

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ Aube ou pale à tissage continu entre le pied et le profil aérodynamique.

②② Date de dépôt : 26.04.22.

③③ Priorité :

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SAFRAN AIRCRAFT ENGINES
Société par actions simplifiée —FR et SAFRAN
Société anonyme — FR.*

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 27.10.23 Bulletin 23/43.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 19.04.24 Bulletin 24/16.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : MINERVINO Mattéo, JOUDON
Vincent, POSTEC Clément Pierre, FAIVRE D'ARCIER
Pierre Jean et QUEANT Didier.

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

⑦④ Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.



Description

Titre de l'invention : Aube ou pale à tissage continu entre le pied et le profil aérodynamique

Domaine technique

[0001] La présente invention se rapporte au domaine des aubes ou pales d'hélice pour aéronefs telles que celles présentes sur les turbopropulseurs.

Technique antérieure

[0002] Les aubes ou pales d'hélice pour turbopropulseurs sont généralement réalisées en matériau métallique. Si les aubes ou pales d'hélice en matériau métallique ont une bonne résistance mécanique, elles présentent toutefois l'inconvénient d'avoir une masse relativement importante.

[0003] Afin d'obtenir des aubes ou pales d'hélice plus légères, il est connu de réaliser des aubes ou des pales d'hélice en matériau composite, c'est-à-dire en réalisant des pièces de structure à renfort fibreux densifié par une matrice.

[0004] Les documents US 2013/272893 et US 2013/017093 décrivent la réalisation d'une aube ou d'une pale d'hélice à partir d'une structure fibreuse à profil aérodynamique à l'intérieur de laquelle est introduit un longeron, une extrémité du longeron étant située à l'extérieur de ladite structure fibreuse à profil aérodynamique et destinée à former le pied de la pale d'hélice.

[0005] La nouvelle génération de moteurs nécessite des pieds d'aube ou de pale plus compacts. Ce besoin vient de la nécessité de pouvoir faire pivoter l'aube ou la pale autour de son axe vertical afin d'adapter son incidence au régime de vol. Ce besoin, combiné au fait que l'aube ou la pale doit être intégrée le plus bas possible sur le disque, impose de réduire fortement l'encombrement du pied.

[0006] A cet effet, les pieds des aubes ou pales de nouvelle génération présentent une forme axisymétrique ou sensiblement axisymétrique ainsi que des dimensions réduites contrairement aux pieds de l'art antérieur comme ceux décrits dans les documents US 2013/272893 et US 2013/017093 qui s'étendent sur toute la largeur de la partie inférieure de l'aube ou de la pale.

[0007] Cette forme axisymétrique ou quasi-axisymétrique est plus difficile à fabriquer en matériau composite, en particulier lorsque le tissage tridimensionnel est utilisé pour former le renfort fibreux de l'aube ou de la pale.

[0008] Par ailleurs, les chargements mécaniques auxquels sont soumis les pieds de nouvelle génération imposent des contraintes supplémentaires. En effet, en outre des chargements mécaniques en traction et en flexion habituellement rencontrés, pouvant être causés respectivement par les efforts centrifuges et les impacts avec des objets, les

pieds de nouvelle génération peuvent être intégrés dans le disque du rotor à l'aide de coquilles métalliques, ce qui entraîne un chargement mécanique supplémentaire en compression circonférentielle.

Exposé de l'invention

- [0009] Il est donc souhaitable de pouvoir proposer une solution pour la réalisation d'aubes ou pales d'hélice d'aéronef en matériau composite aptes à résister aux différents chargements mécaniques, en particulier au niveau du pied aux dimensions réduites.
- [0010] A cet effet, la présente invention propose un procédé de fabrication d'une aube ou pale d'hélice en matériau composite comprenant un renfort fibreux densifié par une matrice, le procédé comprenant :
- [0011] - la réalisation par tissage tridimensionnel d'une première ébauche fibreuse de peau en une seule pièce, la première ébauche fibreuse présentant une forme plate s'étendant suivant une direction longitudinale et une direction transversale correspondant respectivement à la direction d'envergure et à la direction de corde de l'aube ou la pale d'hélice à fabriquer, la première ébauche fibreuse comprenant une partie de profil aérodynamique destinée à former au moins une partie du renfort fibreux du profil aérodynamique de l'aube ou de la pale d'hélice, ladite partie de profil aérodynamique comprenant deux peaux délimitant entre elles un logement interne,
- [0012] - la réalisation par tissage, de préférence par tissage tridimensionnel, d'au moins une deuxième ébauche fibreuse de comblement, la deuxième ébauche fibreuse comprenant une partie de comblement de pied et une partie de comblement de profil aérodynamique destinées respectivement à former au moins une partie du renfort fibreux du pied et du renfort fibreux du profil aérodynamique de l'aube ou de la pale d'hélice,
- [0013] - la mise en forme de la première ébauche fibreuse de peau par l'insertion d'au moins une deuxième ébauche fibreuse de comblement dans le logement interne de la partie de profil aérodynamique de la première ébauche fibreuse de manière à obtenir une préforme fibreuse de l'aube ou de la pale d'hélice, ladite préforme fibreuse comprenant une préforme de profil aérodynamique formée par la partie de profil aérodynamique de la première ébauche de peau et par la partie de comblement de profil aérodynamique d'au moins une deuxième ébauche de comblement, et une préforme de pied comprenant la partie de comblement de pied d'au moins une deuxième ébauche fibreuse de comblement, et
- [0014] - la densification de la préforme fibreuse par une matrice pour obtenir une aube ou une pale d'hélice en matériau composite ayant un renfort fibreux constitué par la préforme fibreuse et densifié par la matrice, et formant une seule pièce avec pied intégré,
- [0015] caractérisé en ce que la première ébauche fibreuse de peau comprend en outre une

partie de pied destinée à former au moins une partie du renfort fibreux du profil aérodynamique de l'aube ou de la pale d'hélice, ladite partie de pied de la première ébauche comprenant au moins deux portions s'étendant suivant dans la direction longitudinale dans le prolongement des deux peaux de la partie de profil aérodynamique de ladite première ébauche, de sorte que la préforme de pied de la préforme fibreuse soit formée par l'insertion de la partie de comblement de pied d'au moins une deuxième ébauche fibreuse de comblement entre les deux portions de la partie de pied de la première ébauche fibreuse de peau.

- [0016] Ainsi, on obtient une aube ou une pale d'hélice comprenant d'une part un renfort fibreux de peau présentant un tissage tridimensionnel continu entre le pied et le profil aérodynamique et d'autre part un renfort fibreux de cœur présentant un tissage continu entre le pied et le profil aérodynamique. Il y a ainsi une continuité de fibres sur toute la longueur de l'aube ou de la pale. Ainsi, la jonction entre le pied et le profil aérodynamique de l'aube ou de la pale ne présente pas d'interface mécaniquement fragile. Les efforts de traction, de flexion ou de compression circonférentielle qui s'exercent sur les différentes parties de l'aube ou la pale sont donc moins susceptibles de générer des ruptures ou de propager des délaminages, en se répartissant sur l'ensemble de l'aube ou de la pale.
- [0017] On considère qu'une ébauche fibreuse réalisée par tissage tridimensionnel peut comprendre de manière bien connue du tissage bidimensionnel à sa surface, afin d'améliorer son état de surface.
- [0018] Selon une caractéristique particulière de l'invention, la première ébauche fibreuse est réalisée par tissage tridimensionnel présentant une armure interlock.
- [0019] Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, la ou les deuxièmes ébauches fibreuses sont réalisées par tissage tridimensionnel présentant une armure interlock.
- [0020] L'utilisation d'un tissage tridimensionnel à armure interlock permet de réduire encore le risque de délaminage au sein de l'aube ou de l'hélice.
- [0021] On considère qu'une ébauche fibreuse réalisée par tissage tridimensionnel présentant une armure interlock peut comprendre une autre armure de tissage à sa surface, par exemple bidimensionnelle ou multi-satin, afin d'améliorer son état de surface.
- [0022] Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, la mise en forme de la première ébauche fibreuse est réalisée par l'insertion d'une pluralité de deuxièmes préformes fibreuses dans le logement interne de la partie de profil aérodynamique de la première ébauche fibreuse.
- [0023] L'utilisation de plusieurs deuxièmes préformes fibreuses stratifiées permet d'atteindre des épaisseurs plus importantes sans nécessiter une augmentation du nombre de couches tissées ou une baisse du taux volumique de fibres. Le nombre de

bobines et le nombre de lisses nécessaires au tissage des préformes sont donc plus faibles, permettant l'utilisation de métiers à tisser de taille réduite avec un encombrement du cantre plus faible.

- [0024] Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, la mise en forme de la première ébauche fibreuse est réalisée par l'insertion d'une unique deuxième préforme fibreuse réalisée en une seule pièce par tissage tridimensionnel.
- [0025] L'utilisation d'une unique préforme fibreuse de comblement réalisée par tissage tridimensionnel permet de réduire le risque de délaminage au cœur de l'aube ou de la pale d'hélice, et simplifie le procédé.
- [0026] Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, la mise en forme de la première ébauche fibreuse comprend l'introduction dans le logement interne de la partie de profil aérodynamique de ladite première ébauche fibreuse d'au moins un élément d'insertion présentant une masse volumique inférieure à la masse volumique de la première et de la ou les deuxièmes ébauches densifiées par une matrice.
- [0027] Ainsi, la masse globale de l'aube ou de la pale d'hélice est allégée sans réduction notable des capacités mécaniques. En effet, le ou les éléments d'insertion permettent de créer des zones creuses ou légères à l'intérieur de l'aube ou de la pale dans les parties de ladite aube ou de ladite pale qui sont peu sollicitées mécaniquement.
- [0028] En outre, l'invention concerne une aube ou une pale d'hélice en matériau composite comprenant un renfort fibreux densifié par une matrice, l'aube ou la pale d'hélice comportant suivant une direction longitudinale un pied et un profil aérodynamique, et s'étendant suivant une direction transversale entre un bord d'attaque et un bord de fuite, l'aube ou la pale d'hélice comprenant :
- [0029] - un longeron constitué d'un renfort fibreux obtenu par tissage tridimensionnel et densifié par une matrice, ledit longeron comprenant une partie de comblement de pied appartenant au pied de l'aube ou de la pale d'hélice et une partie de comblement de profil aérodynamique appartenant au profil aérodynamique de l'aube ou de la pale d'hélice, et
- [0030] - une peau obtenue par tissage tridimensionnel d'un renfort fibreux en une seule pièce densifié par une matrice recouvrant la partie de comblement de profil aérodynamique du longeron,
- [0031] caractérisée en ce que le renfort fibreux de la peau comprend en outre au moins deux portions disposées de part et d'autre de la partie de comblement de pied du longeron.
- [0032] Selon une caractéristique particulière de l'invention, les renforts fibreux du longeron et de la peau présentent une armure de tissage interlock.
- [0033] Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, le renfort fibreux du longeron est formé par un empilement d'une pluralité de couches de tissus réalisés par tissage tridimensionnel, la direction d'empilement étant perpendiculaire aux directions

transversale et longitudinale de l'aube ou de la pale d'hélice.

- [0034] Selon une autre caractéristique particulière de l'invention, l'aube ou la pale d'hélice comprend en outre au moins un élément d'insertion disposé entre la peau et la partie de comblement de profil aérodynamique du longeron et présentant une masse volumique inférieure à la masse volumique de la peau et du longeron.

Brève description des dessins

- [0035] [Fig.1] La [Fig.1] est une vue schématique illustrant le tissage 3D d'une première ébauche fibreuse de peau pour la fabrication d'une aube.
- [0036] [Fig.2] La [Fig.2] est une vue schématique illustrant un premier mode de tissage de l'ébauche fibreuse de la [Fig.1] selon un plan de coupe II-II.
- [0037] [Fig.3] La [Fig.3] est une vue schématique illustrant un deuxième mode de tissage de l'ébauche fibreuse de la [Fig.1] selon un plan de coupe III-III.
- [0038] [Fig.4] La [Fig.4] est une vue schématique illustrant la première ébauche fibreuse de peau obtenue à partir de l'installation de la [Fig.1].
- [0039] [Fig.5] La [Fig.5] est une vue schématique illustrant la mise en forme de la première ébauche fibreuse de peau de la [Fig.4] par insertion d'une unique deuxième ébauche fibreuse de comblement.
- [0040] [Fig.6] La [Fig.6] est une vue schématique illustrant la mise en forme de la première ébauche fibreuse de peau de la [Fig.4] par insertion d'une pluralité de deuxièmes ébauches fibreuses de comblement.
- [0041] [Fig.7] La [Fig.7] est une vue schématique en coupe de la préforme fibreuse obtenue par l'insertion illustrée sur la [Fig.6].
- [0042] [Fig.8] La [Fig.8] est une vue schématique illustrant la mise en forme de la première ébauche fibreuse de peau de la [Fig.4] par insertion d'une unique deuxième ébauche fibreuse de comblement et d'éléments de maintien.
- [0043] [Fig.9] La [Fig.9] est une vue schématique en coupe de la préforme fibreuse obtenue par l'insertion illustrée sur la [Fig.8].
- [0044] [Fig.10] La [Fig.10] est une vue schématique en perspective éclatée montrant un outillage d'injection et le placement de la préforme fibreuse de la [Fig.9] à l'intérieur de celui-ci conformément à un mode de réalisation de l'invention.
- [0045] [Fig.11] La [Fig.11] est une vue schématique en perspective montrant l'outillage d'injection de la [Fig.10] fermé.
- [0046] [Fig.12] La [Fig.12] est une vue schématique en coupe montrant un outillage d'injection à membrane flexible et le placement de la préforme fibreuse de la [Fig.9] à l'intérieur de celui-ci conformément à un mode de réalisation de l'invention.

Description des modes de réalisation

- [0047] L'invention s'applique d'une manière générale à différents types d'aubes ou pales

d'hélice utilisées dans des moteurs d'aéronefs. L'invention trouve une application avantageuse mais non exclusive dans des aubes ou pales d'hélice de grandes dimensions qui sont destinées à être intégrées dans des systèmes de pivotement ou à pas variable.

- [0048] De telles aubes ou pales d'hélice sont en général munies d'un pied présentant à la fois un faible encombrement et une bonne résistance vis-à-vis d'efforts en traction, en flexion et en compression circonférentielle. L'aube selon l'invention peut notamment constituer une aube pour roues mobiles carénées, telles que des aubes de soufflante ou une aube pour roues mobiles non carénées comme dans les moteurs aéronautiques dits « open rotor ».
- [0049] Dans la suite de la description, les exemples de réalisation sont décrits en relation avec des aubes pour turbopropulseur. Toutefois, les exemples de réalisation s'appliquent également à des pales d'hélice pour aéronefs.
- [0050] Selon le procédé de l'invention, la préforme fibreuse de l'aube ou de la pale d'hélice est réalisée à partir d'une ébauche fibreuse de peau, dite « première ébauche » et d'au moins une ébauche fibreuse de comblement, dite « deuxième ébauche ».
- [0051] La [Fig.1] montre très schématiquement une première ébauche fibreuse dite « de peau » 100 destinée à former la peau de la préforme fibreuse de l'aube à réaliser.
- [0052] La première ébauche de structure fibreuse de peau 100 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 101 ou torons en une pluralité de couches de plusieurs centaines de fils chacune, les fils de chaînes étant liés par des fils de trame 102. L'ébauche de structure fibreuse de peau 100 est tissée en une seule pièce, l'ébauche s'étendant dans une direction longitudinale DL, correspondant à la direction d'envergure de l'aube à fabriquer, entre un bord inférieur 100c et un bord supérieur 100d et dans une direction transversale DT, correspondant à la direction de corde de l'aube à fabriquer entre un bord avant 100a et un bord arrière 100b.
- [0053] La première ébauche de peau 100 comprend une partie de profil aérodynamique 111 destinée à former ultérieurement une partie du profil aérodynamique de l'aube et définissant une première face 111e et une deuxième face 111f destinées à former respectivement les faces extrados et intrados de l'aube. L'ébauche de peau 100 comprend en outre une partie de pied 112 destinée à former ultérieurement une partie du pied d'aube, et s'étendant à l'opposé de la partie de profil aérodynamique 111 suivant la direction longitudinale DL et en retrait des bords avant et arrière 100a et 100b suivant la direction transversale DT. Dans l'exemple illustré sur la [Fig.1], les surfaces de la partie de pied 112 s'étendant selon la direction transversale DT et la direction longitudinale DL présentent une forme sensiblement rectangulaire. On ne sort bien entendu

pas du cadre de l'invention si les surfaces de la partie de pied 112 s'étendant selon la direction transversale DT et la direction longitudinale DL présentent une autre forme, en particulier si elles présentent sensiblement une forme de sablier ou de « diabolos ».

[0054] De préférence, le tissage 3D utilisé est un tissage à armure "interlock". Par tissage "interlock", on entend ici une armure de tissage dans laquelle chaque couche de fils de trame lie plusieurs couches de fils de chaîne avec tous les fils d'une même colonne de trame ayant le même mouvement dans le plan de l'armure.

[0055] D'autres types de tissage tridimensionnel connus pourront être utilisés, comme notamment ceux décrits dans le document WO 2006/136755. Ce document décrit notamment la réalisation par tissage en une seule pièce de structures fibreuses de renfort pour des pièces telles que des aubes ayant un premier type d'armure à cœur et un deuxième type d'armure en peau qui permettent de conférer à la fois les propriétés mécaniques et aérodynamiques attendues pour ce type de pièce.

[0056] La première ébauche fibreuse 100 peut comporter une pluralité de fils de diverses natures, en particulier des fils en céramique ou en carbone ou encore un mélange de tels fils. De préférence, la première ébauche fibreuse 100 peut être réalisée à partir de fibres en carbure de silicium. De manière générale, la première ébauche fibreuse 100 peut également être réalisée à partir de fibres constituées des matériaux suivants : l'alumine, la mullite, la silice, un aluminosilicate, un borosilicate, du carbone, ou un mélange de plusieurs de ces matériaux.

[0057] Au fur et à mesure du tissage de l'ébauche fibreuse de peau 100 dont l'épaisseur et la largeur varient, un certain nombre de fils de chaîne ne sont pas tissés, ce qui permet de définir le contour et l'épaisseur voulue, continûment variable, de l'ébauche 100. Un exemple de tissage 3D évolutif permettant notamment de faire varier l'épaisseur de l'ébauche de peau 100 entre un premier bord destiné à former le bord d'attaque et un deuxième bord d'une épaisseur moindre et destiné à former le bord de fuite est décrit dans le document US 2006/257260.

[0058] Conformément à l'invention, lors du tissage, une déliaison 106 est réalisée à l'intérieur de la partie de profil aérodynamique 111 et de la partie de pied 112 de l'ébauche fibreuse de peau 100 entre deux couches successives de fils de chaîne. La déliaison 106 s'étend suivant un plan parallèle à la surface de l'ébauche de peau 100.

[0059] La déliaison 106 s'étend dans la partie de profil aérodynamique 111 sur une première zone de déliaison délimitée par un contour 106a. La déliaison 106 sépare ainsi localement la partie de profil aérodynamique 111 en une première portion tissée, comprenant une partie de la première face 111e destinée à former la face extradorsale, et une deuxième portion tissée, comprenant une partie de la deuxième face 111f destinée à former la face intrados.

[0060] Dans la partie de profil aérodynamique 111, la déliaison 106 s'étend suivant la

direction transversale DT entre le bord avant 100a et le bord arrière 100b. De préférence, la déliaison 106 s'étend suivant la direction transversale DT en retrait des bords avant 100a et arrière 100b, c'est-à-dire que la déliaison 106 ne débouche pas sur le bord avant 100a ou sur le bord arrière 100b. Dans la partie de profil aérodynamique 111, la déliaison 106 s'étend suivant la direction longitudinale DL entre le bord inférieur 100c et le bord supérieur 100d, et débouche sur ledit bord inférieur 100c. De préférence, la déliaison 106 s'étend suivant la direction longitudinale DL en retrait du bord supérieur 100d, c'est-à-dire que la déliaison 106 ne débouche pas sur le bord supérieur 100d.

- [0061] La déliaison 106 s'étend également dans la partie de pied 112 de sorte à séparer complètement la partie de pied 112 entre une première portion tissée 112e, qui s'étend dans le prolongement de la première face 111e de la partie de profil aérodynamique 111 destinée à former la face extradors de l'aube, et une deuxième portion tissée 112f, qui s'étend dans le prolongement de la deuxième face 111f de la partie de profil aérodynamique 111 destinée à former la face extradors de l'aube.
- [0062] La déliaison 106 s'étend sur une deuxième zone de déliaison 106b qui s'étend suivant la direction transversale DT dans toute la largeur de la partie de pied 112 et suivant la direction longitudinale DL dans toute la longueur de la partie de pied 112. Par conséquent, dans la première ébauche fibreuse 100, la première portion 112e et la deuxième portion 112f de la partie de pied 112 ne sont liées entre elles que par le biais de la partie de profil aérodynamique 111, et s'étendent ainsi sous forme de pattes depuis la partie de profil aérodynamique 111.
- [0063] La première portion 112e et la deuxième portion 112f de la partie de pied 112 s'étendent ainsi à l'extérieur de la partie de profil aérodynamique 111 suivant la direction longitudinale DL et en retrait des bords avant et arrière 100a et 100b suivant la direction transversale DT.
- [0064] Un mode de tissage 3D à armure interlock de la première ébauche 100 est montré schématiquement par la [Fig.2]. La [Fig.2] est une vue partielle agrandie d'un plan en coupe chaîne dans la partie de profil aérodynamique 111 de la première ébauche 100 comportant la zone de déliaison 106 (coupe II-II sur la [Fig.1]). Dans cet exemple, la première ébauche 100 comprend 8 couches de fils de chaîne 101 s'étendant sensiblement dans la direction longitudinale DL. Sur la [Fig.2], les 8 couches de fils de chaîne sont liées par des fils de trame T1 à T8 dans les zones de liaison 105 et 107 de la partie de profil aérodynamique 111 de la première ébauche fibreuse 100, les fils de trame s'étendant sensiblement dans la direction transversale DT. Dans la déliaison 106, les 4 couches de fils de chaîne 101 formant l'ensemble de couches de fils 108 sont liées entre elles par 4 fils de trame T1 à T4, de même que les 4 couches de fils de chaîne formant l'ensemble de couches de fils 109 sont liés par 4 fils de trame T5 et T8. En

d'autres termes, le fait que les fils de trame T1 à T4 ne s'étendent pas dans les couches de fils 109 et que les fils de trame T5 à T8 ne s'étendent pas dans les couches de fils 108 assure la déliaison 106 qui sépare l'un de l'autre les ensembles de couches de fils de chaîne 108 et 109.

- [0065] Dans l'exemple de tissage présenté sur la [Fig.2], les fils de trame T1 à T4, d'une part, et les fils de trame T5 à T8, d'autre part, sont respectivement disposés de chaque côté de la déliaison 106, les fils de trame T1 à T4 liant les quatre premières couches de fils de chaîne formant l'ensemble de couches de fils 108 et les fils de trame T5 à T8 liant les quatre dernières couches de fils de chaîne formant l'ensemble de couches de fils 109.
- [0066] Selon une variante de réalisation illustrée en [Fig.3] (coupe III-III sur la [Fig.1]), une première partie de fils des couches de fils de trame croise une deuxième partie de fils des couches de fils de trame dans une zone de la partie de profil aérodynamique 111 de la première ébauche fibreuse 100 située au voisinage de déliaison 106 suivant la direction transversale DT, les fils de la première partie de fils de trame 102 s'étendant d'un côté de la déliaison 106 suivant la direction transversale DT tandis que les fils de la deuxième partie de fils de la pluralité de couches de fils de trame 102 s'étendent de l'autre côté de la déliaison 106 suivant la direction transversale DT. Plus précisément, un ou plusieurs fils de trame 102 liant des couches de fils de chaîne formant l'ensemble de couches de fils 108 dans la zone de liaison 105 sont utilisés pour lier des couches de fils de chaîne formant l'ensemble de couches de fils 109 dans les zones de liaison 107 et inversement. Dans l'exemple illustré sur la [Fig.4], les fils de trame T3 et T4, liant des couches de fils de chaîne 101 de l'ensemble de couches de fils 108 dans la première zone de liaison 105 sont déviés au début ou en amont de déliaison 106 suivant la direction transversale DT pour lier des couches de fils de chaîne 101 de l'ensemble de couches de fils 109. De même, les fils de trame T5 et T6, liant des couches de fils de chaîne 101 de l'ensemble de couches de fils 109 dans la première zone de liaison 105 sont déviés au début ou en amont de la déliaison 106 suivant la direction transversale DT pour lier des couches de fils de chaîne 101 de l'ensemble de couches de fils 108. Après la déliaison 106, les fils de trame T3 et T4 sont de nouveau déviés à la fin ou en aval de la déliaison 106 suivant la direction transversale DT, c'est-à-dire à leur entrée dans la deuxième zone de liaison 107, pour lier des couches de fils de chaîne 101 de l'ensemble de couches de fils 109 tandis que les fils de trame T5 et T6 sont de nouveau déviés à la fin ou en aval de la déliaison 106 suivant la direction transversale DT, c'est-à-dire à leur entrée dans la deuxième zone de liaison 107, pour lier des couches de fils de chaîne 101 de l'ensemble de couches de fils 108. Le croisement des fils de trame T3 et T4 et des fils de trame T5 et T6 en amont et/ou en aval de la déliaison 106 suivant la direction transversale DT permet d'améliorer la tenue de la première

ébauche fibreuse 100 dans la zone de déliaison. Selon une variante de réalisation, une partie des fils de trame peuvent se croiser seulement en amont ou en aval de la déliaison 106 suivant la direction transversale DT.

- [0067] Une fois le tissage terminé, les fils non tissés présents autour de la première ébauche fibreuse 100 sont découpés pour extraire l'ébauche, comme illustré sur la [Fig.4]. La déliaison 106 forme ainsi un unique logement interne 140 dans la première ébauche fibreuse 100, qui s'étend à l'intérieur de la partie de profil aérodynamique 111 et au travers de la partie de pied 112 de la première ébauche fibreuse 100, accessible par la partie de pied 112 et par le bord inférieur 100c.
- [0068] On réalise ensuite une ou plusieurs deuxièmes ébauches dites « de comblement », destinées à être insérées dans la première ébauche fibreuse dite « de peau » pour former la préforme fibreuse de l'aube à réaliser.
- [0069] Selon un premier mode de réalisation de l'invention, on réalise une unique deuxième ébauche fibreuse, dite « de comblement ». La [Fig.5] montre très schématiquement une telle ébauche fibreuse de comblement 200.
- [0070] L'ébauche fibreuse de comblement 200 est obtenue en une seule pièce par tissage tridimensionnel (3D) réalisé de façon connue au moyen d'un métier à tisser de type jacquard. De préférence, le tissage 3D utilisé est un tissage à armure "interlock". Par tissage "interlock", on entend ici une armure de tissage dans laquelle chaque couche de fils de trame lie plusieurs couches de fils de chaîne avec tous les fils d'une même colonne de trame ayant le même mouvement dans le plan de l'armure. D'autres types de tissage tridimensionnel connus pourront être utilisés, comme notamment ceux décrits dans le document WO 2006/136755.
- [0071] La deuxième ébauche fibreuse de comblement 200 peut comporter une pluralité de fils de diverses natures, en particulier des fils en céramique ou en carbone ou encore un mélange de tels fils. De préférence, la deuxième ébauche fibreuse 200 peut être réalisée à partir de fibres en carbure de silicium. De manière générale, la première ébauche fibreuse 200 peut également être réalisée à partir de fibres constituées des matériaux suivants : l'alumine, la mullite, la silice, un aluminosilicate, un borosilicate, du carbone, ou un mélange de plusieurs de ces matériaux.
- [0072] L'ébauche de comblement 200 comprend une partie de comblement de profil aérodynamique 211 destinée à former ultérieurement une partie du profil aérodynamique de l'aube. L'ébauche de comblement 200 comprend en outre une partie de comblement de pied 212 destinée à former ultérieurement une partie du pied d'aube, et s'étendant depuis la partie de profil aérodynamique 211.
- [0073] On réalise la préforme fibreuse de l'aube en insérant l'ébauche fibreuse de comblement 200 dans l'ébauche fibreuse de peau 100, de sorte que la partie de comblement de profil aérodynamique 211 de l'ébauche de comblement 200 soit inté-

généralement insérée par la déliaison 106 dans la partie de profil aérodynamique 111 de la première ébauche 100, et de sorte que la partie de comblement de pied 212 de l'ébauche de comblement 200 soit insérée entre la première portion 112e et la deuxième portion 112f de la partie de pied 112 de l'ébauche de peau 100. Ainsi, la portion 112e et la deuxième portion 112f de la partie de pied 112 de la première ébauche 100 sont disposées de part et d'autre de la partie de comblement de pied 212 de l'ébauche de comblement 200. De préférence, la portion 112e et la deuxième portion 112f de la partie de pied 112 de la première ébauche 100 sont disposées au contact de la partie de comblement de pied 212 de l'ébauche de comblement 200.

[0074] Dans l'exemple illustré sur la [Fig.5], l'ébauche de comblement 200 présente une forme correspondant à celle du logement interne 140 de l'ébauche de peau 100. On ne sort bien entendu pas du cadre de l'invention si l'ébauche de comblement 200 ne présente pas une forme correspondant à celle du logement interne 140 de l'ébauche de peau 100, tant que ladite ébauche de comblement 200 peut être insérée dans le logement interne 140 de l'ébauche de peau 100. Comme présenté plus loin dans la description, un ou plusieurs éléments d'insertion peuvent être également insérés dans l'ébauche de peau 100 pour la mettre en forme.

[0075] Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, on réalise une pluralité d'ébauches fibreuses de comblement. Les figures 6 et 7 montrent très schématiquement de telles ébauches fibreuses de comblement 2100, 2200, 2300, 2400, destinées à être empilées suivant une direction d'empilement perpendiculaire à la direction transversale DT et à la direction longitudinale DL à l'intérieur de l'ébauche fibreuse de peau 100.

[0076] Les ébauches des structures fibreuses de comblement 2100, 2200, 2300, 2400 sont de préférence obtenues par tissage tridimensionnel (3D) réalisé de façon connue au moyen d'un métier à tisser de type jacquard. En réalisant les ébauches des structures fibreuses de comblement par tissage tridimensionnel, on facilite leur manipulation et on s'assure d'une meilleure conformité des modules élastiques dans l'épaisseur lorsque ces ébauches seront empilées pour être insérées dans l'ébauche fibreuse de peau. De préférence, le tissage 3D utilisé est un tissage à armure "interlock". Par tissage "interlock", on entend ici une armure de tissage dans laquelle chaque couche de fils de trame lie plusieurs couches de fils de chaîne avec tous les fils d'une même colonne de trame ayant le même mouvement dans le plan de l'armure. D'autres types de tissage tridimensionnel connus pourront être utilisés, comme notamment ceux décrits dans le document WO 2006/136755.

[0077] On ne sort bien entendu pas du cadre de l'invention si les ébauches des structures fibreuses sont réalisées par un autre mode de tissage, par exemple par tissage bidimensionnel, ou si les ébauches fibreuses de comblement ne sont pas toutes réalisées avec le même mode de tissage.

- [0078] Les ébauches fibreuses de comblement peuvent être liées les unes aux autres par couture ou aiguilletage pour réaliser l'empilement qui sera inséré dans l'ébauche fibreuse de peau.
- [0079] Les deuxièmes ébauches fibreuses de comblement 2100, 2200, 2300, 2400 peuvent comporter une pluralité de fils de diverses natures, en particulier des fils en céramique ou en carbone ou encore un mélange de tels fils. De préférence, les deuxièmes ébauches fibreuses de comblement 2100, 2200, 2300, 2400 peuvent être réalisées à partir de fibres en carbure de silicium. De manière générale, les deuxièmes ébauches fibreuses de comblement 2100, 2200, 2300, 2400 peuvent également être réalisées à partir de fibres constituées des matériaux suivants : l'alumine, la mullite, la silice, un aluminosilicate, un borosilicate, du carbone, ou un mélange de plusieurs de ces matériaux.
- [0080] Chaque deuxième ébauche de comblement 2100, 2200, 2300, 2400 comprend une partie de comblement de profil aérodynamique 2111, 2211, 2311, 2411 destinée à former ultérieurement une partie du profil aérodynamique de l'aube. Chaque deuxième ébauche de comblement 200 comprend en outre une partie de comblement de pied 2112, 2212, 2312, 2412 destinée à former ultérieurement une partie du pied d'aube, et s'étendant depuis la partie de profil aérodynamique 2111, 2211, 2311, 2411 de ladite ébauche 2100, 2200, 2300, 2400.
- [0081] On réalise la préforme fibreuse 10 de l'aube en insérant la pluralité d'ébauches de comblement 2100, 2200, 2300, 2400 dans l'ébauche fibreuse de peau 100, d'une part de sorte que la partie de comblement de profil aérodynamique 2111, 2211, 2311, 2411 de chaque ébauche de comblement 2100, 2200, 2300, 2400 soit intégralement insérée par la déliaison 106 dans la partie de profil aérodynamique 111 de la première ébauche 100, afin de former la préforme de profil aérodynamique 11 de la préforme fibreuse 10, et d'autre part de sorte que la partie de comblement de pied 2112, 2212, 2312, 2412 de chaque ébauche de comblement 200 soit insérée entre la première portion 112e et la deuxième portion 112f de la partie de pied 112 de l'ébauche de peau 100, afin de former la préforme de pied 12 de la préforme fibreuse 10. Ainsi, la portion 112e et la deuxième portion 112f de la partie de pied 112 de la première ébauche 100 sont disposées de part et d'autre des parties de comblement de pied 2112, 2212, 2312, 2412 des ébauches de comblement 200. De préférence, la portion 112e et la deuxième portion 112f de la partie de pied 112 de la première ébauche 100 sont chacune disposées au contact d'une partie de comblement de pied 2112, 2412 d'une ébauche de comblement 2100, 2400.
- [0082] Dans l'exemple illustré sur les figures 6 et 7, l'empilement des ébauches fibreuses de comblement 2100, 2200, 2300, 2400 suivant la direction d'empilement présente une forme correspondant à celle du logement interne 140 de l'ébauche de peau 100. On ne

sort bien entendu pas du cadre de l'invention si l'empilement des ébauches fibreuses de comblement 2100, 2200, 2300, 2400 ne présente pas une forme correspondant à celle du logement interne 140 de l'ébauche de peau 100, tant que ledit empilement des ébauches fibreuses de comblement 2100, 2200, 2300, 2400 peut être inséré dans le logement interne 140 de l'ébauche de peau 100.

- [0083] Ce mode de réalisation par empilement d'une pluralité de deuxièmes ébauches fibreuses de comblement est particulièrement intéressant pour obtenir des épaisseurs plus importantes dans certaines zones de la préforme fibreuse, sans avoir à augmenter le nombre de couches tissées ou à baisser le taux volumique de fibre ou le ratio chaînes/trames. Il est ainsi possible d'utiliser des métiers à tisser de taille plus réduite, notamment grâce à la limitation du nombre de bobines nécessaires.
- [0084] Les deuxièmes ébauches fibreuses de comblement peuvent présenter une épaisseur globalement constante suivant la direction longitudinale DL, ou au contraire une épaisseur qui varie suivant la direction longitudinale DL.
- [0085] Les deuxièmes ébauches fibreuses de comblement peuvent être identiques les uns aux autres afin de simplifier le procédé de l'invention et d'améliorer la répétabilité, ou au contraire peuvent présenter un tissage, des matériaux ou une forme différents du tissage, des matériaux ou de la forme des autres deuxièmes ébauches fibreuses.
- [0086] Dans l'exemple illustré sur les figures 6 et 7, quatre deuxièmes ébauches fibreuses de comblement 2100, 2200, 2300, 2400 ont été insérées dans la première ébauche fibreuse de peau 100. On ne sort bien entendu pas du cadre de l'invention si seulement deux ou trois deuxièmes ébauches de comblement sont insérées dans la première ébauche fibreuse de peau. On ne sort pas non plus du cadre de l'invention si plus de quatre deuxièmes ébauches de comblement sont insérées dans la première ébauche fibreuse de peau.
- [0087] On ne sort pas du cadre de l'invention si une ou plusieurs ébauches fibreuses supplémentaires sont insérées dans la première ébauche fibreuse de peau, notamment si ces ébauches fibreuses supplémentaires sont disposées uniquement dans la partie de profil aérodynamique 111 de la première ébauche 100 ou uniquement dans la partie de pied 112 de la première ébauche 100. Ces ébauches fibreuses supplémentaires peuvent notamment être ajoutées pour obtenir des variations d'épaisseur importantes suivant la direction longitudinale DL, par exemple pour augmenter l'épaisseur de la préforme de pied à son extrémité libre. De préférence, ces ébauches fibreuses supplémentaires sont réalisées selon un même mode de tissage et avec les mêmes fibres que les deuxièmes ébauches fibreuses de comblement.
- [0088] Comme présenté plus loin dans la description, un ou plusieurs éléments d'insertion peuvent être également insérés dans l'ébauche de peau 100 pour la mettre en forme, par exemple de part et d'autre de l'empilement des ébauches fibreuses de comblement

2100, 2200, 2300, 2400 suivant la direction transversale DT.

- [0089] Dans le premier mode ou le deuxième mode de réalisation décrits précédemment, un ou plusieurs éléments d'insertion peuvent être insérés par la déliaison 106 dans la partie de profil aérodynamique 111 de l'ébauche de peau 100. Ces éléments d'insertions peuvent être destinés à faire partie de la pièce finale, ou être destinés à être retirés après l'opération de densification de la préforme fibreuse.
- [0090] De préférence, comme illustré sur les figures 8 et 9, deux éléments d'insertion 4 et 5 sont insérés de part et d'autre de la partie de comblement de profil aérodynamique 311 de la ou les deuxièmes ébauches de comblement 300 à l'intérieur de la partie de profil aérodynamique 111 de l'ébauche de peau 100, afin de former la préforme fibreuse 20 de l'aube. De préférence, aucun élément d'insertion n'est inséré dans la partie de comblement de pied 312 de la ou les deuxièmes ébauches de comblement 300.
- [0091] Les éléments d'insertion 4 et 5 peuvent être réalisés en mousse, par exemple de type Rohacell® HERO 200, peuvent être des pièces creuses ou peuvent présenter au moins partiellement une architecture en treillis. Les éléments d'insertion 4 et 5 peuvent également être réalisés au moins partiellement dans un matériau fugace, c'est-à-dire un matériau qui peut être éliminé mécaniquement, chimiquement ou thermiquement.
- [0092] Les éléments d'insertion 4 et 5 sont de préférence réalisés dans un matériau non structurel. De préférence, les éléments d'insertion 4 et 5 destinés à faire partie de l'aube finale présentent une masse volumique inférieure à la masse volumique de la première ébauche fibreuse et de la ou des deuxièmes ébauches fibreuses densifiées par la matrice dans l'aube finale.
- [0093] La préforme de profil aérodynamique de la préforme fibreuse obtenue par l'un des modes de réalisation précédents présente globalement la forme du profil aérodynamique de l'aube finale. La préforme de pied est destinée à former le renfort fibreux du pied de l'aube ou de la pale à réaliser, et la préforme de profil aérodynamique est destinée à former le renfort fibreux du profil aérodynamique de l'aube ou de la pale à réaliser.
- [0094] Dans tous les modes de réalisation présentés précédemment, une étape de compactage peut être réalisée sur la préforme fibreuse, par exemple afin de faire varier son épaisseur suivant la direction longitudinale. Par exemple, comme illustré sur la [Fig.7], on peut souhaiter réaliser un col, c'est-à-dire une zone de plus faible épaisseur, au niveau de la préforme de pied 12 ou à la jonction entre la préforme de pied 12 et la préforme de profil aérodynamique 11.
- [0095] Dans tous les modes de réalisation présentés précédemment, il est important d'une part que la première ébauche fibreuse de peau comprenne une partie de pied appartenant à la préforme de pied de l'aube et une partie de profil aérodynamique appartenant à la préforme de profil aérodynamique de l'aube liées en une seule pièce par

un tissage continu, et d'autre part qu'au moins une deuxième ébauche fibreuse de comblement comprenne une partie de pied appartenant à la préforme de pied de l'aube et une partie de profil aérodynamique appartenant à la préforme de profil aérodynamique de l'aube liées en une seule pièce par un tissage continu. En effet, cette double configuration permet une continuité de transmission des efforts entre le profil aérodynamique et le pied de l'aube, et en particulier des efforts de traction, de flexion et de compression circonférentielle. On évite ainsi également la présence d'une ou plusieurs interfaces structurelles entre le profil aérodynamique et le pied qui serait peu robuste d'un point de vue mécanique.

- [0096] On procède ensuite à la densification de la préforme fibreuse réalisée comme décrit précédemment. La densification de la préforme fibreuse destinée à constituer le renfort fibreux de la pièce 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.
- [0097] La densification peut être réalisée de façon connue en soi suivant le procédé par voie liquide (CVL). 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.
- [0098] 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.
- [0099] 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, 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.
- [0100] Selon un aspect de l'invention, 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 injecté la résine et les orifices d'évacuation de cette dernière afin de contrôler et d'optimiser l'imprégnation de la préforme par la résine.

- [0101] Comme illustré sur les figures 10 et 11, l'injection d'une composition liquide précurseur de matrice dans la préforme fibreuse ainsi que sa transformation en matrice sont ici réalisées dans un outillage d'injection 60 qui comprend une première coquille 61 comprenant en son centre une première empreinte 61a correspondant en partie à la forme et aux dimensions de l'aube à réaliser et une deuxième coquille 62 comprenant en son centre une deuxième empreinte 62a correspondant en partie à la forme et aux dimensions de l'aube à réaliser.
- [0102] Une fois l'outillage 60 fermé comme illustré sur la [Fig.11], les première et deuxième empreintes 61a et 62a respectivement des première et deuxième coquilles 61 et 62 définissent ensemble un volume interne ayant la forme de l'aube à réaliser et dans lequel est placée la préforme fibreuse 20. Un compactage de la préforme fibreuse peut être réalisé avec la fermeture de l'outillage 60 afin d'obtenir un taux de fibres déterminé dans la préforme. Dans ce cas, une pression de compactage est appliquée sur les coquilles 61 et 62 par exemple au moyen d'une presse. Le compactage de la préforme fibreuse peut également être réalisé dans un outillage séparé avant l'introduction dans l'outillage d'injection.
- [0103] L'outillage 60 comprend en outre des moyens permettant de réaliser l'injection d'un précurseur liquide de matrice et la transformation de ce précurseur en matrice. Plus précisément, dans l'exemple décrit ici, la première coquille 61 de l'outillage 60 comprend un port d'injection 61e destiné à permettre l'injection d'une composition liquide précurseur de matrice dans la préforme fibreuse tandis que la deuxième coquille comprend un port d'évacuation 62s destiné à coopérer avec un système de pompage pour la mise sous vide de l'outillage et le tirage d'air lors de l'injection. L'outillage d'injection 60 comprend également une partie inférieure 63 et une partie supérieure 64 entre lesquelles les première et deuxième coquilles 61 et 62 sont placées, la partie inférieure 63 et la partie supérieure 64 étant équipées de moyens de chauffage (non représentés sur la [Fig.11]).
- [0104] Une fois l'outillage 60 fermé, on procède au moulage de l'aube en imprégnant la préforme 20 avec une résine thermodurcissable que l'on polymérise par traitement thermique. On utilise à cet effet le procédé bien connu de moulage par injection ou transfert dit RTM ("Resin Transfert Moulding"). Conformément au procédé RTM, on injecte via le port d'injection 61e de la première coquille 61 une résine, par exemple

une résine thermodurcissable, dans le volume interne occupé par la préforme 20. Le port 62s de la deuxième coquille 62 est relié à un conduit d'évacuation maintenu sous pression (non représentés sur la [Fig.11]). Cette configuration permet l'établissement d'un gradient de pression entre la partie inférieure de la préforme 20 où la résine est injectée et la partie supérieure de la préforme 20 située à proximité du port 62s. De cette manière, la résine injectée sensiblement au niveau de la partie inférieure de la préforme 20 va imprégner progressivement l'ensemble de la préforme en circulant dans celle-ci jusqu'au port d'évacuation 62s par lequel le surplus est évacué. Bien entendu, les première et deuxième coquilles 61 et 62 de l'outillage 60 peuvent comprendre respectivement plusieurs ports d'injection et plusieurs ports d'évacuation.

[0105] La résine utilisée peut être, par exemple, une résine époxyde de classe de température 180 °C (température maximale supportée sans perte de caractéristiques). Les résines adaptées pour les procédés RTM sont bien connues. Elles présentent de préférence une faible viscosité pour faciliter leur injection dans les fibres. Le choix de la classe de température et/ou la nature chimique de la résine est déterminé en fonction des sollicitations thermomécaniques auxquelles doit être soumise la pièce. Une fois la résine injectée dans tout le renfort, on procède à sa polymérisation par traitement thermique conformément au procédé RTM.

[0106] La densification de la préforme fibreuse peut également être réalisée de manière bien connue par injection sous membrane, comme illustré sur la [Fig.12]. Ce mode d'injection permet une maîtrise complète de la quantité de résine ou de barbotine injectée, assurant ainsi un taux volumique de fibres précis et adaptée. Par conséquent, les caractéristiques mécaniques de la pièce ainsi fabriquée sont améliorées, avec une faible variabilité d'une pièce à l'autre.

[0107] La préforme fibreuse 20 est disposée dans un moule 70, qui comprend d'une part une chambre d'imprégnation 71 dans laquelle est disposée la préforme fibreuse afin d'être densifiée par une matrice par l'injection d'un fluide d'imprégnation par le biais des orifices d'injection 71a, et d'autre part une chambre de compaction 72 dans laquelle un fluide de compression est injecté par le biais des orifices d'injection 72a afin d'appliquer une pression sur la préforme fibreuse 20 durant sa densification par la matrice. La chambre d'imprégnation 71 et la chambre de compaction 72 sont séparées par une membrane souple 73. La membrane 73 permet d'appliquer la pression sur la préforme fibreuse 20 installée dans la chambre d'imprégnation 71, le fluide de compression appliquant une pression P sur la membrane 73 qui se déforme et applique ainsi à son tour une pression sur la préforme fibreuse 20. La membrane souple 73 est par exemple réalisée en silicone.

[0108] Selon la taille, l'épaisseur et la forme de l'aube ou de la pale d'hélice à fabriquer, on privilégiera une séquence d'injection des fluides de compression et d'imprégnation

différente.

- [0109] Par exemple, on peut commencer par injecter le fluide d'imprégnation, par exemple une résine, dans la chambre d'imprégnation où est disposée la préforme fibreuse. Une fois l'injection du fluide d'imprégnation terminée, on injecte le fluide de compression, par exemple de l'eau, dans la chambre de compaction de sorte à exercer une pression sur la membrane souple. La membrane souple applique ainsi une pression sur la préforme fibreuse, permettant de faire pénétrer le fluide d'imprégnation dans ladite préforme.
- [0110] La préforme est ensuite soumise à un traitement thermique alors que la pression exercée par la membrane est maintenue, afin de former une matrice dans les porosités de la préforme fibreuse.
- [0111] Selon un autre exemple, on peut commencer par injecter le fluide de compression dans la chambre de compaction. Ainsi, avant même l'injection du fluide d'imprégnation, on applique déjà par le biais de la membrane souple une pression sur la préforme fibreuse dont la valeur permet d'obtenir le taux volumique de fibre souhaité. On débute ensuite l'injection du fluide d'imprégnation, qui peut être réalisée alors que l'on continue à injecter du fluide de compression afin de compenser les pertes de charges, particulièrement dans le cas où le fluide d'imprégnation est une barbotine. Une telle séquence d'injection est par exemple décrite dans le document WO 2019/197757 A1.
- [0112] Après l'injection et la polymérisation, l'aube est démoulée.
- [0113] Si des éléments d'insertion en matériau fugace avaient été insérés dans la préforme fibreuse, ils peuvent être éliminés lors de la polymérisation de la résine, ou être éliminés lors du démoulage ou après le démoulage de l'aube. Les éléments d'insertion peuvent également être retirés de manière à obtenir un profil aérodynamique d'aube partiellement creux. Enfin, les éléments d'insertion 4 et 5 peuvent être conservés dans l'aube.
- [0114] Au final, l'aube est détournée pour enlever l'excès de résine et les chanfreins sont usinés. Une étape de détournage ou d'usinage peut être effectuée sur la pièce réalisée pour obtenir l'aube ou la pale d'hélice à réaliser. En particulier, un usinage spécifique du pied de l'aube peut être réalisé afin de lui donner une forme particulière, notamment une forme globalement sphérique ou sensiblement en forme de sablier.
- [0115] Les procédés de densification décrits ci-avant permettent de réaliser principalement des aubes ou pales d'hélices en matériau composite à matrice organique (CMO), à matrice carbone (C/C) et à matrice céramique (CMC).
- [0116] Une aube ou une pale d'hélice obtenue selon le procédé de l'invention comprend ainsi une peau constituée par un premier renfort fibreux de peau tissé en une seule pièce par tissage tridimensionnel, correspondant à la première ébauche fibreuse de

peau, et un longeron constitué d'un deuxième renfort fibreux de comblement, correspondant à la ou les deuxièmes ébauches fibreuses de comblement.

- [0117] L'aube ou la pale d'hélice obtenue par le procédé de l'invention est particulièrement intéressante dans la mesure où la peau présente un tissage continu entre le profil aérodynamique et le pied, et dans la mesure où le longeron présente un tissage continu entre le profil aérodynamique et le pied suivant la direction longitudinale DL. L'aube ou la pale d'hélice ainsi obtenue présente par conséquent une excellente tenue mécanique en traction, en flexion et en compression circonférentielle.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de fabrication d'une aube ou pale d'hélice en matériau composite comprenant un renfort fibreux densifié par une matrice, le procédé comprenant :

- la réalisation par tissage tridimensionnel d'une première ébauche fibreuse de peau (100) en une seule pièce, la première ébauche fibreuse (100) présentant une forme plate s'étendant suivant une direction longitudinale (DL) et une direction transversale (DT) correspondant respectivement à la direction d'envergure et à la direction de corde de l'aube ou la pale d'hélice à fabriquer, la première ébauche fibreuse (100) comprenant une partie de profil aérodynamique (111) destinée à former au moins une partie du renfort fibreux du profil aérodynamique de l'aube ou de la pale d'hélice, ladite partie de profil aérodynamique (111) comprenant deux peaux (111e, 111f) délimitant entre elles un logement interne (140),
- la réalisation par tissage d'au moins une deuxième ébauche fibreuse de comblement (200 ; 300), la deuxième ébauche fibreuse (200 ; 300) comprenant une partie de comblement de pied (212 ; 312) et une partie de comblement de profil aérodynamique (211 ; 311) destinées respectivement à former au moins une partie du renfort fibreux du pied et du renfort fibreux du profil aérodynamique de l'aube ou de la pale d'hélice,
- la mise en forme de la première ébauche fibreuse de peau (100) par l'insertion d'au moins une deuxième ébauche fibreuse de comblement (200 ; 300) dans le logement interne (140) de la partie de profil aérodynamique (111) de la première ébauche fibreuse (100) de manière à obtenir une préforme fibreuse (20) de l'aube ou de la pale d'hélice, ladite préforme fibreuse (20) comprenant une préforme de profil aérodynamique formée par la partie de profil aérodynamique (111) de la première ébauche de peau (100) et par la partie de comblement de profil aérodynamique (211 ; 311) d'au moins une deuxième ébauche de comblement (200 ; 300), et une préforme de pied comprenant la partie de comblement de pied (212 ; 312) d'au moins une deuxième ébauche fibreuse de comblement (200 ; 300), et
- la densification de la préforme fibreuse (20) par une matrice pour obtenir une aube ou une pale d'hélice en matériau composite ayant un renfort fibreux constitué par la préforme fibreuse et densifié par la matrice, et formant une seule pièce avec pied intégré,

caractérisé en ce que la première ébauche fibreuse de peau (100) comprend en outre une partie de pied (112) destinée à former au moins une partie du renfort fibreux du profil aérodynamique de l'aube ou de la pale d'hélice, ladite partie de pied (112) de la première ébauche (100) comprenant au moins deux portions (112e, 112f) s'étendant suivant dans la direction longitudinale (DL) dans le prolongement des deux peaux (111e, 111f) de la partie de profil aérodynamique (111) de ladite première ébauche (100), de sorte que la préforme de pied de la préforme fibreuse (20) soit formée par l'insertion de la partie de de comblement de pied (212 ; 312) d'au moins une deuxième ébauche fibreuse de comblement (200 ; 300) entre les deux portions (112e, 112f) de la partie de pied (112) de la première ébauche fibreuse de peau (100).

- [Revendication 2] Procédé de fabrication selon la revendication 1, dans lequel la première ébauche fibreuse (100) est réalisée par tissage tridimensionnel présentant une armure interlock.
- [Revendication 3] Procédé de fabrication selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la ou les deuxièmes ébauches fibreuses (200 ; 300) sont réalisées par tissage tridimensionnel présentant une armure interlock.
- [Revendication 4] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la mise en forme de la première ébauche fibreuse (100) est réalisée par l'insertion d'une pluralité de deuxièmes préformes fibreuses (2100, 2200, 2300, 2400) dans le logement interne (140) de la partie de profil aérodynamique (111) de la première ébauche fibreuse (100).
- [Revendication 5] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la mise en forme de la première ébauche fibreuse (100) est réalisée par l'insertion d'une unique deuxième préforme fibreuse (200 ; 300) réalisée en une seule pièce par tissage tridimensionnel.
- [Revendication 6] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel la mise en forme de la première ébauche fibreuse (100) comprend l'introduction dans le logement interne (140) de la partie de profil aérodynamique (111) de ladite première ébauche fibreuse (100) d'au moins un élément d'insertion (4, 5) présentant une masse volumique inférieure à la masse volumique de la première et de la ou les deuxièmes ébauches densifiées par une matrice.
- [Revendication 7] Aube ou pale d'hélice en matériau composite comprenant un renfort fibreux densifié par une matrice, l'aube ou la pale d'hélice comportant suivant une direction longitudinale (DL) un pied et un profil aérodynamique, et s'étendant suivant une direction transversale (DT) entre

un bord d'attaque et un bord de fuite, l'aube ou la pale d'hélice comprenant :

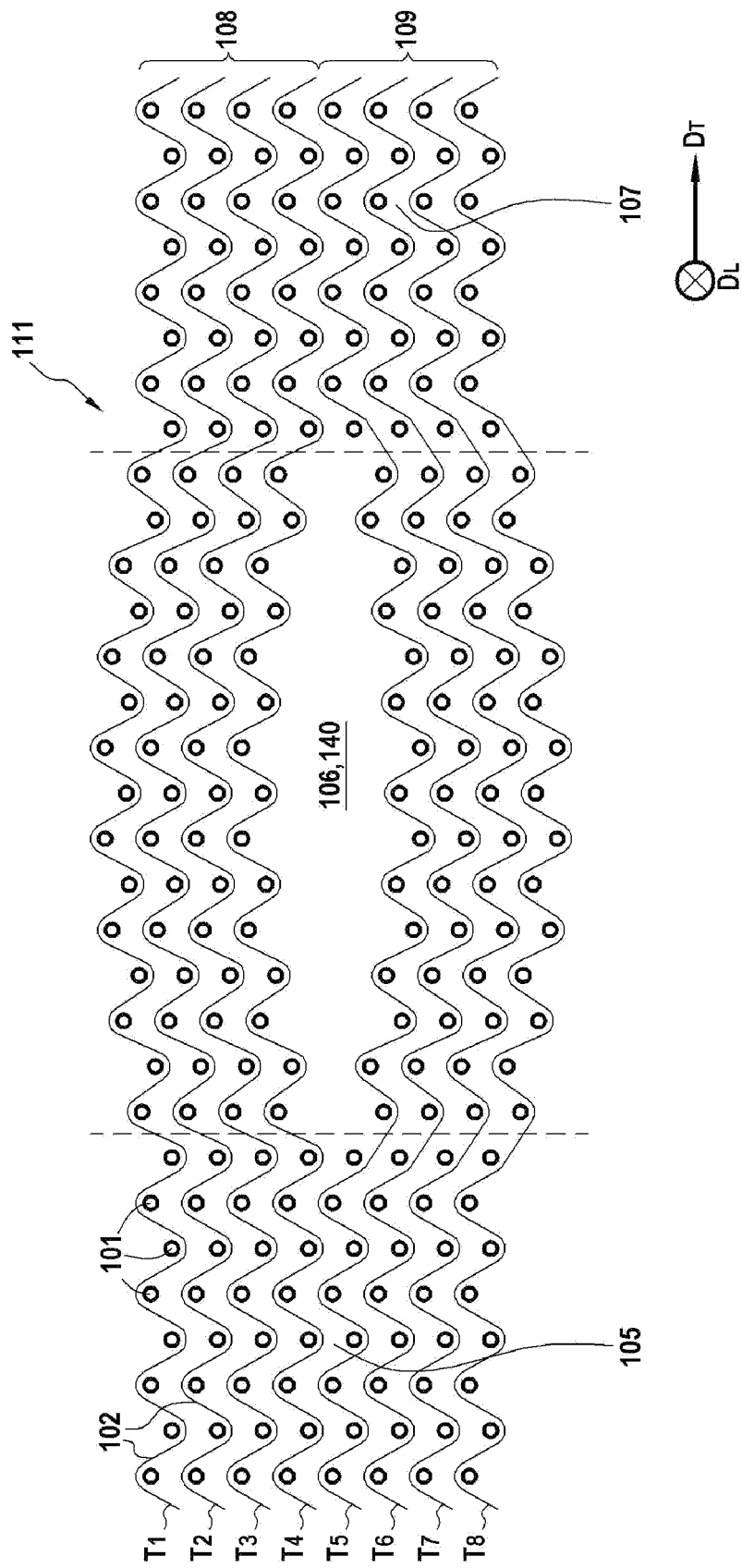
- un longeron constitué d'un renfort fibreux obtenu par tissage tridimensionnel et densifié par une matrice, ledit longeron comprenant une partie de comblement de pied appartenant au pied de l'aube ou de la pale d'hélice et une partie de comblement de profil aérodynamique appartenant au profil aérodynamique de l'aube ou de la pale d'hélice, et
- une peau obtenue par tissage tridimensionnel d'un renfort fibreux en une seule pièce densifié par une matrice recouvrant la partie de comblement de profil aérodynamique du longeron, caractérisée en ce que le renfort fibreux de la peau comprend en outre au moins deux portions disposées de part et d'autre de la partie de comblement de pied du longeron.

[Revendication 8] Aube ou pale d'hélice selon la revendication 7, dans laquelle les renforts fibreux du longeron et la peau présentent une armure de tissage interlock.

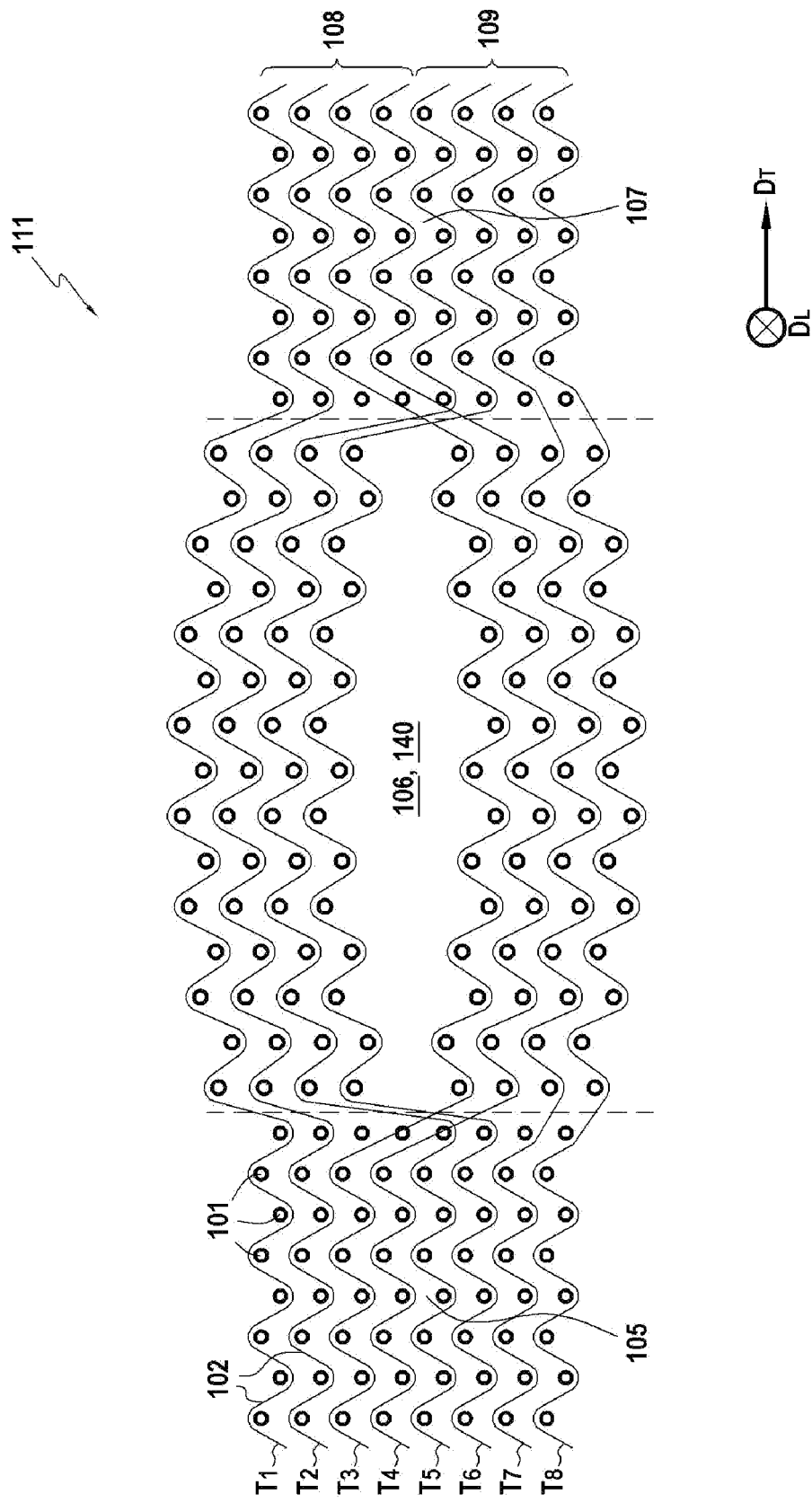
[Revendication 9] Aube ou pale d'hélice selon la revendication 7 ou 8, dans laquelle le renfort fibreux du longeron est formé par un empilement d'une pluralité de couches de tissus réalisés par tissage tridimensionnel, la direction d'empilement étant perpendiculaire aux directions transversale et longitudinale de l'aube ou de la pale d'hélice.

[Revendication 10] Aube ou pale d'hélice selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, comprenant en outre au moins un élément d'insertion disposé entre la peau et la partie de comblement de profil aérodynamique du longeron et présentant une masse volumique inférieure à la masse volumique de la peau et du longeron.

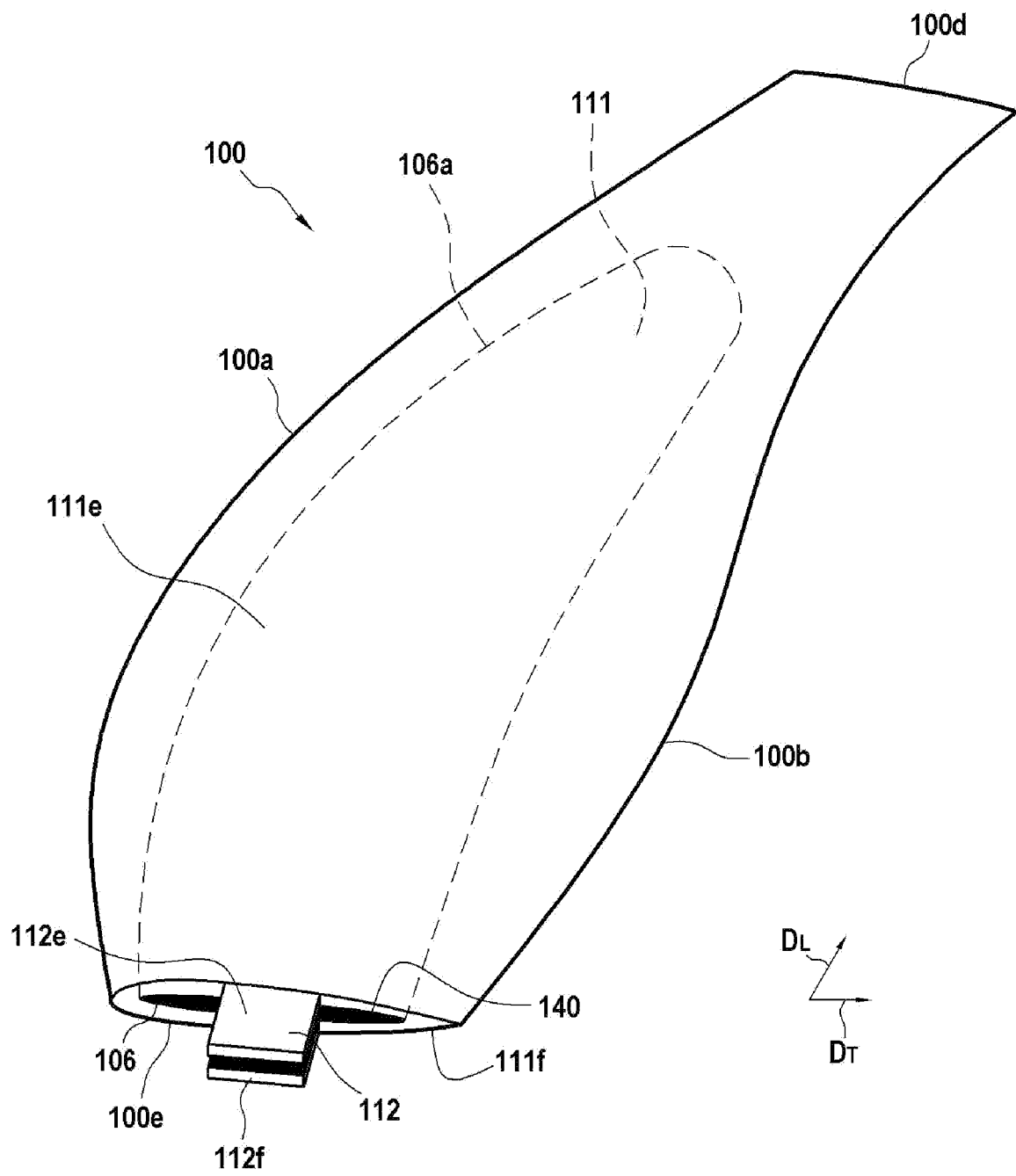
[Fig. 2]



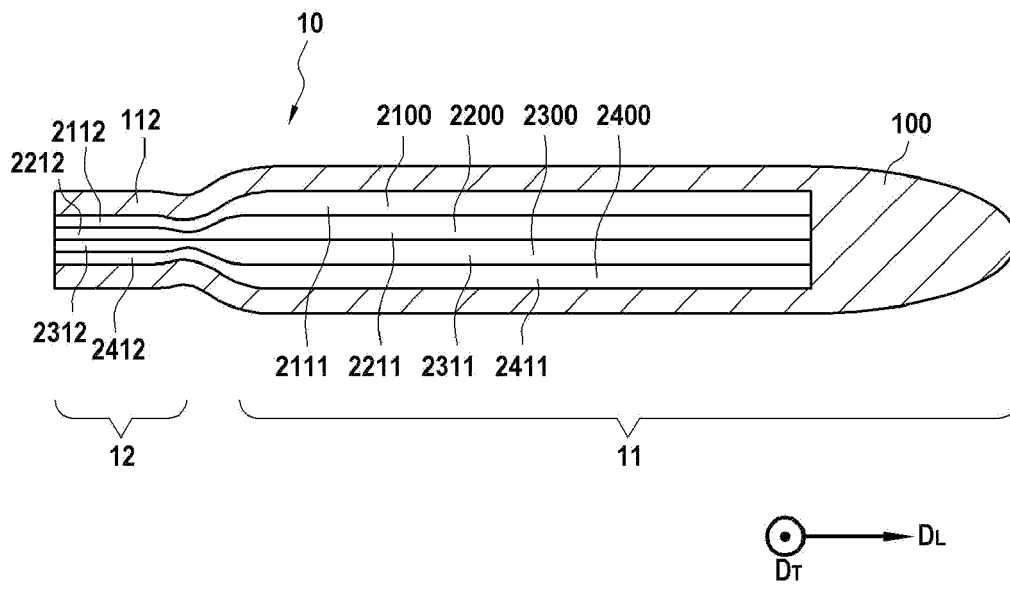
[Fig. 3]



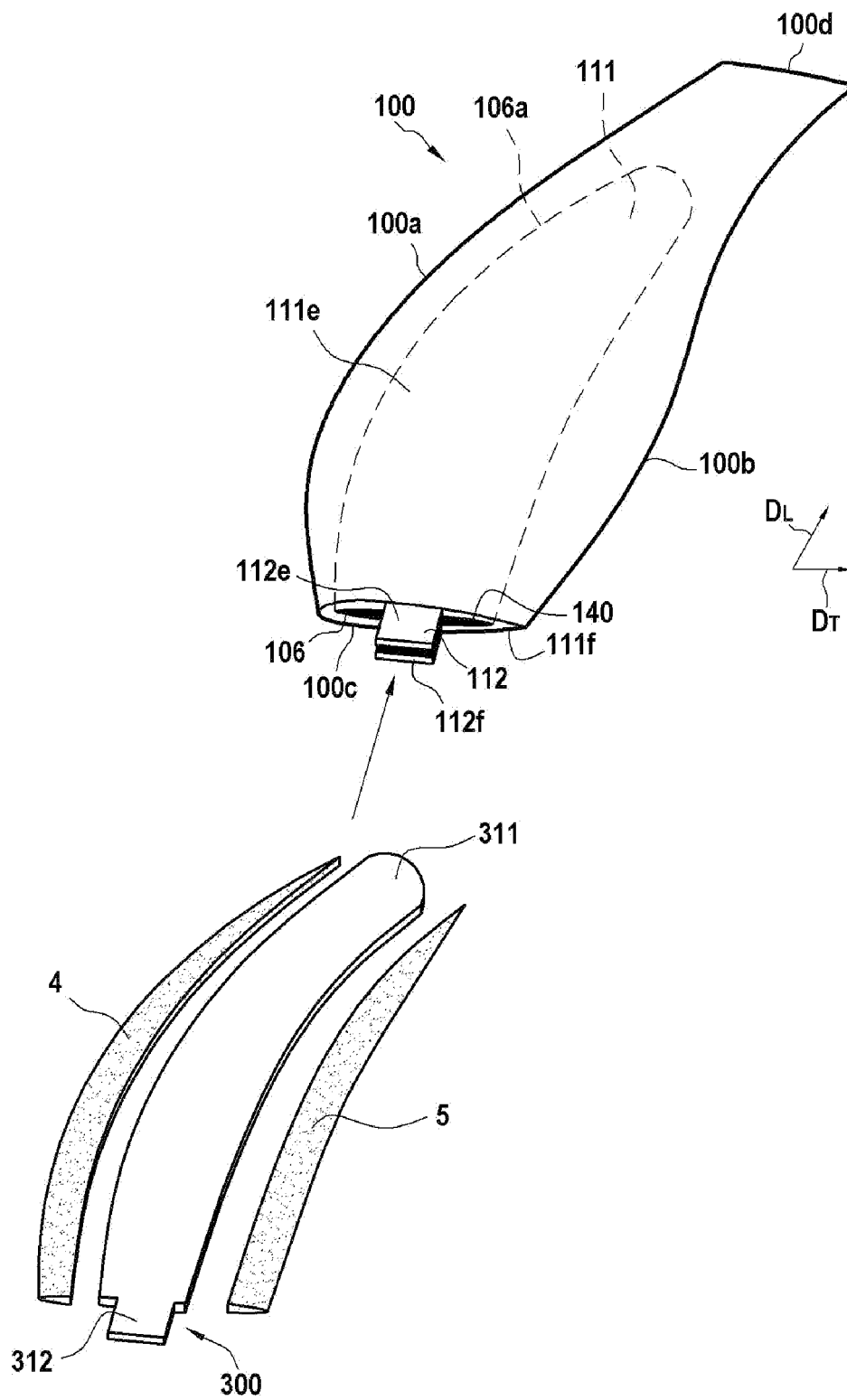
[Fig. 4]



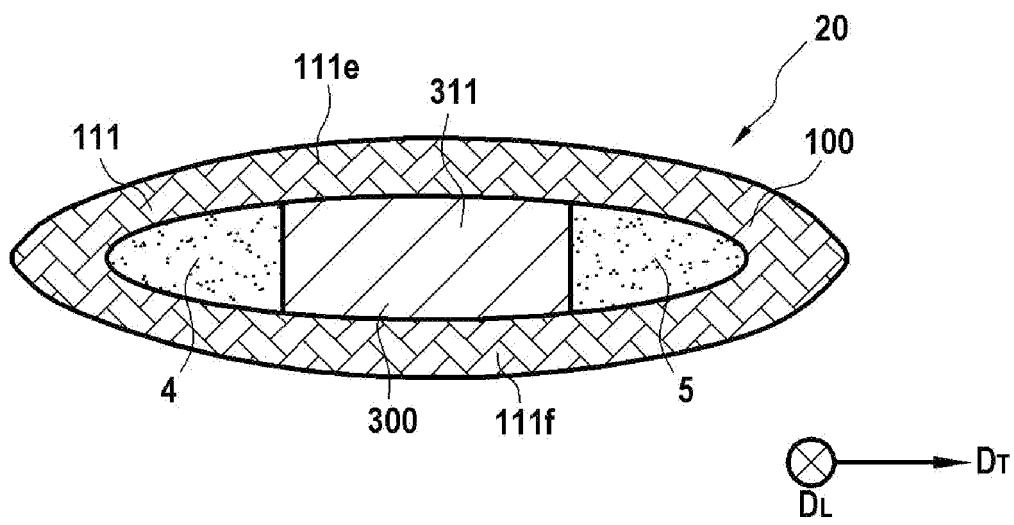
[Fig. 7]



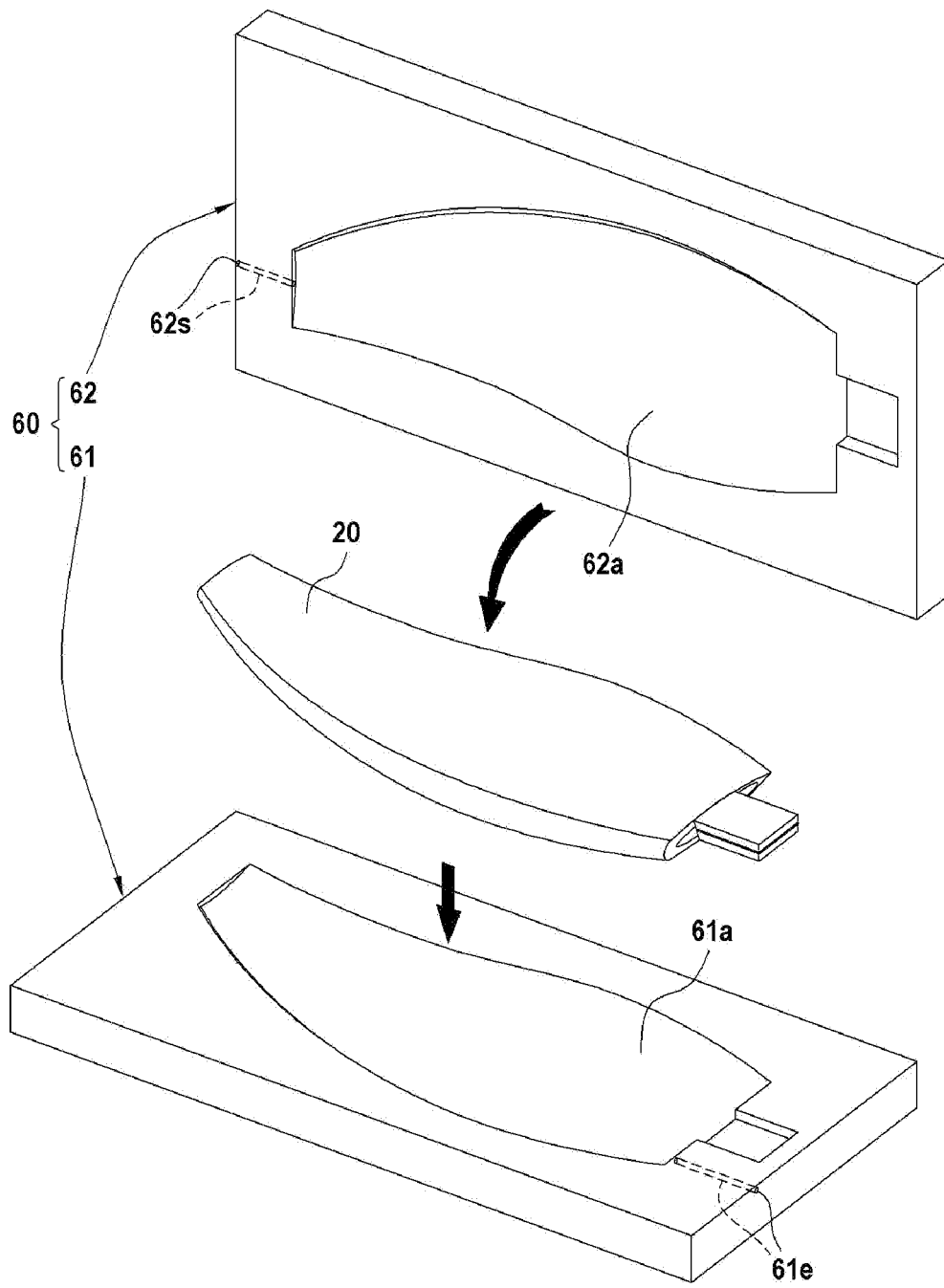
[Fig. 8]



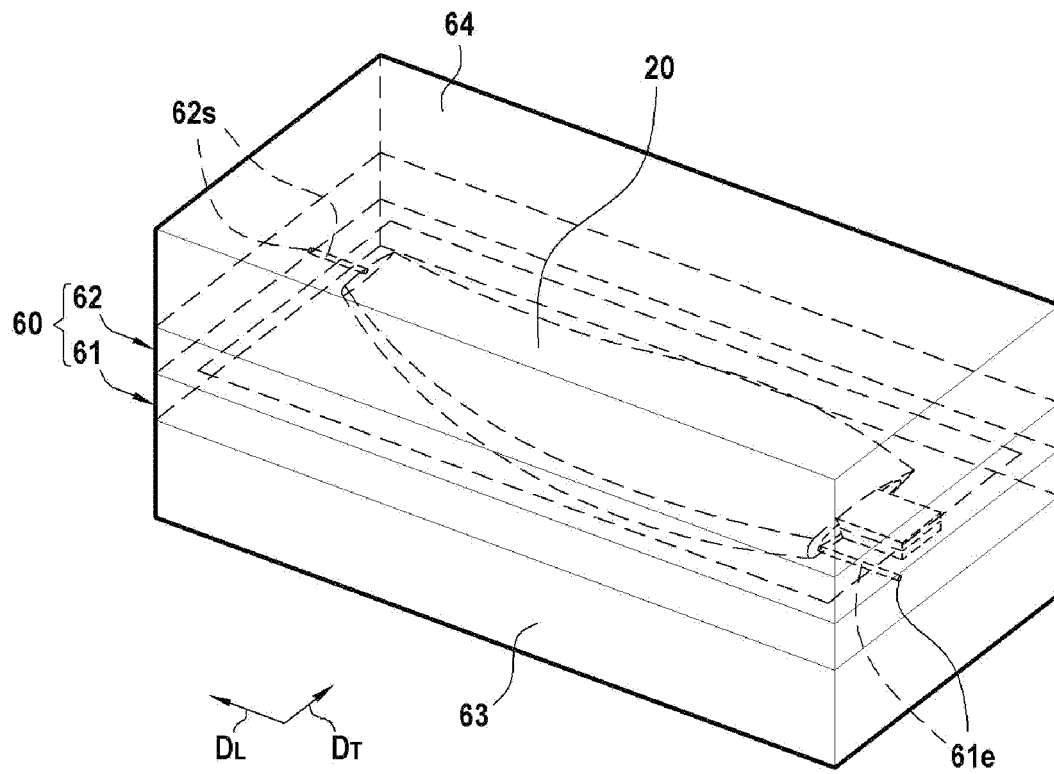
[Fig. 9]



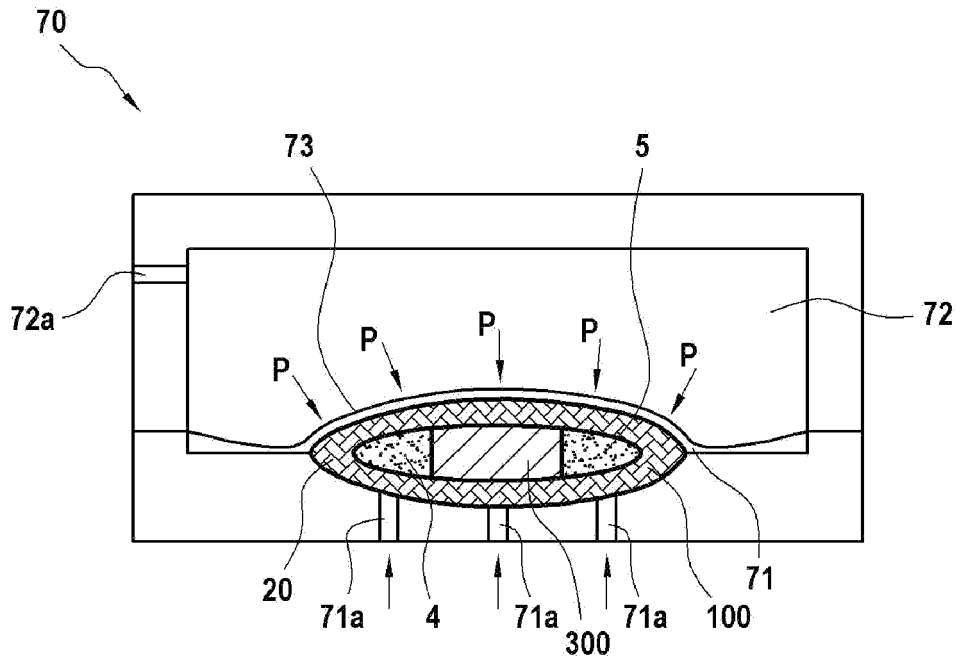
[Fig. 10]



[Fig. 11]



[Fig. 12]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

NEANT

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

US 2013/272893 A1 (FABRE ADRIEN [FR] ET AL) 17 octobre 2013 (2013-10-17)

US 2013/017093 A1 (COUPE DOMINIQUE [FR] ET AL) 17 janvier 2013 (2013-01-17)

EP 3 511 240 A1 (SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR]) 17 juillet 2019 (2019-07-17)

WO 2015/004362 A1 (SNECMA [FR]) 15 janvier 2015 (2015-01-15)

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

NEANT