

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

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

**3 126 448**

②① N° d'enregistrement national : **21 08850**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **F 01 D 5/12 (2020.12), B 29 C 70/20, B 29 C 70/22**

①②

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤④ Embuvage différencié des torons du renfort fibreux d'une aube de soufflante.

②② Date de dépôt : 24.08.21.

③① Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 03.03.23 Bulletin 23/09.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 14.07.23 Bulletin 23/28.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥① Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *Safran Aircraft Engines Société par  
actions simplifiée (SAS) — FR.*

⑦② Inventeur(s) : TABLEAU Nicolas, Paul, GONDRE  
Guillaume Pascal Jean-Charles et SCHNEIDER-DIE-  
GROSS Julien Paul.

⑦③ Titulaire(s) : Safran Aircraft Engines Société par  
actions simplifiée (SAS).

⑦④ Mandataire(s) : REGIMBEAU.

**FR 3 126 448 - B1**



## **Description**

### **Titre de l'invention : Embuvage différencié des torons du renfort fibreuse d'une aube de soufflante**

#### **DOMAINE DE L'INVENTION**

- [0001] L'invention concerne de manière générale le domaine des turbomachines, et plus particulièrement celui des aubes de soufflante en matériau composite de ces turbomachines et leur procédé de fabrication.
- [0002] L'invention s'applique plus particulièrement aux aubes de soufflante carénées, notamment pour des turbomachines présentant un très fort taux de dilution, ainsi qu'aux aubes (ou hélices) de soufflante non carénée de type à calage variable ou stator par exemple à calage variable dans une turbomachine de type « USF » (acronyme anglais de Unducted Single Fan, pour soufflante unique non carénée) ayant un rotor et un stator ou open rotor à deux rotors assimilables à une aube de module de soufflante. Ainsi, outre un rotor de soufflante de turbomachine open rotor l'invention peut aussi s'appliquer à une hélice constituant une soufflante dans le cadre d'un turbopropulseur.

#### **ETAT DE LA TECHNIQUE**

- [0003] Les aubes de turbomachine, et notamment les aubes de soufflante, subissent d'importantes contraintes mécaniques et thermiques et doivent satisfaire à des conditions strictes de poids et d'encombrement. Il a donc été proposé d'utiliser des aubes dans un matériau composite comportant un renfort fibreux densifié par une matrice polymère, qui sont plus légères par rapport à des aubes métalliques à caractéristiques propulsives équivalentes et qui ont une tenue à la chaleur satisfaisante.
- [0004] La zone d'échasse des aubes est fortement sollicitée en utilisation, en particulier dans la zone d'interface de l'aube avec le disque de soufflante. L'effort centrifuge résultant de la rotation du rotor de soufflante endommage en effet l'aube dans cette zone d'interface. En fonction des formes/designs retenus pour l'intégration de cette pièce par rapport au disque, il peut en résulter des sollicitations locales multi-axiales de type traction hors plan (c'est-à-dire suivant une direction sensiblement normale à l'intrados) et en cisaillement hors plan entre les différentes couches du matériau composite.
- [0005] Afin d'éviter que ces contraintes multiaxiales ne soient trop localisées, il a été proposé de rallonger le pied d'aube vers l'amont. Toutefois, cela implique de rallonger également le disque de soufflante et impacte donc négativement la masse totale du module de soufflante.

#### **Exposé de l'invention**

- [0006] Un objectif de l'invention est de remédier aux inconvénients précités, en proposant une aube de soufflante pour une turbomachine comprenant un matériau composite

renforcé par une matrice, dont la résistance à l'endommagement est améliorée, en particulier dans la zone d'échasse, sans créer pour autant de zone fragilité ni alourdir la masse de la section de soufflante.

[0007] Pour cela, selon un premier aspect, l'invention propose une Aube de soufflante d'une turbomachine comprenant une structure en matériau composite comprenant un pied configuré pour être inséré dans une empreinte d'un disque de soufflante, une pale propre à s'étendre dans un flux d'air et une échasse s'étendant entre le pied et la pale ; dans laquelle la structure en matériau composite présente un intrados et un extrados et une épaisseur totale au niveau de l'échasse, l'épaisseur totale étant mesurée entre l'intrados et l'extrados dans la partie d'échasse dans un plan normal à un axe d'empilement de l'aube ;

dans laquelle la structure en matériau composite est obtenue par tissage tridimensionnel de torons de trame et de torons de chaîne ;

la structure en matériau composite comprenant des torons de chaîne et des torons de trame, les torons de chaîne étant distribués dans des plans de chaîne juxtaposés entre le bord d'attaque et le bord de fuite, chaque plan de chaîne comprenant des colonnes de torons de chaîne s'étendant suivant l'axe d'empilement, les colonnes de torons de chaîne définissant l'intrados et l'extrados au sein du pied et/ou de l'échasse correspondant à des torons de surface,

l'aube de soufflante étant caractérisée en ce que, dans au moins 50 % des plans de chaîne et au plus 90 % des plans de chaîne, les torons de surface sont entrecroisés avec les torons de trame sur une épaisseur comprise entre 5% et 10% de l'épaisseur totale, et dans au moins 10% et au plus 30 % des plans de chaîne, les torons de surface sont libres.

[0008] Certaines caractéristiques préférées mais non limitatives de l'aube de soufflante selon le premier aspect sont les suivantes, prises individuellement ou en combinaison :

- l'aube comprend en outre une première couche comprenant l'intrados et présentant une première épaisseur comprise entre 10 % et 25 % de l'épaisseur totale, une deuxième couche comprenant l'extrados et présentant une deuxième épaisseur comprise entre 10 % et 25 % de l'épaisseur totale, et une couche centrale s'étendant entre la première couche et la deuxième couche, et en ce qu'en dehors des torons de surface, un embuvage des torons de chaîne dans les première et deuxième couches est supérieur à un embuvage des torons de chaîne dans la couche centrale ;

- le pied et l'échasse se joignent au niveau d'une interface, les torons de surface étant entrecroisés avec les torons de trame dans une zone comprenant l'interface ;

- une zone comprenant les torons de surface entrecroisés avec les torons de trame s'étend sur une hauteur comprise entre au moins 10 % d'une hauteur totale du pied d'aube et au plus 30 % de la hauteur totale du pied de l'aube ;

- une zone comprenant les torons de surface entrecroisés avec les torons de trame s'étend sur une hauteur correspondant à au moins un plan de trame et au plus trois plans de trame ;
- la première couche, la deuxième couche et la couche centrale s'étendent au sein de l'échasse et du pied ;
- la première épaisseur et la deuxième épaisseur sont sensiblement égales ; et/ou
- les torons de trame et/ou de chaîne dans la première couche et dans la deuxième couche présentent un module d'élasticité compris entre 150 GPa et 190 GPa et peuvent comprendre des fibres de verre ou de basalte, et les torons de trame et/ou de chaîne dans la couche centrale présentent un module d'élasticité compris entre 240 GPa et 350 GPa, de préférence supérieur ou égal à 250 GPa, et peuvent comprendre des fibres de carbone.

- [0009] Selon un deuxième aspect, l'invention concerne une soufflante pour une turbomachine comprenant une pluralité d'aubes de soufflante conformes au premier aspect.
- [0010] Selon un troisième aspect, l'invention propose une turbomachine comprenant une telle soufflante et un aéronef comprenant cette turbomachine.
- [0011] Selon un quatrième aspect, l'invention propose un aéronef comprenant au moins une turbomachine selon le troisième aspect.
- [0012] Selon un cinquième aspect, l'invention propose un métier à tissé configuré pour tisser une structure en matériau composite d'une aube selon le premier aspect.

### **DESCRIPTION DES FIGURES**

- [0013] D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :
- [0014] [Fig.1] La [Fig.1] illustre un exemple de soufflante conforme à un mode de réalisation de l'invention ;
- [0015] [Fig.2] La [Fig.2] est une vue schématique d'un exemple d'aéronef pouvant comprendre au moins une turbomachine conforme à mode de réalisation de l'invention ;
- [0016] [Fig.3] La [Fig.3] est une vue schématique d'un exemple d'aube de soufflante conforme à un mode de réalisation de l'invention ; et
- [0017] [Fig.4] La [Fig.4] est une vue partielle et en coupe de la structure en matériau composite de l'aube de soufflante la [Fig.3] sur laquelle ont été représentés de manière très schématique les torons de surface, ainsi que les torons chaîne et les torons de trame dans la première couche, la deuxième couche et la couche centrale conformément à un mode de réalisation de l'invention.

[0018] [Fig.5a] La [Fig.5a] est une vue partielle et schématique dans la zone adjacente aux portées d'un exemple de premier plan de chaîne pour une aube conforme à un mode de réalisation de l'invention.

[0019] [Fig.5b] La [Fig.5b] est une vue partielle et schématique dans la zone adjacente aux portées d'un autre exemple de premier plan de chaîne pour une aube conforme à un mode de réalisation de l'invention.

[0020] [Fig.6] La [Fig.6] est une vue partielle et schématique dans la zone adjacente aux portées d'un exemple de deuxième premier plan de chaîne pour une aube conforme à un mode de réalisation de l'invention.

[0021] Sur l'ensemble des figures, les éléments similaires portent des références identiques.

### **DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION**

[0022] Dans la présente demande, l'amont et l'aval sont définis par rapport au sens d'écoulement normal du gaz dans la soufflante 1 à travers la turbomachine 15. Par ailleurs, on appelle axe de révolution de la soufflante 1, l'axe X de symétrie radiale de la soufflante 1. La direction axiale correspond à la direction de l'axe X de la soufflante 1, et une direction radiale est une direction perpendiculaire à cet axe et passant par lui.

[0023] Une soufflante 1 de turbomachine 15 (par exemple une turbomachine 15 d'aéronef 100) comprend un disque 2 de soufflante 1 portant une pluralité d'aubes 3 de soufflante 1 associées à des plateformes inter-aubes. Le disque peut comprendre tout support de pales dans un rotor de type soufflante, par exemple un disque plein définissant des alvéoles ou un support d'aube y compris dans un rotor dans lequel l'aube est à calage variable en ayant le support permettant ce calage variable. Ces disques étant connus ils ne seront pas davantage décrits ici.

[0024] Chaque aube 3 comprend une structure en matériau composite 4 comportant un renfort fibreux obtenu par tissage tridimensionnel et une matrice dans laquelle est noyé le renfort fibreux.

[0025] Cette structure en matériau composite 4 comprend un pied 5, une échasse 6 et une pale 7 à profil aérodynamique. Le pied 5 est destiné à permettre la fixation de l'aube 3 au disque 2 de soufflante et s'étend à cet effet entre un fond d'une empreinte formée dans le disque 2 et la sortie 14 des portées de l'empreinte. La pale 7 à profil aérodynamique quant à elle est propre à être placée dans un flux d'air, lorsque la turbomachine 15 est en fonctionnement, afin de générer une portance. Enfin, l'échasse 6 correspond à la zone de la pale 7 qui s'étend entre le pied 5 et la pale 7, c'est-à-dire entre la sortie 14 des portées (zones de contact de l'aube avec le disque) et les plateformes inter-aubes (qui délimitent intérieurement la veine d'écoulement secondaire). L'échasse 6 n'est donc pas configurée pour s'étendre dans le flux d'air.

[0026] L'aube 3 comprend également, de manière connue en soi, un bord d'attaque 18, un

bord de fuite 19, un intrados 16 et un extrados 17. Le bord d'attaque 18 est configuré pour s'étendre en regard de l'écoulement des gaz entrant dans la turbomachine 15. Il correspond à la partie antérieure d'un profil aérodynamique qui fait face au flux d'air et qui divise l'écoulement d'air en un écoulement d'intrados et en un écoulement extrados. Le bord de fuite 19 quant à lui correspond à la partie postérieure du profil aérodynamique, où se rejoignent les écoulements intrados et extrados.

- [0027] Enfin, la structure est formée d'une pluralité de sections d'aube empilées depuis le pied 5 selon un axe d'empilement Y s'étendant radialement par rapport à l'axe de révolution X de la soufflante 1.
- [0028] Dans ce qui suit, par « hauteur » on désignera une distance suivant l'axe d'empilement Y. Ainsi, le pied d'aube 5 et l'échasse 6 présente une hauteur correspondant à la distance suivant l'axe d'empilement Y entre la limite inférieure 10 du pied 5 et la limite supérieure de l'échasse 6 (à l'intersection avec la pale). On désignera par ailleurs par « épaisseur » une distance dans un plan normal à l'axe d'empilement Y et suivant un axe s'étendant entre la paroi intrados 16 et la paroi extrados 17 qui coupe l'axe d'empilement Y. Enfin, on désignera par « largeur » une distance normale à l'axe d'empilement Y et suivant un axe s'étendant entre le bord d'attaque 18 et le bord de fuite 19 de l'aube 3.
- [0029] Le renfort fibreux de la structure en matériau composite 4 peut être formé à partir d'une préforme fibreuse en une seule pièce obtenue par tissage tridimensionnel ou multicouche avec épaisseur évolutive. Il comprend des torons de chaîne 9 (c'est-à-dire des torons s'étendant suivant l'axe d'empilement Y des sections d'aube 3) et de trame (c'est-à-dire des torons s'étendant suivant la corde de l'aube 3) qui peuvent notamment comprendre des fibres en carbone, en verre, en basalte, et/ou en aramide. La matrice quant à elle est typiquement une matrice polymère, par exemple époxyde, bis-maléimide ou polyimide. L'aube 3 est alors formée par moulage au moyen d'un procédé d'injection sous vide de résine du type RTM (pour « Resin Transfer Moulding »), ou encore VARTM (pour Vacuum Resin Transfer Moulding).
- [0030] Les torons de chaîne 9 sont distribués dans des plans de chaîne entre le bord d'attaque 18 et le bord de fuite 19, chaque plan de chaîne s'étendant parallèlement à l'axe d'empilement entre l'intrados 16 et l'extrados 17 et comprenant des colonnes de torons de chaîne 9 s'étendant suivant la direction d'empilement Y. Les torons de trame 10 sont distribués dans des plans de trame entre le pied 5 et le sommet de l'aube 3, chaque plan comprenant des lignes de torons de trame 10 et s'étendant dans un plan normal à l'axe d'empilement Y. Les plans de chaîne sont globalement perpendiculaires aux plans de trame.
- [0031] Dans ce qui suit, on désignera par « torons de surface 9a » les torons de chaîne 9 qui sont au sein de l'échasse 6 et/ou du pied 5 et qui s'étendent se trouvent à la surface de

la préforme fibreuse et définissent les surfaces de l'intrados 16 et de l'extrados 17.

- [0032] La [Fig.3] représente schématiquement une aube 3 dont le renfort fibreux a été mis en forme à partir d'une préforme fibreuse tissée tridimensionnelle, avant injection de résine ou densification par une matrice et usinage éventuel, afin d'obtenir une aube 3 de soufflante en matériau composite conforme à l'invention. Par tissage tridimensionnel, on comprendra que les torons de chaîne 9 suivent des trajets sinueux afin de lier entre eux des torons de trame 10 appartenant à des couches de torons de trame 10 différentes, étant noté qu'un tissage tridimensionnel, notamment à armure interlock, peut inclure des tissages 2D en surface. Différentes armures de tissage tridimensionnel peuvent être utilisées, telles que des armures interlock, multi-satin ou multi-voile, par exemple, comme décrit notamment dans le document WO 2006/136755.
- [0033] Au cours du tissage, une tension est appliquée aux torons de chaîne 9 et aux torons de trame 10 afin de leur conférer une raideur différentielle et donc un embuvage respectif prédéterminés. Par embuvage d'un toron, on comprendra ici la différence entre la longueur d'un toron donné lorsqu'il est parfaitement droit et la longueur réelle (dans le renfort fibreux) de ce toron du fait de l'entrecroisement qu'il réalise afin de se lier avec les autres torons, et définissant ainsi ce que l'on appelle communément l'armure tissée du renfort fibreux. L'embuvage s'exprime généralement en pourcentages et caractérise ainsi l'ondulation du toron. De manière connue en soi, lorsqu'un toron donné est droit, son embuvage est égal 0 % ; plus le toron est ondulé, plus son embuvage est élevé.
- [0034] La structure en matériau composite 4 présente, au sein du pied 5 et/ou de l'échasse 6, une première couche 11 comprenant l'intrados 16 et présentant une première épaisseur E1 comprise entre 10 % et 25 % de l'épaisseur totale E, une deuxième couche 12 comprenant l'extrados 17 et présentant une deuxième épaisseur E2 comprise entre 10 % et 25 % de l'épaisseur totale E, et une couche centrale 13 s'étendant entre la première couche 11 et la deuxième couche 12. La première couche 11 et la deuxième couche 12 forment donc la peau de l'aube 3 tandis que la couche centrale 13 est à cœur.
- [0035] Par épaisseur totale E, on comprendra ici l'épaisseur de la structure en matériau composite 4 mesurée à mi-hauteur de l'échasse 6, au niveau du bord d'attaque 18.
- [0036] Afin d'améliorer la résistance à l'endommagement de l'aube 3 de soufflante, dans 50 % à 90 % des plans de chaîne (de préférence 70 % à 90 %), des torons de surface 9a sont entrecroisés avec des torons de trame 10 sur une épaisseur comprise entre 5% et 10% de l'épaisseur totale E. Par ailleurs, dans 10% à 30 % des plans de chaîne (de préférence, le reste des plans de chaîne), des torons de surface 9a sont libres. Par torons libres, on comprendra ici des torons qui ne sont pas entrecroisés avec des torons de trame 10 – voir [Fig.6] – ou des torons de liages qui sont en surface au niveau de la

sortie des portées. Ainsi, deux populations de torons de chaîne sont formées : une première population qui est entrecroisée au niveau de la sortie de portée entre 5 % et 10 % de l'épaisseur (50 % à 90 % des plans de chaîne, de préférence 70 % à 90 %) ; et une population de torons libres ou de liage qui sont en surface au niveau de la sortie de portée (10 % à 30 % des plans de chaîne). Cet entrecroisement des torons de surface 9a avec les torons de trame 10 sur une majorité des plans de chaîne permet de générer une contrainte interne de compression à proximité de la sortie 14 des portées, augmentant artificiellement la limite du premier endommagement (et diminuant ainsi les endommagements) dans cette zone. Des exemples d'entrecroisement des torons de surface 9a ont été illustrés sur les figures 5a et 5b.

[0037] Les plans P1 dans lesquels les torons de surface 9a sont entrecroisés avec les torons de trame 10 sur une épaisseur comprise entre 5% et 10% de l'épaisseur totale (E) seront désignés ici par « premiers plans P1 ». Les plans P2 dans lesquels les torons de surface 9a sont libres seront désignés « deuxièmes plans P2 ».

[0038] On notera que, au sein d'un même premier plan P1, des torons de surface 9a au niveau de l'intrados et/ou de l'extrados peuvent être entrecroisés. Ainsi, dans un même premier plan P1, le toron de surface 9a formant l'intrados 16 peut être entrecroisé avec un ou des torons de trame 10, alors que le toron de surface 9a formant l'extrados 17 est libre (comme illustré schématiquement en [Fig.6]), ou inversement. De préférence, à la fois les torons de surface 9a de l'intrados 16 et de l'extrados 17 peuvent être entrecroisés dans un premier plan P1 (comme illustré schématiquement en [Fig.5a] et 5b).

[0039] De préférence, la répartition des premiers et deuxièmes plans P1, P2 est globalement régulière sur la largeur de l'aube 3, c'est-à-dire entre le bord d'attaque 18 et le bord de fuite 19. Ainsi, selon la largeur, dix plans de chaîne adjacents comprennent au moins 5 premiers plans P1, de préférence entre 7 et 9 premiers plans P1, le complément étant formé de deuxièmes plans P2.

[0040] Les torons de surface 9a sont de préférence entrecroisés avec les torons de trame 10 dans les premiers plans P1 au niveau de la sortie 14 des portées (entourées sur les figures 5a, 5b et 6), c'est à dire à proximité de l'interface entre le pied 5 et l'échasse 6. Ils sont entrecroisés par ailleurs sur une hauteur correspondant à au moins l'épaisseur d'un plan de trame, par exemple du plan de trame immédiatement sous la sortie 14 des portées jusqu'au plan de trame immédiatement au-dessus. En variante, les torons de surface 9a s'entrecroisent dans les premiers plans P1 sur une hauteur comprise entre au moins 10 % d'une hauteur totale du pied d'aube (qui correspond à la distance suivant l'axe d'empilement Y entre le fond du pied 5 et l'interface), ou au moins un plan de trame, et au plus 30 % de la hauteur totale du pied de l'aube, ou au plus trois plans de trame.

- [0041] Dans une forme de réalisation, au sein de l'échasse 6 et/ou du pied 5, les autres torons de chaîne 9 de la première et de la deuxième couche 11, 12, c'est-à-dire les torons des première et deuxième couches 11, 12 qui ne sont pas des torons de surface 9a, présentent quant à eux un embuvage plus important que les torons de chaîne 9 placés à cœur (c'est-à-dire dans la couche centrale 13). La structure en matériau composite 4 est donc plus souple dans les couches 11, 12 et plus raide à cœur, ce qui réduit encore davantage les concentrations de la charge centrifuge à proximité des peaux.
- [0042] De préférence, la première épaisseur E1 et la deuxième épaisseur E2 sont comprises entre 20 % et 25 %. La première épaisseur E1 et la deuxième épaisseur E2 peuvent être sensiblement égales, à 5 % près.
- [0043] La différence d'embuvage des torons de chaîne 9 peut être obtenue modifiant le tissage de sorte que les torons de chaîne dans les première et deuxième couches 11, 12 soient davantage courbées et donc davantage déformables. A cet effet, le tissage peut par exemple être effectué en accentuant l'embuvage local de sorte que les torons de chaîne rentrent plus profondément dans l'épaisseur du matériau (davantage d'entrecroisements).
- [0044] Dans une variante de réalisation, qui peut être cumulée avec la première, la différence d'embuvage des torons de chaîne 9 dans les couches 11 et 12 peut être obtenue en appliquant une tension différente aux torons de chaîne 9 et/ou aux torons de trame 10 dans le métier à tisser utilisé pour réaliser le renfort fibreux de sorte que la tension subie par les torons de chaîne 9 à cœur (dans la couche centrale 13) est supérieure à la tension subie par les torons de chaîne 9 à proximité des peaux (dans les première et deuxième couches 11, 12) et/ou la tension subie par les torons de trame 10 à cœur est inférieure à celle subie par les torons de trame 10 à proximité des peaux.
- [0045] La demanderesse s'est en effet aperçue du fait que les endommagements de l'aube 3 de soufflante se situaient généralement au niveau des peaux de l'aube 3, plus précisément à proximité de la sortie 14 des portées, et que les torons de chaîne 9 dans les première et deuxième couches 11, 12 étaient plus chargés que les torons de chaîne 9 dans la couche centrale 13. L'augmentation de l'embuvage des torons de surface 9 (dans les premiers plans P1) et dans les première et deuxième couches 11, 12 du renfort fibreux (et/ou la diminution de l'embuvage des torons de chaîne 9 dans la couche centrale 13) permet ainsi de rendre les torons de chaîne 9 plus souples dans ces couches 11, 12 que les torons de chaîne 9 à cœur et de mieux répartir la charge reprise par les torons de chaîne 9 au sein de l'échasse 6 et du pied 5.
- [0046] Dans une première forme de réalisation, la différence de tension subie par les torons de chaîne 9 dans la couche centrale 13 et dans les première et deuxième couches 11, 12 peut être obtenue en augmentant la tension appliquée aux torons de chaîne 9 dans la

couche centrale 13 et/ou en réduisant la tension appliquée aux torons de chaîne 9 dans les première et deuxième couches 11, 12. Par exemple la tension subie par les torons de chaîne 9 de la couche centrale 13 est au moins 100 % supérieure à la tension subie par les torons de chaîne 9 dans la première et la deuxième couche 11, 12, par exemple entre 100 % et 200 % supérieure.

[0047] Dans une deuxième forme de réalisation qui peut être cumulée avec la première, la différence d'embuvage des torons de chaîne 9 dans la couche centrale 13 et dans les première et deuxième couches 11, 12 peut être obtenue en réduisant la tension appliquée aux torons de trame 10 dans la couche centrale 13 et/ou en augmentant la tension appliquée aux torons de trame 10 dans les première et deuxième couches 11, 12. La modification de la tension appliquée aux torons de trame 10 a en effet un impact direct sur la tension subie par les torons de chaîne 9 à proximité de leur interface et donc leur embuvage et leur raideur. Par exemple la tension subie par les torons de trame 10 de la couche centrale 13 est au moins 100 % inférieure à la tension subie par les torons de trame 10 dans la première et la deuxième couche 11, 12, par exemple entre 100 % et 200 % supérieure. On notera toutefois que les torons de trame 10 subissent moins de frottement car elles sont directement en contact avec les torons de chaîne 9 au niveau bas du métier à tisser. La tension à appliquer aux torons de trame 10 peut donc être plus faible que sur les torons de chaîne 9 pour un effet équivalent sur l'embuvage des torons de chaîne 9.

[0048] On notera que le niveau de tension appliqué à un toron 9, 10 lors du procédé de tissage a un effet direct sur son embuvage, et donc sur la propriété mécanique dans la direction du toron. Ainsi, la diminution de l'embuvage des torons de chaîne 9 (et donc l'augmentation de leur raideur et de leur résistance à la rupture) peut se faire en diminuant la tension dans les torons de trame 10 ou en augmentant la tension dans les torons de chaîne 9. Comme indiqué ci-avant, la diminution de la tension des torons de trame 10 et l'augmentation de la tension des torons de chaîne 9 peut se faire de manière couplée ou dissociée afin d'obtenir une diminution de l'embuvage recherchée. Le raisonnement pour la diminution de l'embuvage pour une direction (par exemple dans les torons de chaîne) a l'effet inverse pour l'embuvage de la direction orthogonale (les torons de trame 10).

[0049] La variation de tension appliquée par le métier à tisser sur les torons de chaîne 9 et/ou de trame 10 peut être obtenue par tout moyen adapté, le principe étant d'exercer une tension d'appel directement à la sortie de la bobine sur laquelle est enroulée le toron. De manière connue en soi, cette tension peut être appliquée par un système de ressort venant tirer chaque toron de chaîne 9, ou à l'aide de poids positionnés entre la sortie du toron de chaîne 9 de la bobine et des œillets des lisses du métier à tisser. Par ailleurs, il existe dans le commerce des bobines permettant de maîtriser la tension appliquée.

Enfin, la tension appliquée aux torons de trame 10 peut être gérée de manière similaire que pour les torons de chaîne 9, et /ou en utilisant une pince qui vient attraper l'extrémité du toron de trame 10 et le tire à travers la foule (entrelacement des chaînes), puis relâche le toron de trame 10 une fois que le battement du métier à tisser est passé à la séquence suivante. Ces moyens d'application d'une tension à un toron (de chaîne 9 ou de trame 10) étant connus en soi, ils ne seront pas davantage détaillés ici.

- [0050] De préférence, la première couche 11, la deuxième couche 12 et la couche centrale 13 s'étendent dans le pied 5 et l'échasse 6 de la structure en matériau composite 4. Il s'agit en effet des parties de l'aube 3 qui sont susceptibles d'être endommagées en fonctionnement par le chargement centrifuge.
- [0051] Lorsque la différence d'embuvage est obtenue par application d'une tension différente sur les torons de trame 10 de la couche centrale 13 et sur les torons de trame 10 des première et deuxième couches 11, 12 ou, le cas échéant, en modifiant le tissage des torons de chaîne 9, la première couche 11, la deuxième couche 12 et la couche centrale 13 peuvent s'étendre sur une partie seulement la hauteur de l'aube 3. Dans ce cas, les trois couches 11, 12, 13 s'étendent à proximité de la sortie 14 des portées, dans l'échasse 6 et le cas échéant dans le pied 5. Dans une forme de réalisation, les trois couches 11, 12, 13 s'étendent de part et d'autre de la sortie 14 des portées, par exemple sur une hauteur  $h_1$  le long du pied 5 et une hauteur  $h_2$  le long de l'échasse 6 comprises entre 15 % et 25 % de l'épaisseur totale  $E$ , de préférence entre 20 % et 25 % de l'épaisseur totale  $E$  (soit une hauteur totale  $h_1 + h_2$  comprise entre 30 % et 50 % de l'épaisseur totale  $E$ ).
- [0052] Lorsque la différence d'embuvage est obtenue par application d'une tension différente sur les torons de chaîne 9 de la couche centrale 13 et sur les torons de chaîne 9 des première et deuxième couches 11, 12, la première couche 11, la deuxième couche 12 et la couche centrale 13 peuvent s'étendre sur toute la hauteur de l'aube 3. En variante, les torons de chaîne 9 dans la première et deuxième couche 11, 12 peuvent le cas échéant être sortis progressivement du renfort fibreux au niveau de la limite supérieure des première et deuxième couches 11, 12 (à une distance comprise entre 15 % et 25 % de l'épaisseur totale  $E$ , de préférence entre 20 % et 25 % de l'épaisseur totale  $E$ , de la sortie 14 des portées) et remplacés par autant de torons de chaîne 9 subissant une tension équivalente à celle des torons de chaîne 9 dans la couche centrale 13, afin de limiter les gradients de changement de propriété dans la structure en matériau composite (raideur et résistance à la rupture) qui seraient susceptibles de fragiliser l'aube 3.
- [0053] Ainsi, quelle que soit la forme de réalisation des couches 11, 12 et 13, ces couches 11, 12 et 13 peuvent s'étendre sur une hauteur supérieure à la hauteur sur laquelle les

torons de surface 9a sont entrecroisés dans les premiers plans P1.

- [0054] On notera que la transition dans l'épaisseur entre la première couche 11 (la deuxième couche 12, respectivement) et la couche centrale 13 peut être progressive, c'est-à-dire que l'embuvage appliqué aux torons de chaîne 9 diminue progressivement de la première couche 11 (respectivement, de la deuxième couche 12) vers la couche centrale 13. Cette transition de l'embuvage des torons de chaîne 9 de la première couche 11 (la deuxième couche 12, respectivement) vers la couche centrale 13 peut par exemple être réalisée sur une épaisseur comprise entre 2% et 8 % de l'épaisseur totale E.
- [0055] Afin d'améliorer encore la souplesse de la structure en matériau composite 4 à proximité des peaux, les torons de trame 10 et/ou de chaîne 9 dans la première couche 11 et la deuxième couche 12 peuvent être réalisés dans un matériau présentant un module d'élasticité inférieur à celui des torons de trame 10 et/ou de chaîne dans la couche centrale 13. Par exemple, les torons 9 et/ou 10 dans la première et la deuxième couche 11, 12 peuvent présenter un module d'élasticité compris entre 150 GPa et 190 GPa et peuvent comprendre des fibres de verre ou de basalte. Les torons 9 et/ou 10 dans la couche centrale 13 peuvent présenter un module d'élasticité compris entre 240 GPa et 350 GPa, de préférence supérieur ou égal à 250 GPa, et peuvent comprendre des fibres de carbone. De la sorte, les torons 9, 10 à cœur assurent une raideur suffisante de l'aube 3 permettant de respecter les critères de conception et de garantir son statut fréquentiel, tandis que les torons 9, 10 en peau limitent l'initiation et la propagation d'endommagements de l'aube 3.
- [0056] De manière générale, les configurations décrites sont valables pour des turbo-machines 15 dont la soufflante 1 peut avoir un diamètre extérieur de l'ordre de 1,8 mètre à 3 mètres. Le nombre d'aubes 3 de la soufflante 1 peut être égal par à 16 ou 18. Quel que soit le diamètre de la soufflante 1, le nombre d'aubes 3 de soufflante sera réduit autant que possible.

## Revendications

[Revendication 1]

Aube de soufflante (3) d'une turbomachine (15) comprenant une structure en matériau composite (4) comprenant un pied (5) configuré pour être inséré dans une empreinte d'un disque de soufflante, une pale (7) propre à s'étendre dans un flux d'air et une échasse (6) s'étendant entre le pied (5) et la pale (7) ;

dans laquelle la structure en matériau composite (4) présente un intrados (16) et un extrados (17) et une épaisseur totale (E) au niveau de l'échasse (6), l'épaisseur totale (E) étant mesurée entre l'intrados (16) et l'extrados (17) dans la partie d'échasse (6) dans un plan normal à un axe d'empilement (Y) de l'aube ;

dans laquelle la structure en matériau composite (4) est obtenue par tissage tridimensionnel de torons de trame (10) et de torons de chaîne (9) ;

la structure en matériau composite (4) comprenant des torons de chaîne (9) et des torons de trame (10), les torons de chaîne (9) étant distribués dans des plans de chaîne juxtaposés entre le bord d'attaque (18) et le bord de fuite (19), chaque plan de chaîne comprenant des colonnes de torons de chaîne (9) s'étendant suivant l'axe d'empilement (Y), les colonnes de torons de chaîne (9) définissant l'intrados (16) et l'extrados (17) au sein du pied (5) et/ou de l'échasse (6) correspondant à des torons de surface (9a),

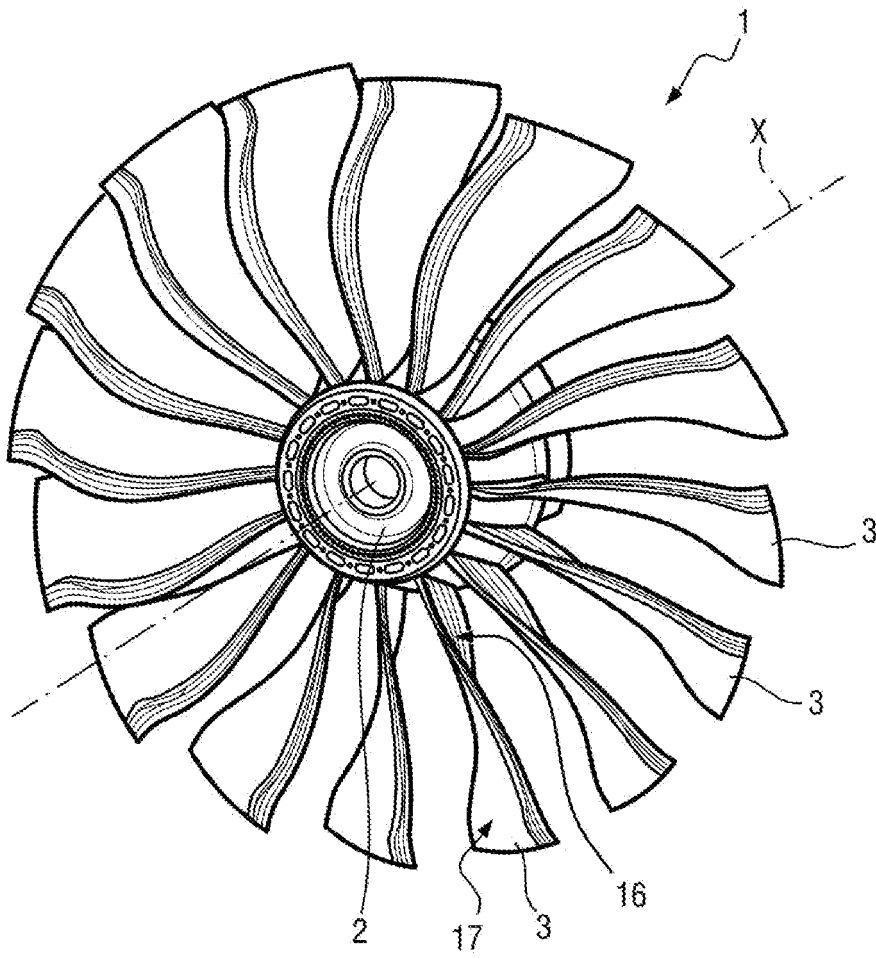
l'aube de soufflante (3) étant caractérisée en ce que, dans au moins 50 % des plans de chaîne et au plus 90 % des plans de chaîne, les torons de surface (9a) sont entrecroisés avec les torons de trame (10) sur une épaisseur (E3) comprise entre 5% et 10% de l'épaisseur totale (E), et dans au moins 10% et au plus 30 % des plans de chaîne, les torons de surface (9a) sont libres.

[Revendication 2]

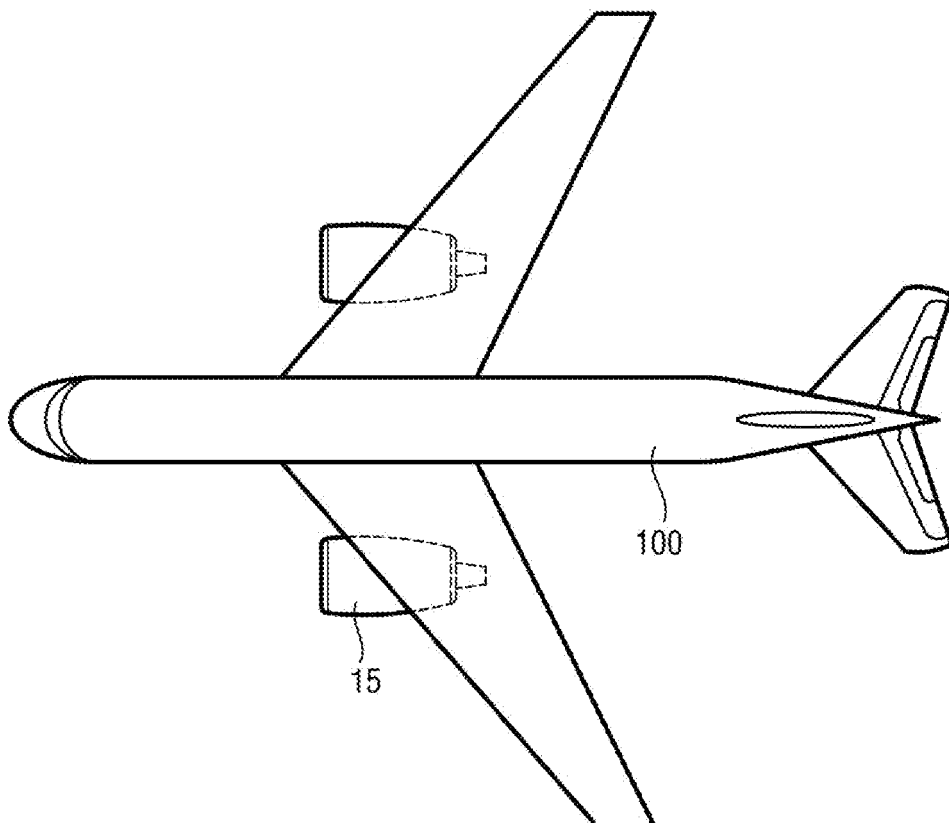
Aube de soufflante (3) selon la revendication 1, comprenant en outre une première couche (11) comprenant l'intrados (16) et présentant une première épaisseur (E1) comprise entre 10 % et 25 % de l'épaisseur totale (E), une deuxième couche (12) comprenant l'extrados (17) et présentant une deuxième épaisseur (E2) comprise entre 10 % et 25 % de l'épaisseur totale (E), et une couche centrale (13) s'étendant entre la première couche (11) et la deuxième couche (12), et en ce qu'en dehors des torons de surface (9a), un embuvage des torons de chaîne (9) dans les première et deuxième couches (11, 12) est supérieur à un embuvage

- des torons de chaîne (9) dans la couche centrale (13).
- [Revendication 3] Aube de soufflante (3) selon l'une des revendications 1 et 2, dans laquelle le pied (5) et l'échasse (6) se joignent au niveau d'une interface (14), les torons de surface (9a) étant entrecroisés avec les torons de trame (10) dans une zone comprenant l'interface.
- [Revendication 4] Aube de soufflante (3) selon la revendication 3, dans laquelle une zone comprenant les torons de surface (9a) entrecroisés avec les torons de trame (10) s'étend sur une hauteur comprise entre au moins 10 % d'une hauteur totale du pied d'aube (5) et au plus 30 % de la hauteur totale du pied de l'aube (5).
- [Revendication 5] Aube de soufflante (3) selon la revendication 3, dans laquelle une zone comprenant les torons de surface (9a) entrecroisés avec les torons de trame (10) s'étend sur une hauteur correspondant à au moins un plan de trame et au plus trois plans de trame.
- [Revendication 6] Aube de soufflante (3) selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle la première couche (11), la deuxième couche (12) et la couche centrale (13) s'étendent au sein de l'échasse (6) et du pied (5).
- [Revendication 7] Aube de soufflante (3) selon l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle la première épaisseur (E1) et la deuxième épaisseur (E2) sont sensiblement égales.
- [Revendication 8] Aube de soufflante (3) selon l'une des revendications 1 à 7, dans laquelle les torons de trame (10) et/ou de chaîne (9) dans la première couche (11) et dans la deuxième couche (12) présentent un module d'élasticité compris entre 150 GPa et 190 GPa et peuvent comprendre des fibres de verre ou de basalte, et les torons de trame (10) et/ou de chaîne dans la couche centrale (13) présentent un module d'élasticité compris entre 240 GPa et 350 GPa, de préférence supérieur ou égal à 250 GPa, et peuvent comprendre des fibres de carbone.
- [Revendication 9] Soufflante (1) comprenant une pluralité d'aubes de soufflante (3) selon l'une des revendications 1 à 8.
- [Revendication 10] Turbomachine (15) comprenant une soufflante (1) selon la revendication 9.

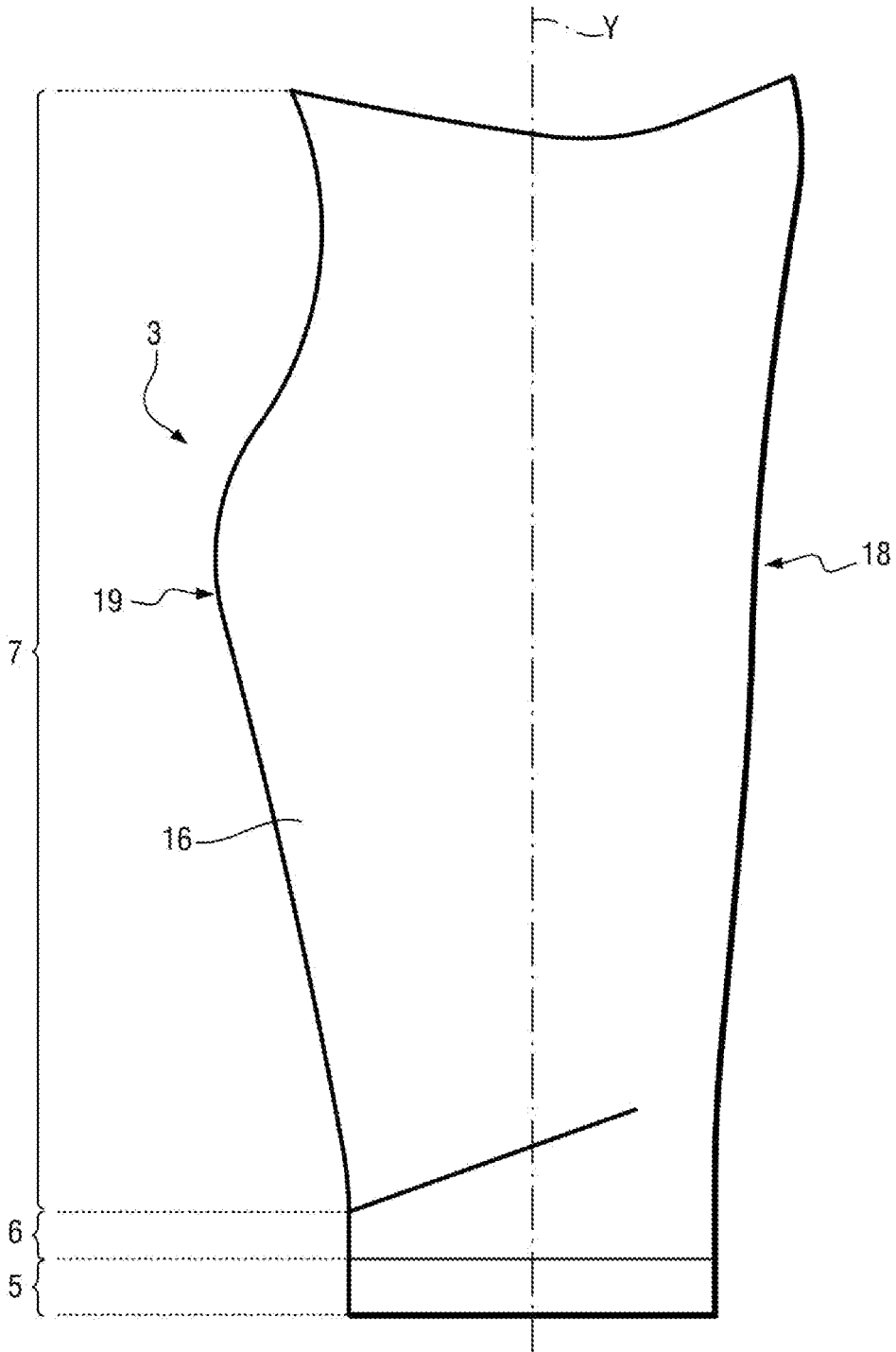
[Fig. 1]



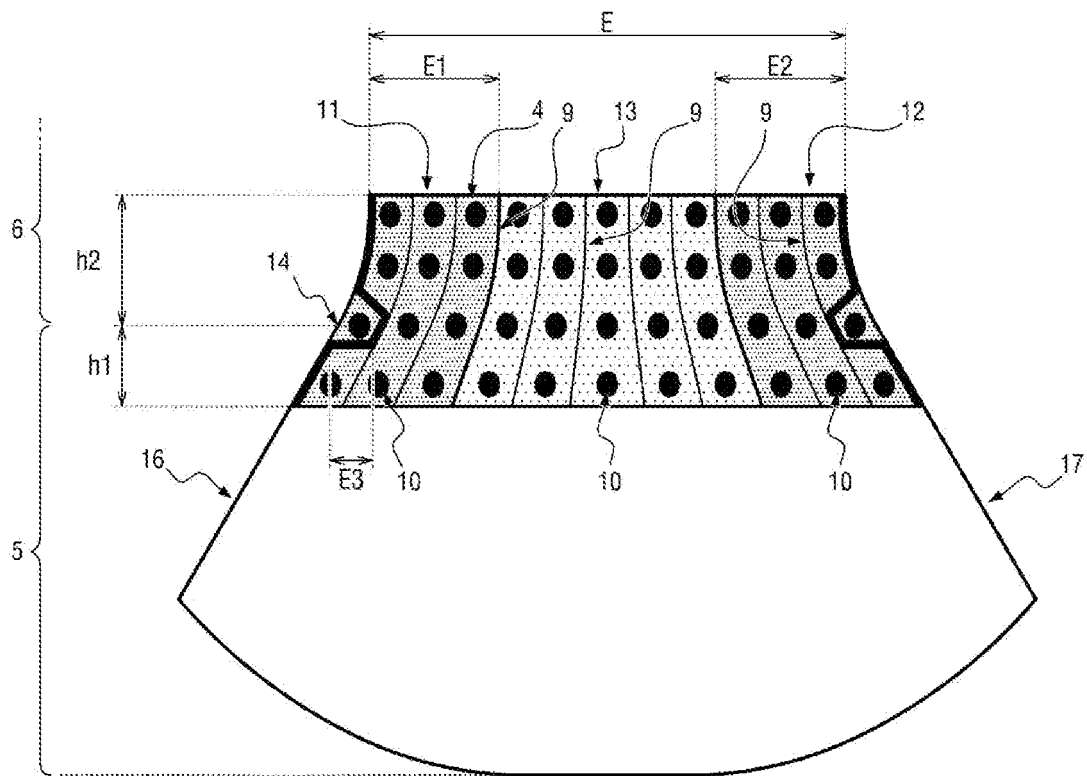
[Fig. 2]



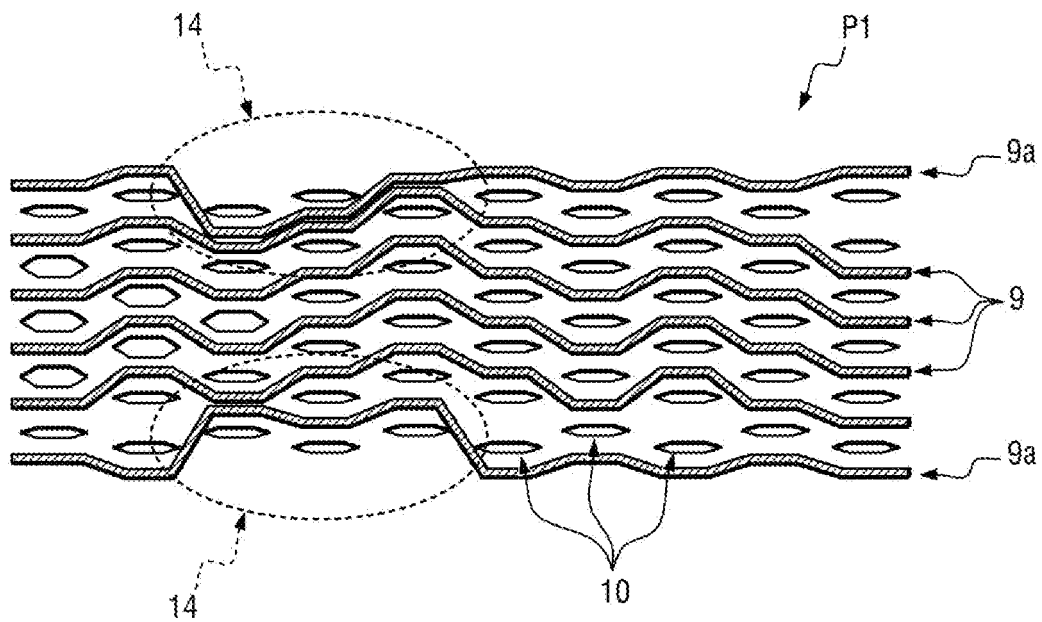
[Fig. 3]



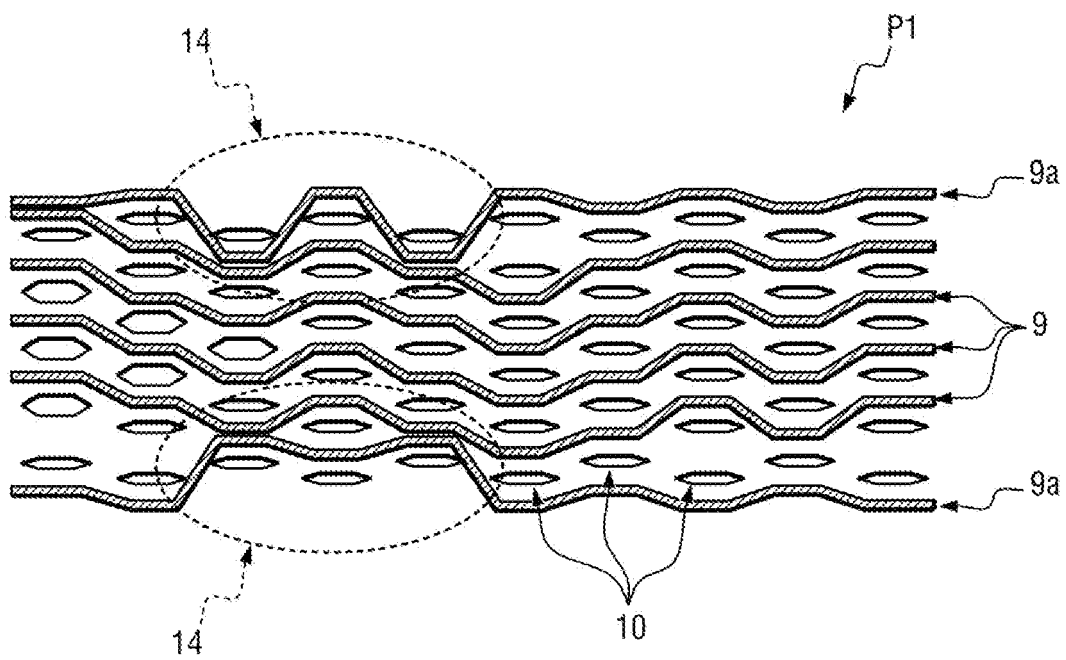
[Fig. 4]



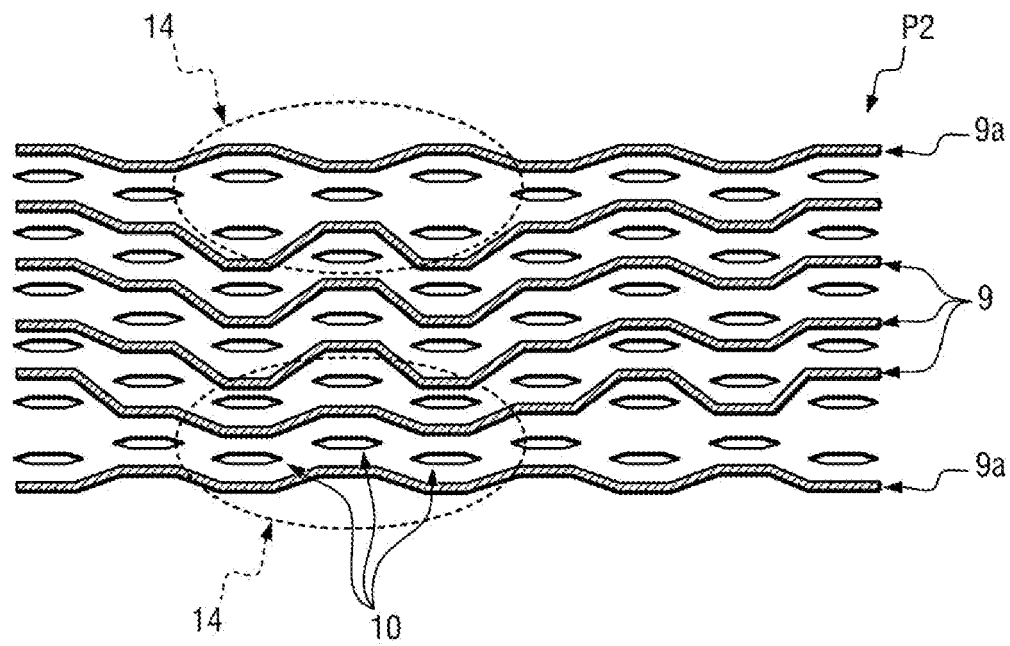
[Fig. 5a]



[Fig. 5b]



[Fig. 6]



# 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**

WO 2020/089345 A1 (SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR]) 7 mai 2020 (2020-05-07)

WO 2006/136755 A2 (SNECMA [FR]; SNECMA PROPULSION SOLIDE [FR] ET AL.) 28 décembre 2006 (2006-12-28)

US 5 672 417 A (CHAMPENOIS CHRISTOPHE JEAN ROG [FR] ET AL) 30 septembre 1997 (1997-09-30)

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

NEANT