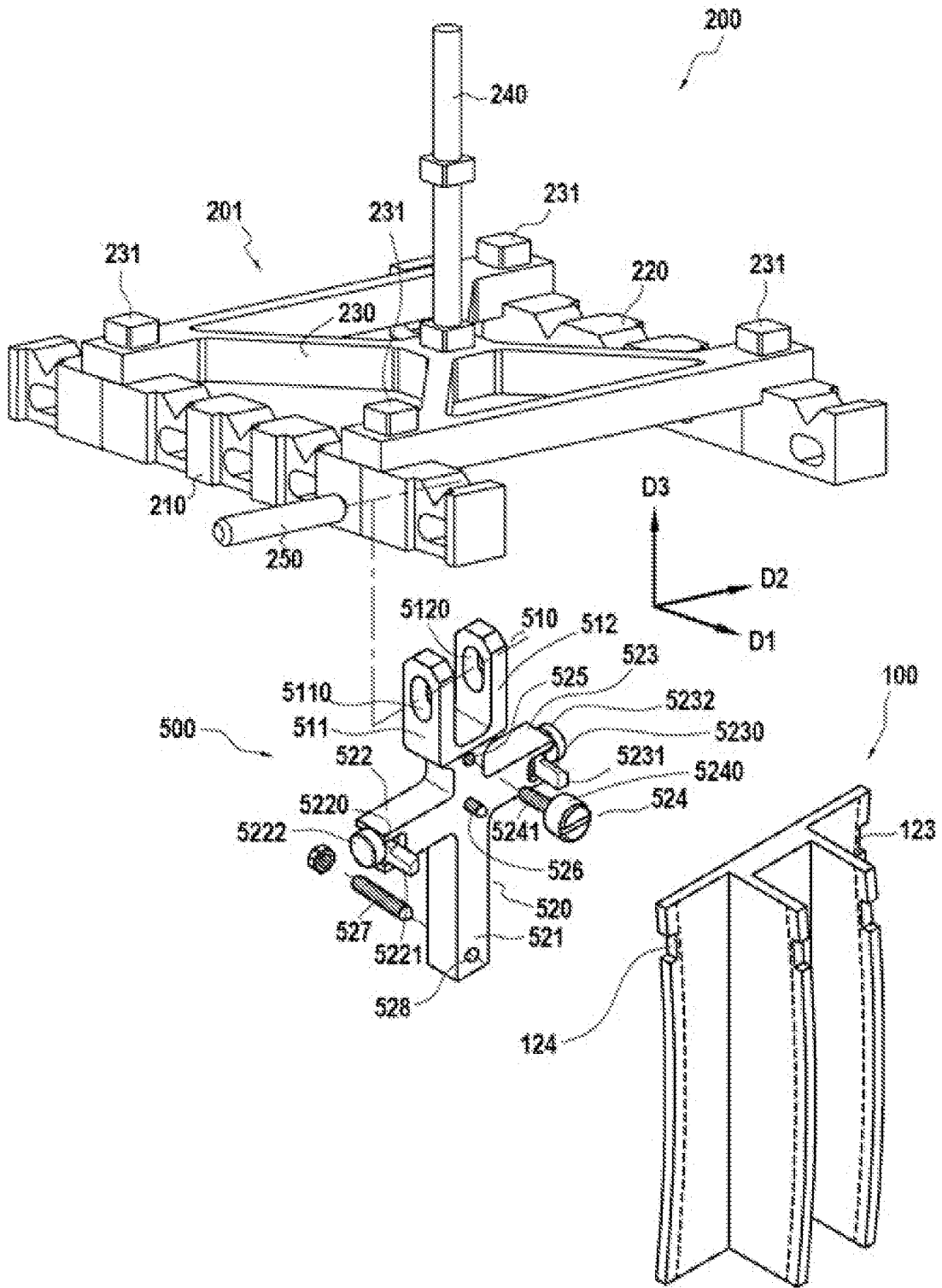
[Fig. 4]



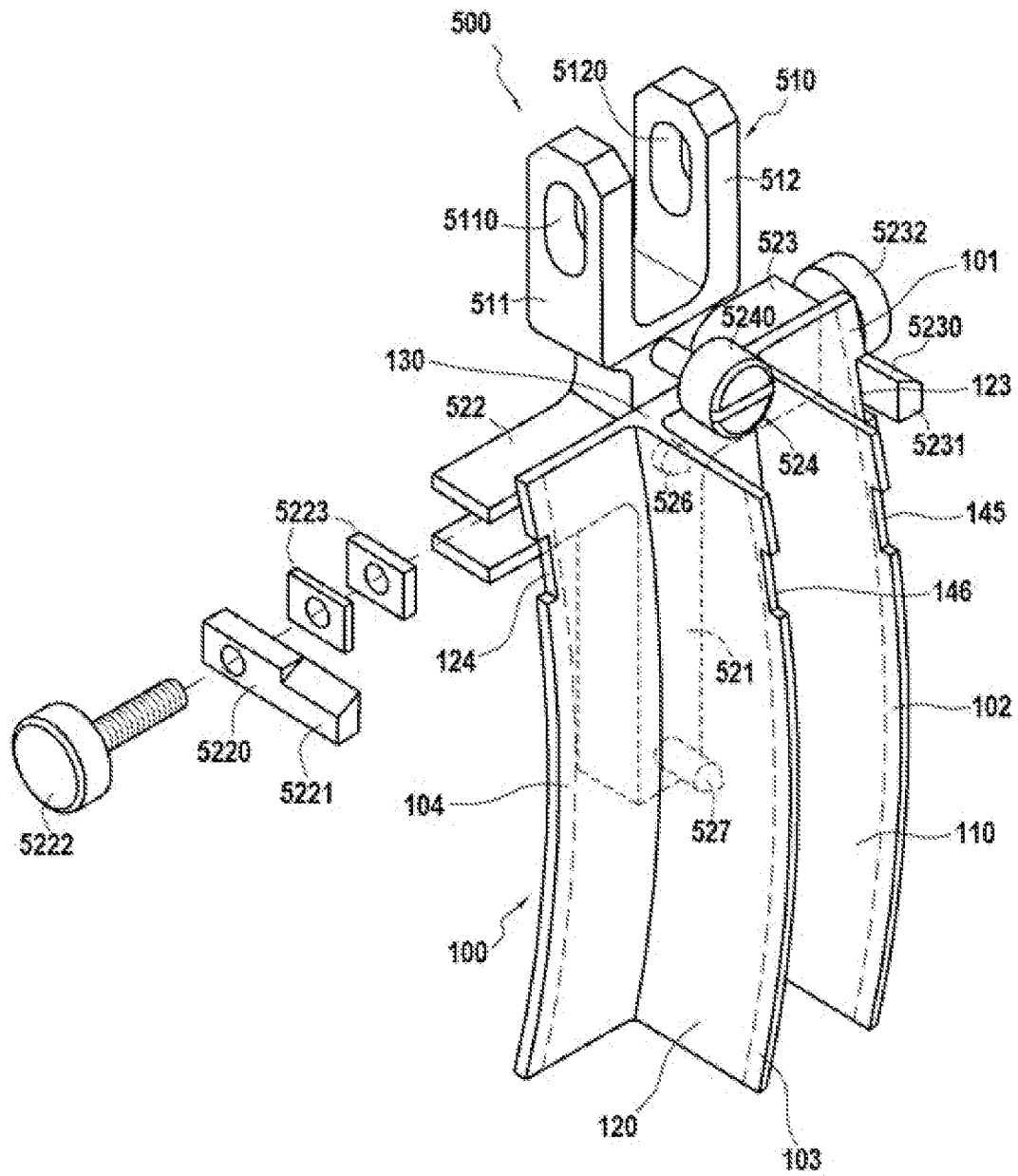
[Fig. 5]



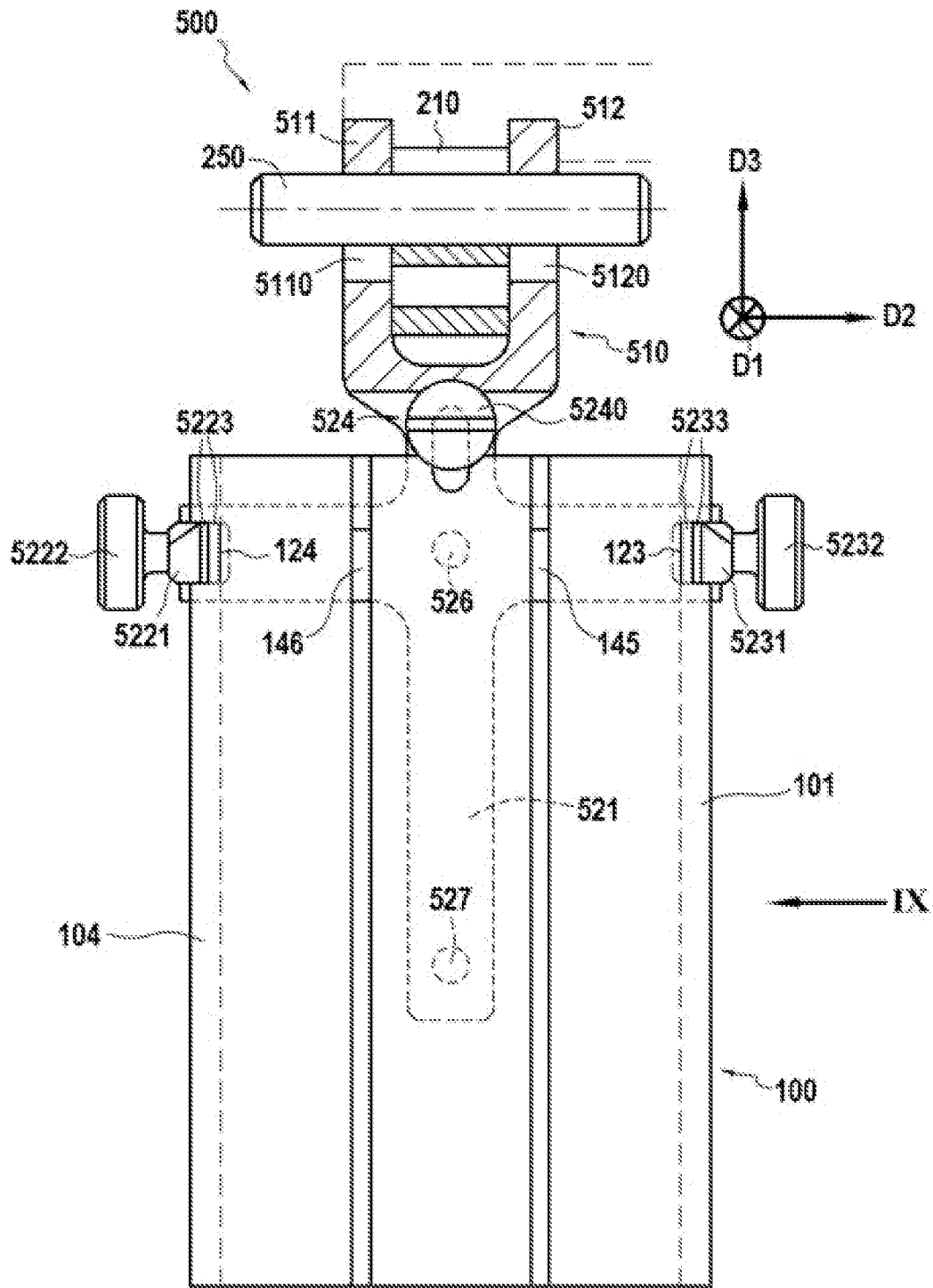
[Fig. 6]



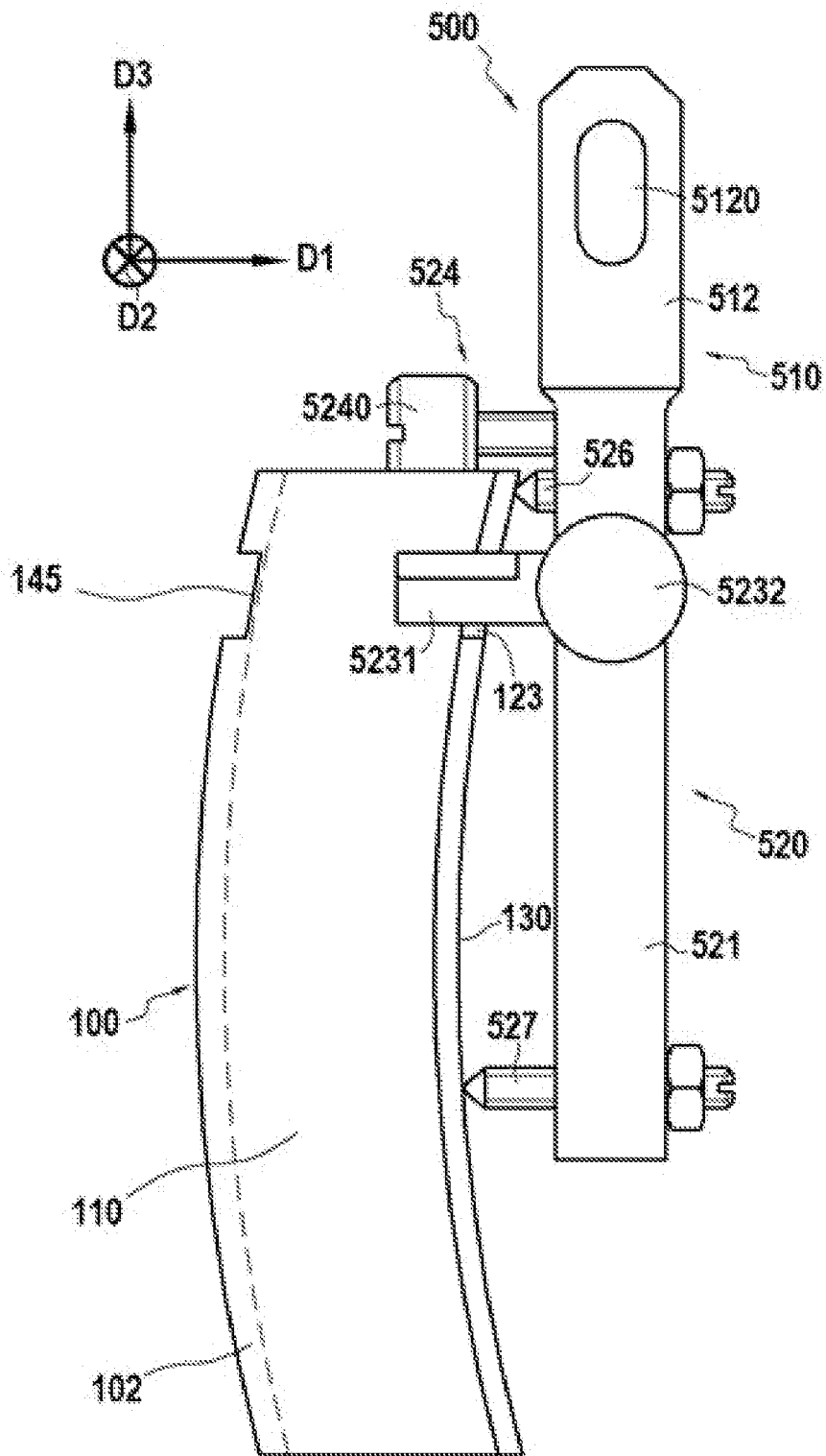
[Fig. 7]



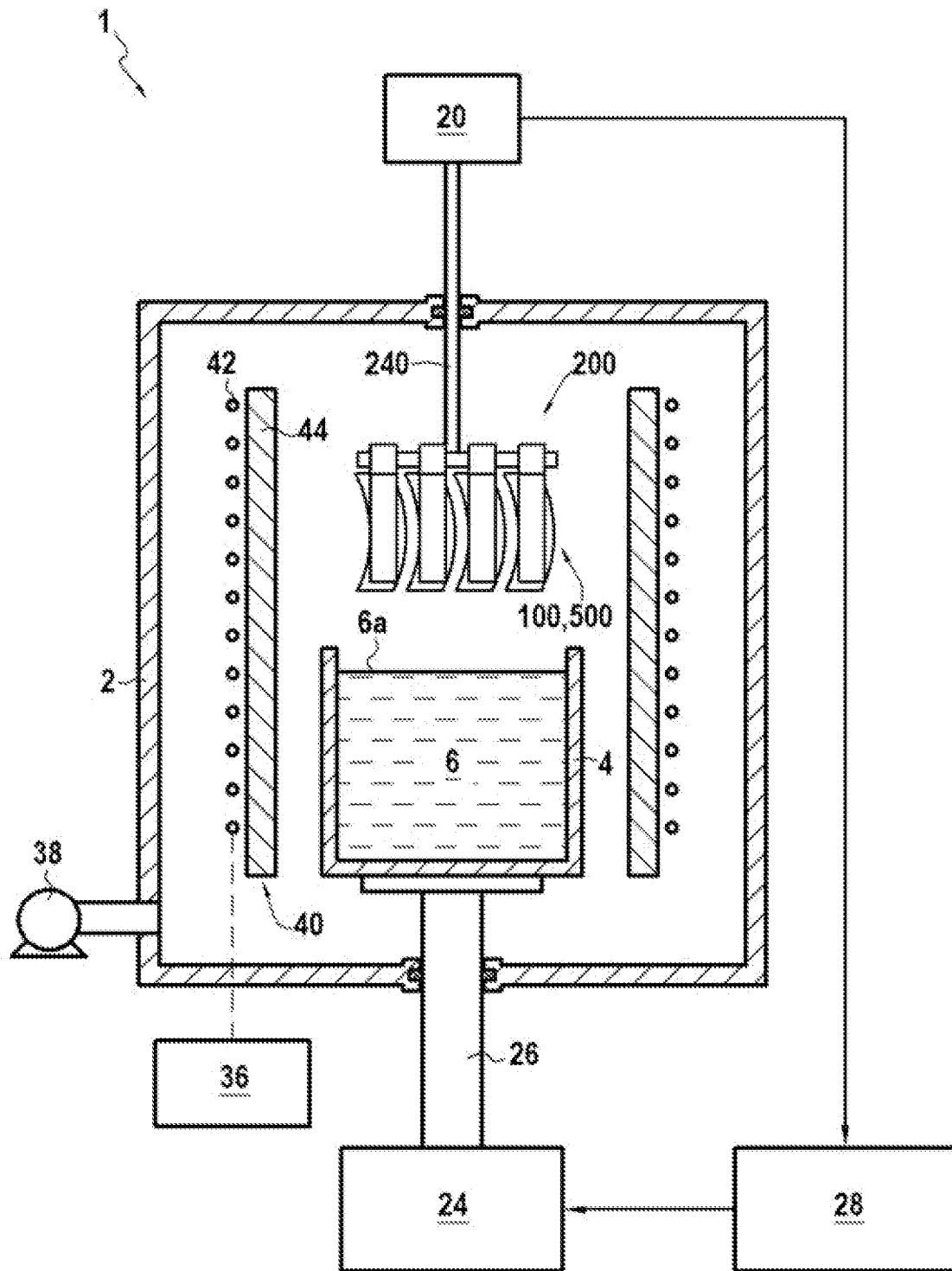
[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

**FA 919099**  
**FR 2302617**

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X, D	FR 3 093 938 A1 (SAFRAN CERAM [FR]; IRT ANTOINE DE SAINT EXUPERY [FR]) 25 septembre 2020 (2020-09-25) * alinéas [0044] - [0051], [0055], [0062]; figures 1-5, 8-10 * -----	1, 3, 7-9	B22C 13/10 B22D 19/02 B29C 70/10 B29C 70/86
A	CA 2 857 452 A1 (SNECMA [FR]; HERAKLES [FR]) 6 juin 2013 (2013-06-06) * page 12, ligne 8 - page 13, ligne 2; figures 10-12 * * page 17, ligne 2 - page 18, ligne 20; figures 16-19 * * figures 5-9 * -----	1-9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  C04B B22D C22C F01D B29B
A	CA 3 055 477 A1 (SAFRAN CERAM [FR]; SAFRAN [FR]) 13 septembre 2018 (2018-09-13) * revendications 1-3; figures 1-3, 10-13 * -----	1-9	
A	CA 2 848 018 A1 (SNECMA [FR]; HERAKLES [FR]) 14 mars 2013 (2013-03-14) * figures 2, 3, 9 * * page 13, lignes 29-36 * * page 20, lignes 25-28 * -----	1-9	
A	US 10 190 426 B2 (HERAKLES [FR]; SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR]; SAFRAN CERAM [FR]) 29 janvier 2019 (2019-01-29) * revendication 1; figures 5-8 * -----	1-9	
A	US 2012/027572 A1 (DENECE FRANCK ROGER DENIS [FR] ET AL) 2 février 2012 (2012-02-02) * alinéas [0030], [0044], [0049] - [0051], [0055] - [0058], [0065]; revendication 23; figures 6-8 * -----	1-9	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
8 décembre 2023		Sow, Eve	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2302617 FA 919099**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **08-12-2023**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
<b>FR 3093938</b>	<b>A1</b>	<b>25-09-2020</b>	<b>CN 113574341 A</b>	<b>29-10-2021</b>
			<b>EP 3941660 A1</b>	<b>26-01-2022</b>
			<b>FR 3093938 A1</b>	<b>25-09-2020</b>
			<b>US 2022170143 A1</b>	<b>02-06-2022</b>
			<b>WO 2020188196 A1</b>	<b>24-09-2020</b>
-----				
<b>CA 2857452</b>	<b>A1</b>	<b>06-06-2013</b>	<b>CA 2857452 A1</b>	<b>06-06-2013</b>
			<b>EP 2785980 A1</b>	<b>08-10-2014</b>
			<b>FR 2983519 A1</b>	<b>07-06-2013</b>
			<b>US 2014356151 A1</b>	<b>04-12-2014</b>
			<b>WO 2013079859 A1</b>	<b>06-06-2013</b>
-----				
<b>CA 3055477</b>	<b>A1</b>	<b>13-09-2018</b>	<b>BR 112019018554 A2</b>	<b>14-04-2020</b>
			<b>CA 3055477 A1</b>	<b>13-09-2018</b>
			<b>CN 110382444 A</b>	<b>25-10-2019</b>
			<b>EP 3592716 A1</b>	<b>15-01-2020</b>
			<b>FR 3063725 A1</b>	<b>14-09-2018</b>
			<b>RU 2019131337 A</b>	<b>07-04-2021</b>
			<b>US 2020370170 A1</b>	<b>26-11-2020</b>
			<b>WO 2018162827 A1</b>	<b>13-09-2018</b>
-----				
<b>CA 2848018</b>	<b>A1</b>	<b>14-03-2013</b>	<b>BR 112014005409 A2</b>	<b>13-06-2017</b>
			<b>CA 2848018 A1</b>	<b>14-03-2013</b>
			<b>CN 103796818 A</b>	<b>14-05-2014</b>
			<b>EP 2753466 A2</b>	<b>16-07-2014</b>
			<b>FR 2979573 A1</b>	<b>08-03-2013</b>
			<b>JP 6038153 B2</b>	<b>07-12-2016</b>
			<b>JP 2014529708 A</b>	<b>13-11-2014</b>
			<b>RU 2014113419 A</b>	<b>20-10-2015</b>
			<b>WO 2013034857 A2</b>	<b>14-03-2013</b>
-----				
<b>US 10190426</b>	<b>B2</b>	<b>29-01-2019</b>	<b>BR 112016019941 A2</b>	<b>15-08-2017</b>
			<b>CA 2940565 A1</b>	<b>11-09-2015</b>
			<b>CN 106103904 A</b>	<b>09-11-2016</b>
			<b>EP 3114324 A2</b>	<b>11-01-2017</b>
			<b>FR 3018308 A1</b>	<b>11-09-2015</b>
			<b>JP 6649264 B2</b>	<b>19-02-2020</b>
			<b>JP 2017517663 A</b>	<b>29-06-2017</b>
			<b>RU 2016139110 A</b>	<b>06-04-2018</b>
			<b>US 2017074110 A1</b>	<b>16-03-2017</b>
			<b>WO 2015132523 A2</b>	<b>11-09-2015</b>
-----				
<b>US 2012027572</b>	<b>A1</b>	<b>02-02-2012</b>	<b>BR PI1013342 A2</b>	<b>29-03-2016</b>
			<b>CA 2750938 A1</b>	<b>16-09-2010</b>
			<b>CN 102272419 A</b>	<b>07-12-2011</b>
			<b>EP 2406466 A1</b>	<b>18-01-2012</b>

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2302617 FA 919099**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **08-12-2023**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
		<b>ES 2398727 T3</b>	<b>21-03-2013</b>
		<b>JP 5646517 B2</b>	<b>24-12-2014</b>
		<b>JP 2012519803 A</b>	<b>30-08-2012</b>
		<b>RU 2011140942 A</b>	<b>20-04-2013</b>
		<b>US 2012027572 A1</b>	<b>02-02-2012</b>
		<b>WO 2010103213 A1</b>	<b>16-09-2010</b>
-----			