

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 09.12.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 14.06.24 Bulletin 24/24.

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 ano-
nyme — FR.

72 Inventeur(s) : PLANCKEEL Aline, ROUSSILLE Clé-
ment, Marie, Benoît, MATEO Julien, André, Roger et
LEFEBVRE Marie.

73 Titulaire(s) : SAFRAN CERAMICS Société anonyme.

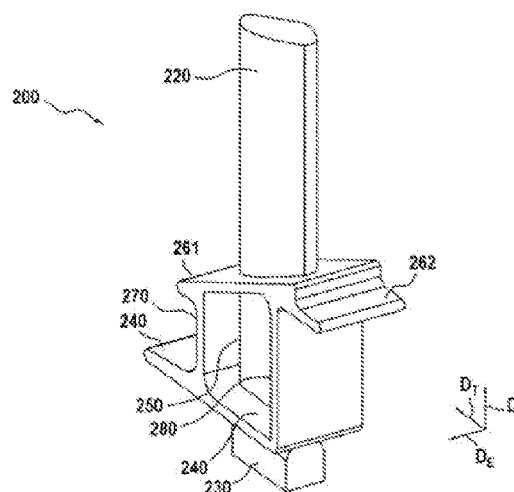
74 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

54 Préforme d'aube en une seule pièce intégrant des portions de tissu unidirectionnel traversantes.

57 Préforme d'aube en une seule pièce intégrant des por-
tions de tissu unidirectionnel traversantes

Une préforme fibreuse (200) d'aube pour une turboma-
chine présentant un tissage tridimensionnel ou multi-
couches comprenant en une seule pièce une partie de
préforme de pied (230), une partie de préforme d'échasse
(250) et une partie de préforme de pale (220), au moins une
partie de préforme de plateforme inférieure (240) et au
moins une partie de préforme de plateforme supérieure
(260), la préforme comprenant en outre des parties de pré-
forme de murets amont et aval (270, 280) formées à partir
de première à quatrième portions de tissu unidirectionnel
(107, 108, 109, 110).

Figures pour l'abrégi : Fig.5A et 5B.



Description

Titre de l'invention : Préforme d'aube en une seule pièce intégrant des portions de tissu unidirectionnel traversantes

Domaine technique

[0001] La présente invention se rapporte au domaine des aubes en matériau composite comportant un renfort fibreux densifié par une matrice. Le domaine visé est celui d'aubes de turbines à gaz pour moteurs aéronautiques ou turbines industrielles.

Technique antérieure

[0002] La réalisation d'aubes en matériau composite pour des turbomachines a déjà été proposée.

[0003] Les matériaux composites à matrice organique (CMO) et les matériaux composites à matrice céramique (CMC) viennent en remplacement des pièces en matériau métallique dans certaines parties des turbomachines. Leur utilisation contribue à optimiser les performances des aéronefs notamment par l'amélioration du rendement de la turbomachine et la baisse de la masse globale de la turbomachine, réduisant de manière significative les émissions nocives pour l'environnement (CO, CO₂, NO_x, ...).

[0004] Le document US 9 086 454 décrit la fabrication d'une aube de turbomachine en matériau composite comprenant un renfort fibreux densifié par une matrice. De façon plus précise, ce procédé présente la particularité que l'ébauche fibreuse réalisée par tissage tridimensionnel est mise en forme pour obtenir une préforme fibreuse en une seule pièce ayant une première partie formant préforme de pale et pied d'aube et au moins une deuxième partie formant préforme de plateforme d'aube. Ainsi, après densification de la préforme, il est possible d'obtenir une aube en matériau composite ayant un renfort fibreux constitué par la préforme et densifié par la matrice, et formant une seule pièce avec plateforme munie de becquets de recouvrement. La réalisation du renfort fibreux par tissage tridimensionnel en une seule pièce présente plusieurs avantages comme notamment celui de conférer à l'aube de très bonnes propriétés mécaniques, en particulier une très bonne résistance au délaminage, et celui de permettre la réalisation de pièce de géométries complexes.

[0005] Sur une aube de turbine à gaz, des fonctions secondaires d'étanchéité et d'aérodynamisme sont à prévoir. En partie inférieure de l'aube, c'est-à-dire au voisinage du pied d'aube, ces fonctions sont assurées par des plateformes reliées entre elles par des murets. Dans le cas d'une aube en matériau composite ayant un renfort fibreux réalisé par tissage tridimensionnel en une seule pièce, le déploiement des plateformes et des murets lors de la mise en forme de l'ébauche fibreuse (réalisation de la préforme de l'aube) peut s'avérer difficile en raison des limites de la déployabilité des

textures tissées tridimensionnel et de la problématique du point triple à l'intersection des murets et du pied d'aube.

- [0006] Une autre difficulté réside dans la découpe de l'ébauche fibreuse. En effet, en complément de l'opération de détournage, certaines découpes locales non traversantes sont nécessaires. Ces découpes sont actuellement uniquement mécaniques, et sollicitent/déforment fortement les ébauches tissés. En outre, les découpes étant réalisées manuellement, elles sont peu précises (1 à 2mm) et présentent un profil peu régulier.

Exposé de l'invention

- [0007] Il est donc souhaitable de pouvoir proposer une solution pour la réalisation d'aubes en matériau composite à partir d'un tissage tridimensionnel qui ne présente pas les inconvénients précités.

- [0008] A cet effet, la présente invention propose un procédé de fabrication d'une préforme fibreuse d'aube de turbomachine en matériau composite, le procédé comportant :

- [0009] - la formation d'une ébauche fibreuse par tissage tridimensionnel ou multicouches entre une pluralité de couches de fils de chaîne s'étendant, suivant une direction longitudinale correspondant à la direction longitudinale de l'aube à réaliser et une pluralité de couches de fils de trame suivant une direction transversale correspondant à la direction transversale de l'aube à réaliser, l'ébauche fibreuse comprenant :
- un premier ensemble de couches de fils de chaîne et de trame qui sont liées entre elles, le premier ensemble s'étendant, suivant la direction longitudinale, entre des première et deuxième extrémités longitudinales, suivant la direction transversale entre des première et deuxième extrémités transversales destinées à former respectivement un bord d'attaque et un bord de fuite de l'aube, et suivant une direction d'épaisseur de l'ébauche, entre des première et deuxième faces destinées à former respectivement une face intrados et une face extrados de l'aube, ledit premier ensemble formant une première partie de l'ébauche correspondant au moins à une partie de pale d'aube,
 - un deuxième ensemble de couches de fils de chaîne et de trame qui sont liées entre elles au moins localement pour former une deuxième partie de l'ébauche correspondant au moins à une partie de préforme de plateforme inférieure d'aube,
 - un troisième ensemble de couches de fils de chaîne et de trame qui sont liées entre elles au moins localement pour former une troisième partie de l'ébauche correspondant au moins à une partie de préforme de plateforme supérieure d'aube,
- les fils de la première partie n'étant pas liés aux fils des deuxième et troisième parties,

l'ébauche fibreuse comprenant en outre du côté de la première face de la première partie des première et deuxième portions de tissu unidirectionnel présentes respectivement au voisinage des première et deuxième extrémités transversales de la

première partie et du côté de la deuxième face de ladite première partie des troisième et quatrième portions de tissu unidirectionnel présentes respectivement au voisinage des première et deuxième extrémités transversales de la première partie,

les première à quatrième portions de tissu unidirectionnel comprenant des fils de chaîne non tissés avec des fils de trame et traversant chacun les deuxième et troisième parties de l'ébauche,

- la formation, à partir de l'ébauche fibreuse, d'une préforme fibreuse de l'aube à fabriquer comprenant au moins une partie de préforme de pale d'aube formée à partir de la première partie de l'ébauche, au moins une partie de préforme de plateforme inférieure d'aube formée à partir de la deuxième partie de l'ébauche, au moins une partie de préforme de plateforme supérieure d'aube formée à partir de la troisième partie de l'ébauche, et des parties de préforme de murets formées à partir des première à quatrième portions de tissu unidirectionnel.

[0010] La mise en forme des plateformes et des murets est grandement facilitée par la réalisation des murets à partir de couches de fils unidirectionnels maintenues par deux ensembles textiles de part et d'autre destinés à former les plateformes inférieure et extérieure. Il est ainsi possible de réaliser des plateformes, des becquets et des murets selon des formes variées et complexes, et ce à partir d'une ébauche fibreuse tissée en une seule pièce. Les contraintes et tensions induites dans l'ébauche peuvent être considérablement réduites grâce au relâchement procuré par la présence des portions de tissu unidirectionnel.

[0011] En outre, le procédé de l'invention permet de s'affranchir des opérations de découpe manuelles lors de la mise en forme de l'ébauche fibreuse.

[0012] Selon une caractéristique du procédé de l'invention, la première partie de l'ébauche est traversée par des fils de la deuxième partie d'ébauche et par des fils de la troisième partie d'ébauche.

[0013] Selon une autre caractéristique du procédé de l'invention, la préforme fibreuse d'aube comprend en outre une partie de préforme de premier becquet amont formée à partir de la deuxième partie de l'ébauche et de sur-longueurs des première et troisième portions de tissus unidirectionnel.

[0014] Selon une autre caractéristique du procédé de l'invention, la préforme fibreuse d'aube comprend en outre une partie de préforme de deuxième becquet amont formée à partir de la troisième partie de l'ébauche et de sur-longueurs des première et troisième portions de tissus unidirectionnel, une partie de préforme de becquet aval formée à partir de la troisième partie de l'ébauche et de sur-longueurs des deuxième et quatrième portions de tissus unidirectionnel.

[0015] Selon une autre caractéristique du procédé de l'invention, le premier ensemble de couches de fils de chaîne et de trame liées entre elles formant la première partie de

l'ébauche correspond en outre à des parties de préforme de pied et d'échasse, la formation de la préforme fibreuse de l'aube à fabriquer comprenant des parties de préforme de pied et d'échasse d'aube mobile formée à partir de la première partie de l'ébauche.

- [0016] L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'une aube de turbomachine en matériau composite, le procédé comportant :
- [0017] - la fabrication d'une préforme d'aube de turbomachine selon le procédé de fabrication d'une préforme fibreuse d'aube,
- [0018] - la densification de la préforme par une matrice pour obtenir une aube en matériau composite ayant au moins une pale, au moins une plateforme inférieure, au moins une plateforme supérieure et des murets.
- [0019] L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'une aube mobile de turbomachine en matériau composite, le procédé comportant :
- [0020] - la fabrication d'une préforme d'aube mobile de turbomachine selon le procédé de fabrication d'une préforme fibreuse d'aube,
- [0021] - la densification de la préforme par une matrice pour obtenir une aube mobile en matériau composite ayant un pied, une échasse, une pale, au moins une plateforme inférieure, au moins une plateforme supérieure et des murets.
- [0022] L'invention a également pour objet une préforme fibreuse d'aube pour une turbomachine présentant un tissage tridimensionnel ou multicouches comprenant en une seule pièce au moins une partie de préforme de pale, au moins une partie de préforme de plateforme inférieure et au moins une partie de préforme de plateforme supérieure, la préforme comprenant en outre des parties de préforme de murets amont et aval formées à partir de première à quatrième portions de tissu unidirectionnel.
- [0023] L'invention a encore pour objet une préforme fibreuse d'aube mobile pour une turbomachine présentant un tissage tridimensionnel ou multicouches comprenant en une seule pièce une partie de préforme de pied, une partie de préforme d'échasse et une partie de préforme de pale, au moins une partie de préforme de plateforme inférieure et au moins une partie de préforme de plateforme supérieure, la préforme comprenant en outre des parties de préforme de murets amont et aval formées à partir de première à quatrième portions de tissu unidirectionnel.
- [0024] Selon une caractéristique de la préforme de l'invention, celle-ci comprend en outre une partie de préforme de premier becquet amont comprenant des sur-longueurs des première et troisième portions de tissus unidirectionnel.
- [0025] Selon une autre caractéristique de la préforme de l'invention, celle-ci comprend en outre une partie de préforme de deuxième becquet amont comprenant des sur-longueurs des première et troisième portions de tissus unidirectionnel, une partie de préforme de becquet aval comprenant des sur-longueurs des deuxième et quatrième

portions de tissus unidirectionnel.

[0026] Selon une autre caractéristique de la préforme de l'invention, celle-ci comprend en outre une partie de préforme de pied et une partie de préforme d'échasse.

[0027] L'invention concerne en outre une aube de turbomachine en matériau composite comprenant un renfort fibreux densifié par une matrice, l'aube comprenant au moins une pale, au moins une plateforme inférieure, au moins une plateforme supérieure et des murets amont et aval, le renfort fibreux comprenant une préforme fibreuse d'aube selon l'invention.

[0028] L'invention concerne en outre une aube mobile de turbomachine en matériau composite comprenant un renfort fibreux densifié par une matrice, l'aube comprenant un pied, une échasse, une pale, au moins une plateforme inférieure, au moins une plateforme supérieure et des murets amont et aval, le renfort fibreux comprenant une préforme fibreuse d'aube selon l'invention.

[0029] L'invention concerne en outre un moteur aéronautique comprenant une pluralité d'aubes selon l'invention.

[0030] L'invention concerne en outre un aéronef comprenant au moins un moteur selon l'invention.

Brève description des dessins

[0031] [Fig. 1A et 1B] Les figures 1A et 1B sont des vues schématiques en perspective d'une aube mobile en matériau composite conformément à un mode de réalisation de l'invention,

[0032] [Fig. 2A et 2B] Les figures 2A et 2B illustrent de façon très schématique un exemple de disposition de trois ensembles de couches de fils et de portions de tissus unidirectionnel dans une ébauche fibreuse tissée tridimensionnelle destinée à la réalisation d'une préforme fibreuse pour une aube telle que celle illustrée en figures 1A et 1B,

[0033] [Fig. 3A, 3B, 4A, 4B, 5A et 5B] Les figures 3A, 3B, 4A, 4B, 5A et 5B illustrent des étapes successives de réalisation d'une préforme fibreuse pour une aube telle qu'illustrée par les figures 1A et 1B.

Description des modes de réalisation

[0034] L'invention est applicable à différents types d'aubes de turbomachine à plateformes intégrées. Elle est notamment applicable à des aubes fixes de compresseur, c'est-à-dire ne comportant pas de pied et d'échasse. Elle est également applicable à des aubes mobiles de compresseur et de turbine de différents corps de turbines à gaz, par exemple une aube de roue mobile de turbine basse pression (BP), telle que celle illustrée par les figures 1A et 1B.

L'aube 10 des figures 1A et 1B comprend de façon en soi bien connue, une pale 20, un pied 30 formé par une partie de plus forte épaisseur, par exemple à section en forme

de bulbe, prolongé par une échasse 32, une plateforme inférieure 40 située proche du pied 30 et munie d'un premier becquet de recouvrement amont 41, une plateforme supérieure 50 située entre la plateforme inférieure 40 et la pale 20 et munie d'un deuxième becquet de recouvrement amont 51 et d'un becquet de recouvrement aval 52, et un muret amont 60 et un muret aval 70 présents entre la plateforme inférieure 40 et la plateforme supérieure 50.

La pale 20 s'étend en direction longitudinale entre la plateforme supérieure 50 et une extrémité longitudinale 21 et présente en section transversale un profil incurvé d'épaisseur variable entre son bord d'attaque 20a et son bord de fuite 20b. L'extrémité longitudinal 21 peut être munie dans certains cas d'un talon, de becquets et de léchettes comme connu en soi (non représentées sur les figures 1A et 1B).

L'aube 10 est montée sur un rotor de turbine (non illustré) par engagement du pied 30 dans un logement de forme correspondante aménagé à la périphérie du rotor. Le pied 30 se prolonge par l'échasse 32 pour se raccorder à la face interne (ou inférieure) 52 de la plateforme supérieure 50.

A son extrémité radiale interne, la pale 20 se raccorde à la plateforme supérieure 50 sur une face externe (ou supérieure) 53 de la plateforme qui délimite, à l'intérieur, la veine d'écoulement de flux gazeux dans la turbine. Dans ses parties d'extrémité amont et aval (dans le sens F d'écoulement du flux gazeux), la plateforme inférieure 40 est précédée par un becquet de recouvrement amont 41 tandis que la plateforme supérieure 50 se termine par un becquet de recouvrement amont 51. Dans l'exemple illustré, la plateforme supérieure 50 est inclinée en formant globalement un angle non nul par rapport à la normale à la direction longitudinale de l'aube. Selon le profil souhaité de la surface intérieure de la veine d'écoulement de flux gazeux, l'angle pourrait être nul, ou la plateforme supérieure pourrait avoir un profil globalement non rectiligne, par exemple incurvé.

Les figures 2A et 2B montrent très schématiquement une ébauche fibreuse 100 à partir de laquelle une préforme fibreuse d'aube peut être mise en forme afin, après densification par une matrice et usinage éventuel, d'obtenir une aube en matériau composite à plateforme et talon intégrés telle que celle illustrée par les [Fig.1A] et 1B.

L'ébauche 100 comprend trois parties 102, 104 et 106 obtenues par tissage tridimensionnel ou tissage multicouches, seules les enveloppes de ces trois parties étant représentées sur les figures 2A et 2B. La partie 102 est destinée, après mise en forme, à constituer une partie de préforme fibreuse d'aube correspondant à une préforme de pale, d'échasse et pied d'aube. La partie 104 est destinée, après mise en forme, à constituer les parties de préforme fibreuse d'aube correspondant à des préformes de plateforme inférieure d'aube et de becquet amont d'aube. Quant à la partie 106, elle est destinée, après mise en forme, à constituer les parties de préforme fibreuse d'aube cor-

respondant à des préformes de plateforme supérieure d'aube, de becquet amont et de becquet aval d'aube.

Les trois parties 102, 104 et 106 sont sous forme de bandes fibreuses s'étendant de façon générale dans une direction longitudinale D_L correspondant à la direction longitudinale de l'aube à réaliser. La partie 102 présente, dans sa partie destinée à former une préforme de pale, une épaisseur variable déterminée en fonction de l'épaisseur de profil de la pale de l'aube à réaliser. Dans sa partie destinée à former une préforme de pied, la partie 102 présente une surépaisseur 103 déterminée en fonction de l'épaisseur du pied de l'aube à réaliser. La partie 102 s'étend, suivant une direction longitudinale D_L , entre des première et deuxième extrémités longitudinales 102c, 102d, suivant une direction transversale D_T correspondant à la direction transversale de l'aube entre des première et deuxième extrémités transversales 102e, 102f destinées à former respectivement un bord d'attaque et un bord de fuite de l'aube, et suivant une direction d'épaisseur D_E de l'ébauche, entre des première et deuxième faces 102a, 102b destinées à former respectivement une face intrados et une face extrados de l'aube. La partie d'ébauche 102 a une largeur choisie en fonction de la longueur du profil développé (à plat) de la pale et du pied de l'aube à réaliser tandis que les parties d'ébauche 104 et 106 ont chacune une largeur supérieure à I choisie en fonction des longueurs développées des plateformes inférieure et supérieure de l'aube à réaliser. Les parties d'ébauche 104 et 106 ont sensiblement la même largeur et sont chacune d'épaisseur sensiblement constante déterminée en fonction des épaisseurs des plateformes de l'aube à réaliser. Les parties 104 et 106 comprennent chacune une première partie 104a, 106a qui s'étend le long et au voisinage de la première face 102a de la partie 102 et une deuxième partie 104b, 106b qui s'étend le long et au voisinage de la deuxième face 102b de la partie 102.

Les parties 104a et 104b de la partie d'ébauche 104 se raccordent par une partie de raccordement 140c qui s'étend transversalement par rapport à la partie d'ébauche 102 à un emplacement correspondant à celui de la plateforme inférieure de l'aube à réaliser. La partie de raccordement 140c traverse la partie 102 suivant une direction sensiblement parallèle à la normale à la direction longitudinale de l'ébauche fibreuse. Les parties 106a et 106b de la partie d'ébauche 106 se raccordent par une partie de raccordement 160c qui s'étend transversalement par rapport à la partie d'ébauche 102 à un emplacement correspondant à celui de la plateforme supérieure de l'aube à réaliser. La partie de raccordement 160c traverse la bande en formant un angle α par rapport à la normale à la direction longitudinale D_L de l'ébauche fibreuse.

[0035] Comme décrit plus en détails plus loin, les parties d'ébauche 102, 104 et 106 sont tissées simultanément par tissage tridimensionnel, sans liaison, d'une part entre la partie d'ébauche 102 et les parties 104a et 104b de la partie d'ébauche 104, et d'autre

part entre la partie d'ébauche 102 et les parties 106a et 106b de la partie d'ébauche 106 et en tissant une pluralité d'ébauches 100 successives de façon continue dans la direction longitudinale D_L . Aucune liaison n'est également réalisée entre les parties 104 et 106.

Conformément à l'invention, l'ébauche fibreuse 100 comprend en outre du côté de la première face 102a de la partie 102 (du premier ensemble de couches de fils) des première et deuxième portions de tissu unidirectionnel 107 et 108 présentes respectivement au voisinage des première et deuxième extrémités transversales 102e et 102f de la partie 102 (du premier ensemble) ([Fig.2A]) et du côté de la deuxième face 102b de la partie 102 (dudit premier ensemble) des troisième et quatrième portions de tissu unidirectionnel 109 et 110 présentes respectivement au voisinage des première et deuxième extrémités transversales 102e et 102f de la partie 102 (dudit premier ensemble) ([Fig.2B]).

Les première à quatrième portions de tissu unidirectionnel 107, 108, 109 et 110 comprennent chacune des fils de chaîne non tissés avec des fils de trame. Chacune des portions de tissu unidirectionnel 107, 108, 109 et 110 traverse les parties de 104 et 106 au niveau de leur partie de raccordement 140c, 160c.

[0036] Les figures 3A, 3B, 4A, 4B, 5A à 5B montrent très schématiquement comment une préforme fibreuse ayant une forme proche de celle de l'aube à fabriquer peut être obtenue à partir de l'ébauche fibreuse 100. La partie ou bande fibreuse 102 est coupée à une extrémité dans la surépaisseur 103 et à une autre extrémité opposée pour avoir une bande 120 de longueur correspondant à la dimension longitudinale de l'aube à fabriquer avec une partie renflée 130 formée par une partie de la surépaisseur 103 et située à un emplacement correspondant à la position du pied de l'aube à fabriquer.

En outre, des découpes sont réalisées dans les première et deuxième parties 104a et 104b de la partie d'ébauche 104 pour laisser subsister des tronçons 140a et 140b de part et d'autre de la partie de raccordement 140c comme le montre les figures 3A et 3B. De même, des découpes sont pratiquées dans les première et deuxième parties 106a et 106b de la partie d'ébauche 106 pour laisser subsister des tronçons 160a et 160b de part et d'autre de la partie de raccordement 160c comme le montre les figures 3A et 3B. Les longueurs des tronçons 140a, 140b et 160a, 160b sont déterminées en fonction des longueurs de plateforme et de talon dans l'aube à fabriquer.

Des découpes sont également réalisées dans les première à quatrième portions de tissu unidirectionnel 107, 108, 109 et 110. Plus précisément, une première découpe est réalisée dans les portions de tissu unidirectionnel 107, 108, 109 et 110 à une distance déterminée en-dessous de partie de raccordement 140c de manière à laisser subsister des premières sur-longueurs 107a, 108a, 109a et 110a. Une deuxième découpe est réalisée dans les portions de tissu unidirectionnel 107, 108, 109 et 110 à une distance

déterminée au-dessus de partie de raccordement 160c de manière à laisser subsister des deuxièmes sur-longueurs 107c, 108c, 109c et 110c. Les parties 107b, 108b, 109b et 110b des portions de tissu unidirectionnel 107, 108, 109 et 110 présentes entre les tronçons 140a et 140b, d'une part, et les tronçons 160a et 160b, d'autre part, sont destinés à former des parties de préforme de muret comme expliqué ci-après.

[0037] Du fait de la traversée, d'une part entre la partie 102 et les parties 104a et 104b de la partie 104, et d'autre part entre la partie 102 et les parties 106a et 106b de la partie 106, les tronçons 140a, 140b, 160a et 160b peuvent être rabattus perpendiculairement à la bande 102 sans couper de fils pour former des plateaux 140, 160, comme montré par les figures 4A et 4B. Les premières sur-longueurs 107a, 108a, 109a et 110a sont rabattues sur la face interne 141 du plateau 140 (non représenté sur les figures 4A et 4B) tandis que les deuxièmes sur-longueurs 107c, 108c, 109c et 110c sont rabattues sur la face externe 162 du plateau 160.

[0038] Une préforme fibreuse 200 de l'aube à fabriquer est ensuite obtenue par moulage avec déformation de la partie d'ébauche 102 pour reproduire le profil incurvé de la pale de l'aube. Le plateau inférieur 140 est également déformé pour reproduire une forme semblable à celle de la plateforme inférieure de l'aube avec un becquet amont de recouvrement. De même, le plateau 160 est déformé pour reproduire une forme semblable à celle de la plateforme supérieure de l'aube avec des becquets amont et aval de recouvrement comme représentée sur les [Fig.5A] et 5B. Les parties 107b, et 108b des portions de tissu unidirectionnel 107 et 108 présentes entre le plateau inférieur 140 et le plateau supérieur 160 sont déformées pour reproduire une forme semblable à celle du muret amont de l'aube. Les parties 109b, et 110b des portions de tissu unidirectionnel 109 et 110 présentes entre le plateau inférieur 140 et le plateau supérieur 160 sont déformées pour reproduire une forme semblable à celle du muret aval de l'aube.

[0039] On obtient ainsi une préforme 200 avec une partie de préforme de pale 220, une partie de préforme de pied 230, une partie de préforme d'échasse 250, une partie de préforme de plateforme inférieure 240 avec une partie de préforme de premier becquet amont 241, une partie de préforme de plateforme supérieure 260 avec une partie de préforme de deuxième becquet amont 261 et une partie de préforme de becquet aval 262, une partie de préforme de muret amont 270 et une partie de préforme de muret aval 280.

[0040] On procède ensuite à la densification de la préforme fibreuse 200. La densification de la préforme fibreuse destinée à former le renfort fibreux de l'aube à fabriquer consiste à combler la porosité de la préforme, dans tout ou partie du volume de celle-ci, par le matériau constitutif de la matrice. Cette densification peut être réalisée de façon connue en soi suivant le procédé par voie liquide (CVL) ou le procédé par voie

gazeuse (CVI), ou le procédé d'injection de charge céramique (Slurry Cast) ou le procédé d'imprégnation d'un alliage de silicium (MI ou RMI) ou encore suivant un enchaînement d'un ou plusieurs de ces procédés.

- [0041] Le procédé par voie liquide consiste à imprégner la préforme par une composition liquide contenant un précurseur du matériau de la matrice. Le précurseur se présente habituellement sous forme d'un polymère, tel qu'une résine époxyde à hautes performances, éventuellement dilué dans un solvant. La préforme est placée dans un moule pouvant être fermé de manière étanche avec un logement ayant la forme de l'aube finale moulée. Ensuite, on referme le moule et on injecte le précurseur liquide de matrice (par exemple une résine) dans tout le logement pour imprégner toute la partie fibreuse de la préforme.
- [0042] La transformation du précurseur en matrice, à savoir sa polymérisation, est réalisée par traitement thermique, généralement par chauffage du moule, après élimination du solvant éventuel et réticulation du polymère, la préforme étant toujours maintenue dans le moule ayant une forme correspondant à celle de la pièce à réaliser.
- [0043] Dans le cas de la formation d'une matrice carbone ou céramique, le traitement thermique consiste à pyrolyser le précurseur pour transformer la matrice en une matrice carbone ou céramique selon le précurseur utilisé et les conditions de pyrolyse. A titre d'exemple, des précurseurs liquides de céramique, notamment de SiC ou SiCN, peuvent être des résines de type polycarbosilane (PCS) ou polytitanocarbosilane (PTCS) ou polysilazane (PSZ), tandis que des précurseurs liquides de carbone peuvent être des résines à taux de coke relativement élevé, telles que des résines phénoliques. Plusieurs cycles consécutifs, depuis l'imprégnation jusqu'au traitement thermique, peuvent être réalisés pour parvenir au degré de densification souhaité.
- [0044] Dans le cas notamment de la formation d'une matrice organique, la densification de la préforme fibreuse peut être réalisée par le procédé bien connu de moulage par transfert dit RTM ("Resin Transfert Moulding"). Conformément au procédé RTM, on place la préforme fibreuse dans un moule présentant la forme extérieure de la pièce à réaliser. Une résine thermodurcissable est injectée dans l'espace interne du moule qui comprend la préforme fibreuse. Un gradient de pression est généralement établi dans cet espace interne entre l'endroit où est injectée la résine et les orifices d'évacuation de cette dernière afin de contrôler et d'optimiser l'imprégnation de la préforme par la résine.
- [0045] La densification de la préforme peut encore être réalisée par imprégnation de polymère et pyrolyse (PIP), ou par imprégnation d'une barbotine (« slurry cast »), contenant par exemple du SiC et des liants organiques, suivie d'une infiltration avec du silicium liquide (« Melt infiltration »).
- [0046] La densification de la préforme fibreuse peut-être également réalisée, de façon

connue, par voie gazeuse par infiltration chimique en phase vapeur de la matrice (CVI). La préforme fibreuse correspondant au renfort fibreux de l'aube à réaliser est placée dans un four dans lequel est admise une phase gazeuse réactionnelle. La pression et la température régnant dans le four et la composition de la phase gazeuse sont choisies de manière à permettre la diffusion de la phase gazeuse au sein de la porosité de la préforme pour y former la matrice par dépôt, au cœur du matériau au contact des fibres, d'un matériau solide résultant d'une décomposition d'un constituant de la phase gazeuse ou d'une réaction entre plusieurs constituants, contrairement aux conditions de pression et températures propres aux procédés CVD ("Chemical Vapor Deposition") qui conduisent exclusivement à un dépôt à la surface du matériau.

- [0047] La formation d'une matrice SiC peut être obtenue avec du méthyltrichlorosilane (MTS) donnant du SiC par décomposition du MTS tandis qu'une matrice carbone peut être obtenue avec des gaz hydrocarbures tels que méthane et/ou propane donnant le carbone par craquage.
- [0048] Une densification combinant voie liquide et voie gazeuse peut être également utilisée pour faciliter la mise en œuvre, limiter les coûts et les cycles de fabrication tout en obtenant des caractéristiques satisfaisantes pour l'utilisation envisagée.
- [0049] Les procédés de densification décrits ci-avant permettent de réaliser, à partir de la structure fibreuse de l'invention, principalement des pièces en matériau composite à matrice organique (CMO), à matrice carbone (C/C) et à matrice céramique (CMC).
- [0050] Dans le cas de la réalisation d'une pièce en matériau composite oxyde/oxyde, la structure fibreuse est imprégnée avec une barbotine chargée de particules d'oxyde réfractaire. Après élimination de la phase liquide de la barbotine, la préforme ainsi obtenue est soumise à un traitement thermique afin de fritter les particules et obtenir une matrice d'oxyde réfractaire. L'imprégnation de la structure peut être réalisée avec des procédés utilisant un gradient de pression, comme les procédés de type moulage par injection dits « RTM » ou aspiration de poudre submicronique dits « APS ».
- [0051] Après densification, on obtient l'aube mobile 10 en matériau composite qui, comme illustré sur les figures 1A et 1B, comporte dans sa partie inférieure un pied 30 formé par la partie de préforme de pied 230 de la préforme fibreuse 200 qui se prolonge par une échasse 32 formée par la partie de préforme d'échasse 250 de la préforme 200 et une pale ou profil aérodynamique 20 formée par la partie de préforme de pale 220 de la préforme 200. La pale 20 comporte un bord d'attaque 20a et un bord de fuite 20b correspondant respectivement aux premier et deuxième bords transversaux de la préforme fibreuse 200. L'aube 10 comprend en outre une plateforme inférieure 40 correspondant à la partie de préforme de plateforme inférieure 240 de la préforme 200, une plateforme supérieure 50 correspondant à la partie de préforme supérieure 260 de la préforme 200, un muret amont 60 correspondant à la partie de préforme de muret

amont 270 de la préforme 200, un premier becquet de recouvrement amont 41 correspondant à la partie de préforme de premier becquet amont 241 de la préforme 200, un muret aval 70 correspondant à la partie de préforme de muret aval 280 de la préforme 200, un deuxième becquet de recouvrement amont 51 correspondant à la partie de préforme de deuxième becquet amont 261 de la préforme 200 et un becquet de recouvrement aval 52 correspondant à la partie de préforme de becquet aval 262 de la préforme 200.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de fabrication d'une préforme fibreuse d'aube de turbomachine en matériau composite, le procédé comportant :

- la formation d'une ébauche fibreuse (100) par tissage tridimensionnel ou multicouches entre une pluralité de couches de fils de chaîne s'étendant, suivant une direction longitudinale (D_L) correspondant à la direction longitudinale de l'aube à réaliser et une pluralité de couches de fils de trame suivant une direction transversale (D_T) correspondant à la direction transversale de l'aube à réaliser, l'ébauche fibreuse comprenant :
 - un premier ensemble de couches de fils de chaîne et de trame qui sont liées entre elles, le premier ensemble s'étendant, suivant la direction longitudinale (D_L), entre des première et deuxième extrémités longitudinales, suivant la direction transversale (D_T) entre des première et deuxième extrémités transversales (102e, 102f) destinées à former respectivement un bord d'attaque et un bord de fuite de l'aube, et suivant une direction d'épaisseur (D_E) de l'ébauche, entre des première et deuxième faces (102a, 102b) destinées à former respectivement une face intrados et une face extrados de l'aube, ledit premier ensemble formant une première partie (102) de l'ébauche (100) correspondant au moins à une partie de pale d'aube,
 - un deuxième ensemble de couches de fils de chaîne et de trame qui sont liées entre elles au moins localement pour former une deuxième partie (104) de l'ébauche correspondant au moins à une partie de préforme de plateforme inférieure d'aube,
 - un troisième ensemble de couches de fils de chaîne et de trame qui sont liées entre elles au moins localement pour former une troisième partie (106) de l'ébauche correspondant au moins à une partie de préforme de plateforme supérieure d'aube,
- les fils de la première partie (102) n'étant pas liés aux fils des deuxième et troisième parties (104, 106),
- l'ébauche fibreuse (100) comprenant en outre du côté de la première face (102a) de la première partie (102) des première et deuxième portions de tissu unidirectionnel (107, 108) présentes respectivement au voisinage des première et deuxième extrémités transversales (102e, 102f) de la première partie et du côté de la deuxième face (102b) de ladite première partie des troisième et quatrième portions de tissu unidi-

rectionnel (109, 110) présentes respectivement au voisinage des première et deuxième extrémités transversales de la première partie, les première à quatrième portions de tissu unidirectionnel (107, 108, 109, 110) comprenant des fils de chaîne non tissés avec des fils de trame et traversant chacun les deuxième et troisième parties de l'ébauche, - la formation, à partir de l'ébauche fibreuse, d'une préforme fibreuse (200) de l'aube à fabriquer comprenant au moins à une partie de préforme de pale (220) d'aube formée à partir de la première partie (102) de l'ébauche (100), au moins une partie de préforme de plateforme inférieure d'aube (240) formée à partir de la deuxième partie (104) de l'ébauche, au moins une partie de préforme de plateforme supérieure d'aube (260) formée à partir de la troisième partie (106) de l'ébauche, et des parties de préforme de murets (270, 280) formées à partir des première à quatrième portions de tissu unidirectionnel (107, 108, 109, 110).

[Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la première partie (102) de l'ébauche (100) est traversée par des fils de la deuxième partie (104) de l'ébauche et par des fils de la troisième partie (106) de l'ébauche.

[Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la préforme fibreuse (200) comprend en outre une partie de préforme de premier becquet amont (240) formée à partir de la deuxième partie (102) de l'ébauche (100) et de sur-longueurs (107a, 108a) des première et troisième portions de tissus unidirectionnel (107, 108).

[Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la préforme fibreuse (200) comprend en outre une partie de préforme de deuxième becquet amont (261) formée à partir de la troisième partie (106) de l'ébauche (100) et de sur-longueurs (107a, 108a) des première et troisième portions de tissus unidirectionnel (107, 108), une partie de préforme de becquet aval (262) formée à partir de la troisième partie (106) de l'ébauche (100) et de sur-longueurs (109c, 110c) des deuxième et quatrième portions de tissus unidirectionnel (109, 110).

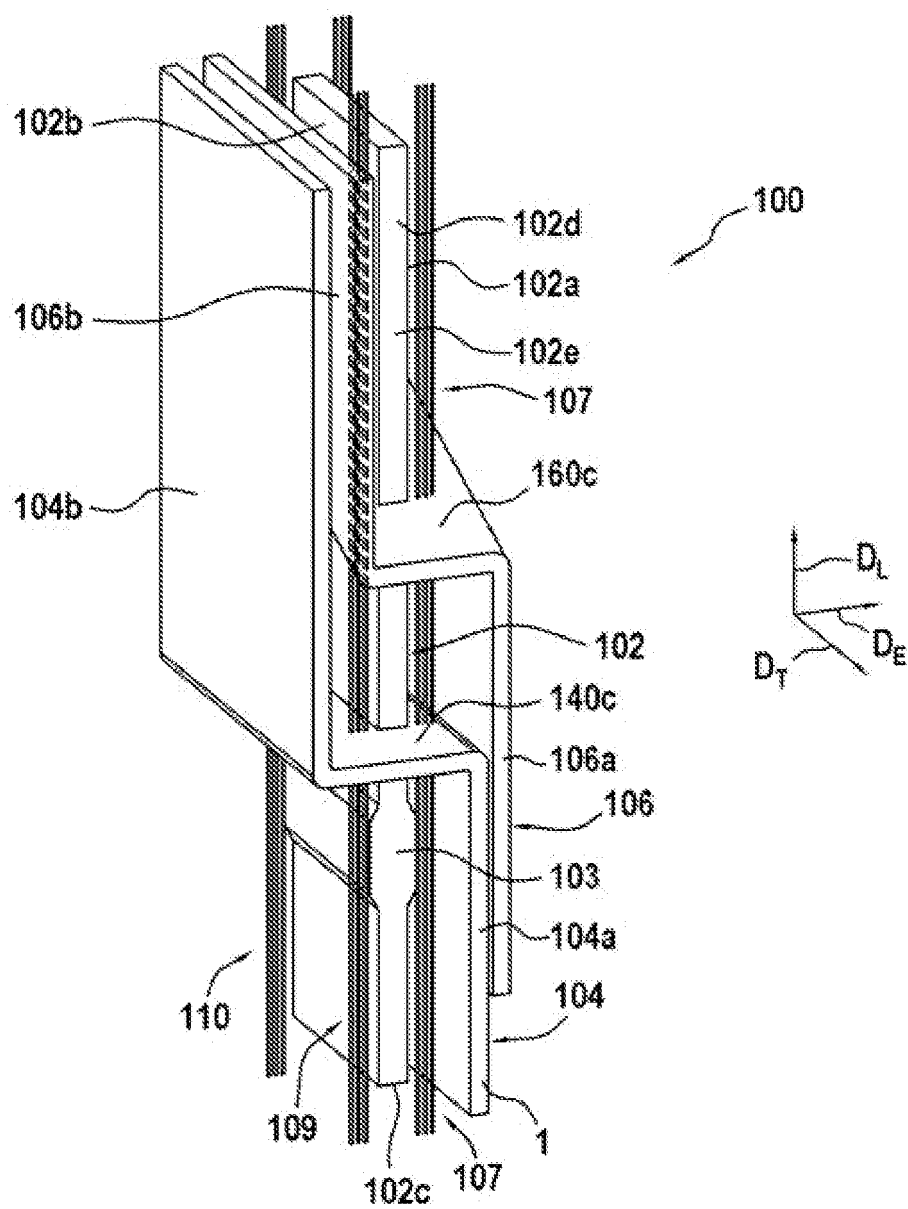
[Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le premier ensemble de couches de fils de chaîne et de trame liées entre elles formant la première partie (102) de l'ébauche (100) correspond en outre à des parties de préforme de pied et d'échasse, la formation de la préforme fibreuse (200) de l'aube à fabriquer comprenant des parties de préforme de pied (230) et d'échasse (250) d'aube mobile formée à partir de la première partie (102) de l'ébauche (100).

- [Revendication 6] Procédé de fabrication d'une aube (10) de turbomachine en matériau composite, le procédé comportant :
- la fabrication d'une préforme (200) d'aube de turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 4,
 - la densification de la préforme par une matrice pour obtenir une aube (10) en matériau composite ayant au moins une pale (20), au moins une plateforme inférieure (40), au moins une plateforme supérieure (50) et des murets (60, 70).
- [Revendication 7] Procédé de fabrication d'une aube mobile (10) de turbomachine en matériau composite, le procédé comportant :
- la fabrication d'une préforme (200) d'aube mobile de turbomachine selon la revendication 5,
 - la densification de la préforme par une matrice pour obtenir une aube mobile (10) en matériau composite ayant un pied (30), une échasse (32), au moins une pale (20), au moins une plateforme inférieure (40), au moins une plateforme supérieure (50) et des murets (60, 70).
- [Revendication 8] Préforme fibreuse (200) d'aube pour une turbomachine présentant un tissage tridimensionnel ou multicouches comprenant en une seule pièce une partie de préforme de pale (220), au moins une partie de préforme de plateforme inférieure (240) et au moins une partie de préforme de plateforme supérieure (260), la préforme comprenant en outre des parties de préforme de murets amont et aval (270, 280) formées à partir de première à quatrième portions de tissu unidirectionnel (107, 108, 109, 110).
- [Revendication 9] Préforme selon la revendication 8, comprenant en outre une partie de préforme de premier becquet amont (241) comprenant des sur-longueurs (107a, 108a) des première et troisième portions de tissus unidirectionnel (107, 108).
- [Revendication 10] Préforme selon la revendication 8 ou 9, comprenant en outre une partie de préforme de deuxième becquet amont (261) comprenant des sur-longueurs (107c, 108c) des première et troisième portions de tissus unidirectionnel (107, 108), une partie de préforme de becquet aval (262) comprenant des sur-longueurs (109c, 110c) des deuxième et quatrième portions de tissus unidirectionnel (109, 110).
- [Revendication 11] Préforme selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, comprenant en outre une partie de préforme de pied (230) et une partie de préforme d'échasse (250).
- [Revendication 12] Aube (10) de turbomachine en matériau composite comprenant un

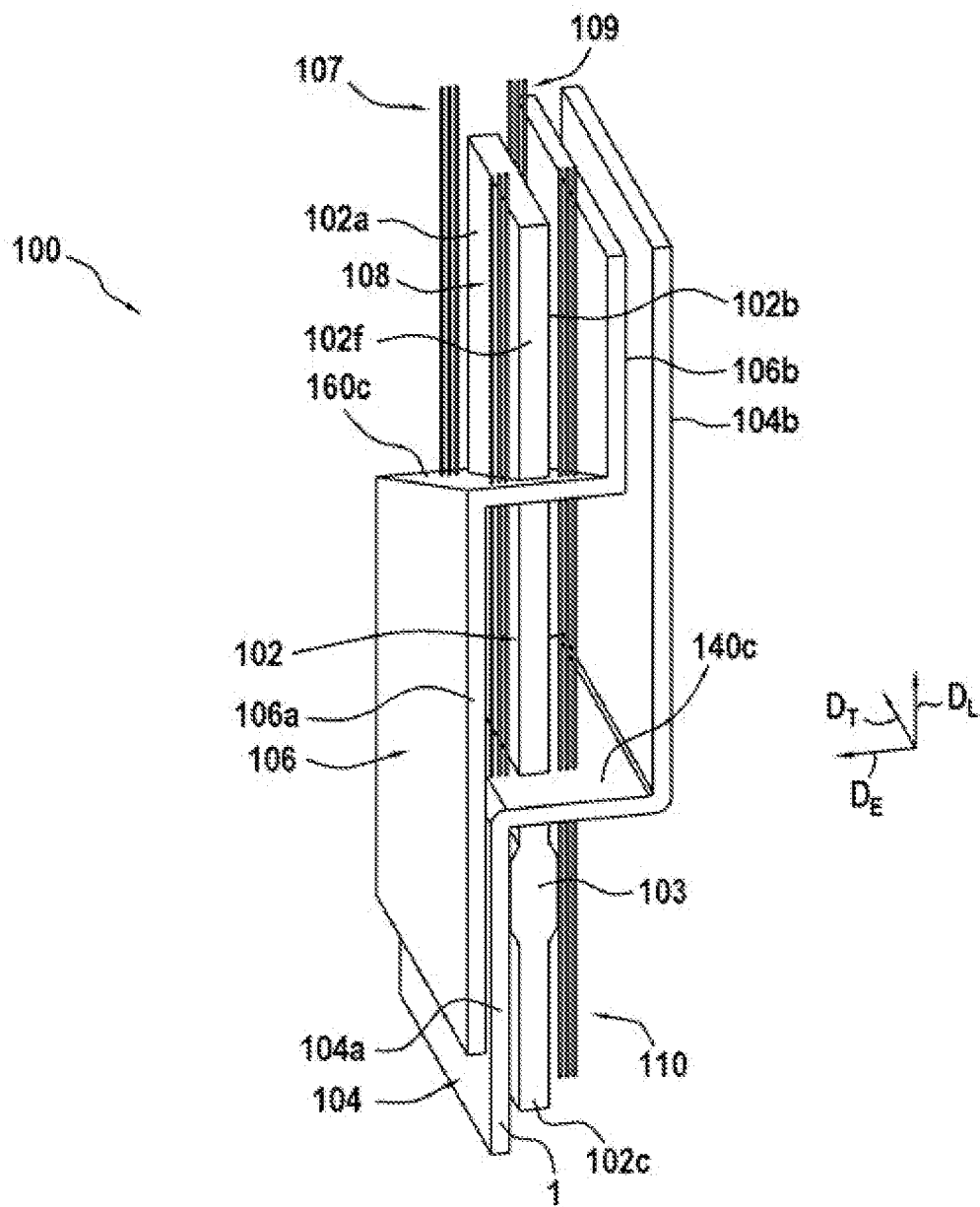
renfort fibreux densifié par une matrice, l'aube comprenant au moins une pale (20), au moins une plateforme inférieure (40), au moins une plateforme supérieure (50) et des murets amont et aval (60, 70), le renfort fibreux comprenant une préforme fibreuse d'aube selon l'une quelconque des revendications 8 à 10.

- [Revendication 13] Aube mobile (10) de turbomachine en matériau composite comprenant un renfort fibreux densifié par une matrice, l'aube comprenant un pied (30), une échasse (32), une pale (20), au moins une plateforme inférieure (40), au moins une plateforme supérieure (50) et des murets amont et aval (60, 70), le renfort fibreux comprenant une préforme fibreuse d'aube selon la revendication 11.
- [Revendication 14] Moteur aéronautique comprenant une pluralité d'aubes selon la revendication 12 ou une pluralité d'aubes mobiles selon la revendication 13.
- [Revendication 15] Aéronef comprenant au moins un moteur selon la revendication 14.

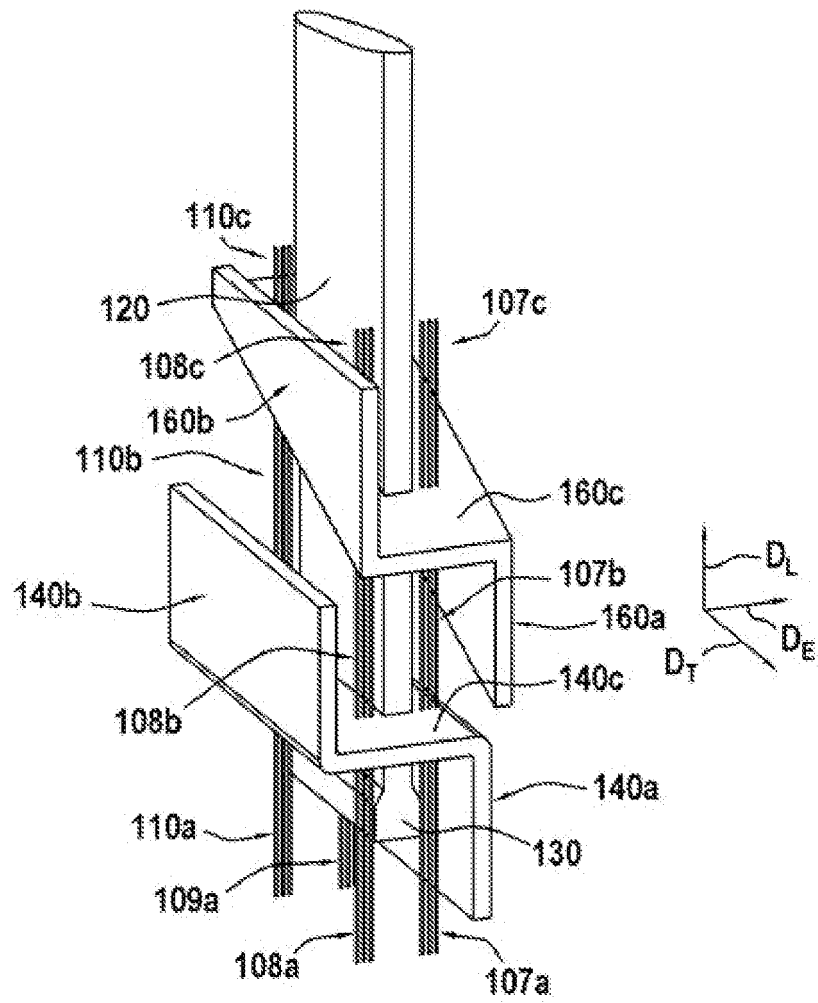
[Fig. 2A]



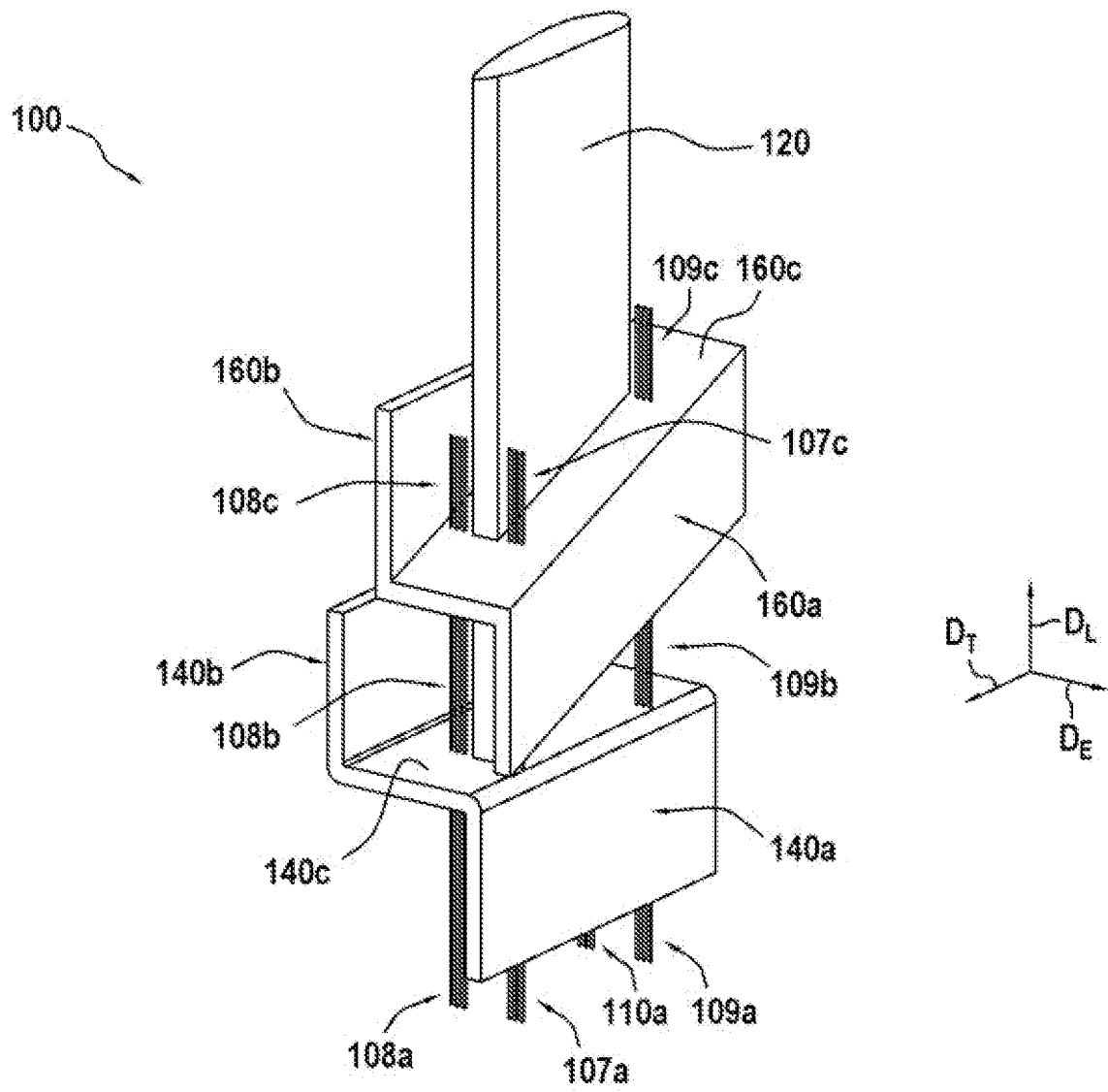
[Fig. 2B]



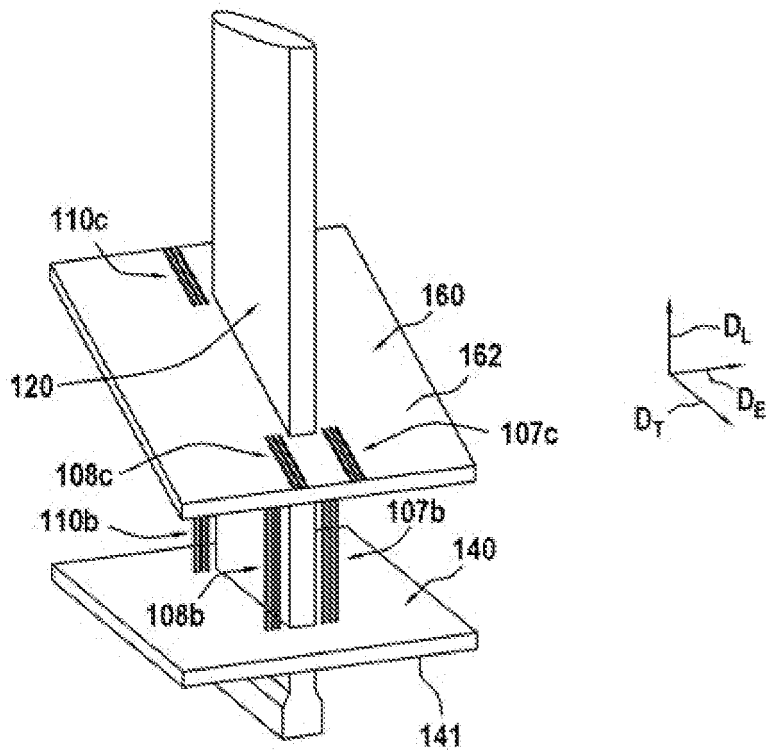
[Fig. 3A]



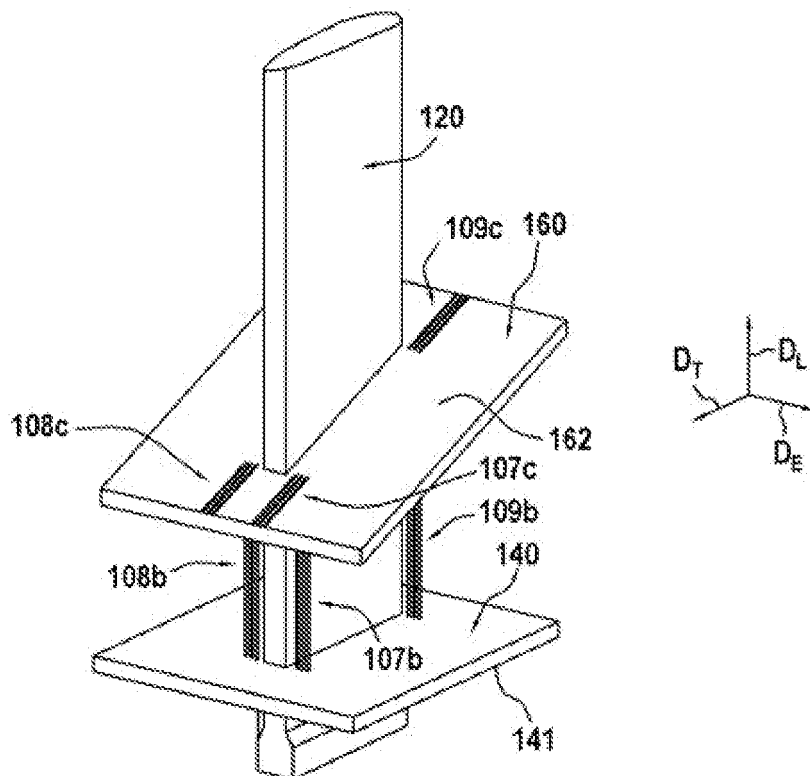
[Fig. 3B]



[Fig. 4A]



[Fig. 4B]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 913738
FR 2213051

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	WO 2022/112683 A1 (SAFRAN CERAM [FR]) 2 juin 2022 (2022-06-02)	8-11	B29C70/16 B29B11/16 B29C70/48 C04B35/80 F01D5/14 B29C70/24
Y	* abrégé; figure 3 * * page 9, ligne 9 – page 10, ligne 5 * * page 12, ligne 28 – page 14, ligne 7 * * page 2, ligne 18 – page 3, ligne 2 * -----	12-15	
Y	US 2014/030076 A1 (NUNEZ ROMAIN [FR] ET AL) 30 janvier 2014 (2014-01-30)	12-15	
A	* alinéa [0119] – alinéa [0124] * * abrégé; figures 6A, 6B, 10, 20, 21, 22 * * alinéa [0196] – alinéa [0208] * * alinéa [0226] * * alinéa [0002] – alinéa [0003] * * alinéa [0129] * * alinéa [0118] * * alinéa [0139] – alinéa [0140] * -----	1-7	
A	US 8 607 454 B2 (BLANCHARD STEPHANE PIERRE GUILLAUME [FR]; BOUILLON ERIC [FR] ET AL.) 17 décembre 2013 (2013-12-17) * abrégé; figure 7 * -----	1-15	
A	US 2021/292245 A1 (BOUILLON ERIC [FR] ET AL) 23 septembre 2021 (2021-09-23) * abrégé; figure 7 * * alinéa [0068] – alinéa [0070] * -----	1-15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B29C F01D B29B B29D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
23 juin 2023		Barunovic, Robert	
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 2213051 FA 913738**

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 **23-06-2023**
 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
WO 2022112683 A1	02-06-2022	FR 3116545 A1	27-05-2022
		WO 2022112683 A1	02-06-2022

US 2014030076 A1	30-01-2014	AUCUN	

US 8607454 B2	17-12-2013	BR PI1015161 A2	19-04-2016
		CA 2758077 A1	14-10-2010
		CN 102387908 A	21-03-2012
		EP 2416944 A1	15-02-2012
		FR 2943942 A1	08-10-2010
		JP 5599865 B2	01-10-2014
		JP 2012522937 A	27-09-2012
		RU 2011144510 A	20-05-2013
		US 2012055609 A1	08-03-2012
		WO 2010116066 A1	14-10-2010

US 2021292245 A1	23-09-2021	CN 112543749 A	23-03-2021
		EP 3830056 A1	09-06-2021
		US 2021292245 A1	23-09-2021
		WO 2020025878 A1	06-02-2020
