

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 032 145

21 N° d'enregistrement national : 15 50699

51 Int Cl⁸ : B 29 C 70/48 (2016.01), B 29 C 70/24, B 29 L 31/08,
F 01 D 5/28

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 29.01.15.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.08.16 Bulletin 16/31.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

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

72 Inventeur(s) : FORESTO PAUL, ANTOINE et FABRE
ADRIEN, JACQUES, PHILIPPE.

73 Titulaire(s) : SNECMA Société anonyme.

74 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

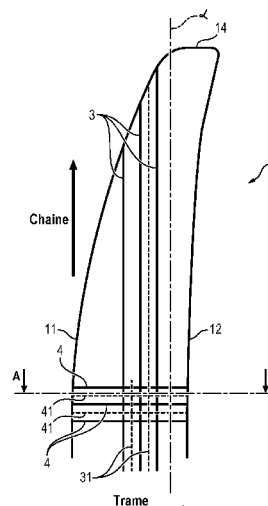
54 PROCEDE DE FABRICATION D'UNE PALE D'HELICE.

57 L'invention concerne un procédé de fabrication d'une
pale en matériau composite s'étendant selon une direction
d'élongation principale, le matériau composite de ladite pale
comportant un renfort fibreux densifié par une matrice, le
procédé comprenant les étapes suivantes :

- une étape de tissage de fils de chaîne et de fils de
trame pour obtenir une ébauche fibreuse, l'ébauche fibreuse
comprenant au moins un fil de chaîne adapté pour
former dans la matrice au moins une première portion d'un
canal, ladite portion de longueur du fil de chaîne étant dirigée
selon la direction d'élongation principale de la pale et
débouchant au niveau du pied de la pale, la première
portion de canal formée dans la matrice par ladite portion
de longueur de fil de chaîne constituant ainsi au moins une
première portion du canal interne d'écoulement d'air ;

- une étape de mise en forme de l'ébauche fibreuse de
manière à réaliser une préforme de la pale et de densification
de la préforme ; caractérisé en ce que l'étape de tissage
comporte la mise en place d'au moins une deuxième portion
de fil adaptée pour former dans la matrice une deuxième
portion d'un canal, ladite deuxième portion de fil étant dirigée
transversalement par rapport à ladite direction d'élongation
principale et débouchant au niveau du bord de fuite de la
pale, la deuxième portion de canal formée dans la ma-

trice par ladite deuxième portion de fil constituant également
au moins une deuxième portion du canal interne d'écoulement
d'air.



FR 3 032 145 - A1



La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une pale d'une hélice de turbopropulseur d'un aéronef.

Plus précisément, elle concerne un procédé de tissage de fibres pour la fabrication d'une pale en composite.

5 **DOMAINE TECHNIQUE GÉNÉRAL ET ETAT DE LA TECHNIQUE**

Les turbopropulseurs actuels pour aéronefs, et plus particulièrement les turbopropulseurs pour avion, rencontrent un problème d'interférences entre l'hélice et l'entrée d'air.

En effet, pour des contraintes d'intégration et de masse, ces deux composants du turbopropulseur sont très proches l'un de l'autre, par exemple de l'ordre de quelques centimètres. On comprendra alors que le fonctionnement de l'entrée d'air est fortement impacté par le passage des pales en rotation. Il en va de même pour le fonctionnement de l'hélice qui est modifié très localement lors de son passage devant la nacelle et l'entrée d'air.

Le rôle de l'hélice est de fournir un effort tracteur dirigé vers l'avant de l'aéronef pour lui permettre de compenser la force de traînée et ainsi se mouvoir vers l'avant.

Le rôle de l'entrée d'air, sur un turbopropulseur, est d'alimenter le moteur avec de l'air et de le protéger des agressions externes. Pour des raisons de performances et d'opérabilité du compresseur, l'alimentation en air doit être la plus homogène possible, afin de limiter la distorsion (l'écart entre la pression totale moyenne et la pression totale minimum). L'intégration de l'entrée d'air doit aussi se faire en prenant en compte des contraintes propres aux turbopropulseurs, comme la présence d'une boîte de vitesse pour l'hélice (ou PGB pour Propeller Gear Box selon la terminologie anglo-saxonne bien connue), une interface moteur-nacelle, un système de dégivrage et un respect des contraintes d'ingestion. Le respect de ces contraintes entraîne une forme d'entrée d'air en S qui est très sensible à la distorsion et pénalisant sur le rendement.

Le passage des pales devant l'entrée d'air durant la rotation de l'hélice crée une perturbation de distorsion dans l'air en amont de l'entrée d'air,

mais aussi une chute de la pression dynamique, également appelée pression totale, (sillage des pales). Cette chute nuit au fonctionnement et au rendement de l'entrée d'air par augmentation des pertes de charges. La diminution du rendement de l'entrée d'air impacte
5 directement le rendement du moteur. La réduction de la distorsion permet quant à elle d'augmenter l'opérabilité du compresseur du turbopropulseur. En dehors du sillage des pales, l'hélice comprime légèrement l'écoulement, de façon à augmenter la pression dynamique. Cette compression a un effet bénéfique sur le fonctionnement de
10 l'entrée d'air, mais qui est atténué par l'effet négatif du sillage des pales.

Afin de compenser la chute de pression totale dans le sillage des pales ingéré par l'entrée d'air, il est possible de réaliser des pales comprenant chacune un canal interne d'écoulement d'air qui comprend une entrée
15 débouchant au pied des pales ainsi qu'une sortie débouchant au voisinage du bord de fuite des pales de sorte qu'un écoulement d'air interne puisse circuler depuis le pied jusqu'au bord de fuite des pales, et que ledit écoulement d'air interne soit expulsé par la sortie du canal interne d'écoulement d'air en direction de l'entrée d'air de manière à
20 réduire le sillage des pales au niveau de l'entrée d'air.

Cependant, une telle solution requière de réaliser un canal interne d'écoulement dans chacune des pales de l'hélice comprenant au moins une sortie débouchant au niveau du bord de fuite des pales.

De plus, le positionnement de la sortie du canal interne d'écoulement
25 d'air le long des pales ainsi que la direction de la sortie dudit canal interne d'écoulement d'air doit être précis afin que l'écoulement d'air qui est expulsé par la sortie dudit canal interne d'écoulement d'air puisse réduire efficacement le sillage des pales au niveau de l'entrée d'air.

Or, pour des raisons de gains de masse, les pales d'hélice de
30 turbopropulseur pour aéronef actuelles sont réalisées en matériau composite, c'est-à-dire composées d'un renfort fibreux densifié par une matrice. Or, les procédés de fabrication standards de pales en matériau composite ne permettent pas de réaliser un canal interne d'écoulement d'air à l'intérieur des pales.

On connaît cependant le document FR 2 955 609 qui décrit un procédé de fabrication de pales en matériau composite par moulage par transfert de résine avec un tissage en trois dimensions (ou 3D RTM pour « three dimensions Resin Transfer Molding » selon l'appellation anglo-saxonne bien connue) qui comprennent un canal d'écoulement d'air dirigé selon la direction d'élongation principale des pales, de sorte que le canal interne d'écoulement d'air comprenne une entrée débouchant au pied des pales, et une sortie débouchant au sommet des pales. Cependant, l'enseignement du document FR 2 955 609 ne permet pas de réaliser des pales en matériau composite comprenant chacune un canal interne d'écoulement d'air qui dispose d'une sortie débouchant au voisinage du bord de fuite des pales.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'INVENTION

Un but général de l'invention est de proposer un procédé permettant la fabrication d'une pale en matériau composite qui comprend un canal interne d'écoulement d'air comprenant une entrée débouchant au pied de la pale ainsi qu'une sortie débouchant au voisinage du bord de fuite de ladite pale.

De plus, l'invention permet également de réaliser de telles pales avec un procédé de fabrication ne nécessitant pas une importante modification de l'outillage de production pour la fabrication des pales en matériau composite.

Plus particulièrement, selon un premier aspect, l'invention concerne un procédé de fabrication d'une pale en matériau composite 3D RTM s'étendant selon une direction d'élongation principale, ladite pale comprenant un pied, un bord de fuite et au moins un canal interne d'écoulement d'air, ladite pale étant obtenue à partir d'un renfort fibreux densifié par une matrice, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- une étape de tissage d'une pluralité de fils de chaîne et d'une pluralité de fils de trame de manière à obtenir une ébauche fibreuse, l'ébauche fibreuse comprenant au moins un fil de chaîne adapté sur au moins une portion de sa longueur pour former dans la matrice au moins

- une première portion d'un canal, ladite portion de longueur du fil de chaîne étant dirigée selon la direction d'élongation principale de l'aube et débouchant au niveau du pied de la pale, la première portion de canal formée dans la matrice par ladite portion de longueur de fil de chaîne
- 5 constituant ainsi au moins une première portion du canal interne d'écoulement d'air ;
- une étape de mise en forme de l'ébauche fibreuse de manière à réaliser une préforme de la pale ;
 - une étape de densification de la préforme par imprégnation de
- 10 ladite préforme par un matériau constitutif de la matrice ;
- caractérisé en ce que l'étape de tissage comporte également la mise en place d'au moins une deuxième portion de fil adaptée pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal, ladite deuxième portion de fil étant dirigée transversalement par rapport à ladite direction
- 15 d'élongation principale de la pale et débouchant au niveau du bord de fuite de la pale ou au voisinage de celui-ci, la deuxième portion de canal formée dans la matrice par ladite deuxième portion de fil constituant également au moins une deuxième portion du canal interne d'écoulement d'air.
- 20 Selon une caractéristique supplémentaire, le fil de chaîne adapté sur au moins une portion de sa longueur pour former dans la matrice au moins une première portion d'un canal, et la deuxième portion de fil adaptée pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal, sont des fibres creuses.
- 25 Selon une caractéristique additionnelle, le fil de chaîne adapté sur au moins une portion de sa longueur pour former dans la matrice au moins une première portion d'un canal, et la deuxième portion de fil adaptée pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal, sont des fibres fugitives, ledit procédé comportant une étape d'élimination par
- 30 traitement thermique ou chimique.
- Selon une autre caractéristique, la deuxième portion de fil adaptée pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal est un fil de trame qui s'étend depuis un bord d'attaque de la pale jusqu'au bord de
- 35 de chaîne adaptée pour former une première portion de canal, de sorte

que la première et la deuxième portions du canal interne d'écoulement d'air débouchent l'une dans l'autre et permettent un écoulement d'air entre l'une à l'autre.

5 Selon une caractéristique particulière, le procédé de fabrication comprend une étape d'obturation au voisinage du bord d'attaque de la deuxième portion du canal interne d'écoulement d'air.

10 Selon une autre caractéristique, l'étape d'obturation est réalisée par la pose d'un film polyuréthane anti-érosion, ou la pose d'un tapis chauffant de dégivrage au bord d'attaque, ou par injection d'une résine, ou par injection d'une résine suivie de la pose d'un tapis chauffant de dégivrage au bord d'attaque.

15 Selon une caractéristique supplémentaire, le fil de chaîne adapté sur au moins une portion de sa longueur pour former dans la matrice au moins une première portion d'un canal comprend une extrémité libre non tissée avec les fils de trame qui est pliée et rabattue vers le bord de fuite transversalement par rapport à la direction d'élongation principale de la pale, ladite extrémité libre étant destinée à former la deuxième portion du canal interne d'écoulement d'air dirigée transversalement par rapport à ladite direction d'élongation principale.

20 Selon une caractéristique additionnelle, l'extrémité libre est tissée avec les fils de chaîne

Selon une caractéristique particulière l'extrémité libre est déposée à la surface du renfort fibreux sans être tissée.

25 Selon une autre caractéristique, un fil de chaîne destiné à former un canal dirigé selon la direction d'élongation principale et qui s'étend depuis le pied jusqu'au niveau d'un saumon de la pale, de manière à former une première portion du canal interne d'écoulement d'air qui débouche au niveau dudit saumon de la pale.

30 Selon un deuxième aspect, l'invention concerne une pale fabriquée selon un procédé de fabrication selon l'une des caractéristiques précédentes.

DESCRIPTIF DES FIGURES

D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, et en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs et

5 sur lesquels :

- la figure 1 représente une pale d'une hélice d'un turbopropulseur qui a été fabriquée selon un procédé de fabrication selon l'invention ;
- 10 • la figure 2 représente un schéma explicatif du tissage des fils constituant le renfort fibreux d'une pale fabriquée selon une première mise en œuvre de l'invention ;
- la figure 3 représente une vue en coupe selon l'axe AA du schéma explicatif de la figure 2 d'une pale fabriquée selon une première variante de la première mise en œuvre de l'invention ;
- 15 • la figure 4 représente une vue en coupe selon l'axe AA du schéma explicatif de la figure 2 d'une pale fabriquée selon une deuxième variante de la première mise en œuvre de l'invention ;
- la figure 5 représente un schéma explicatif de la position du canal interne d'écoulement d'air dans la pale fabriquée selon la première mise en œuvre de l'invention ;
- 20 • la figure 6 un schéma explicatif du tissage des fils constituant le renfort fibreux d'une pale fabriquée selon une deuxième mise en œuvre de l'invention ;
- la figure 7 représente un schéma explicatif de la position du canal interne d'écoulement d'air dans la pale fabriquée selon la deuxième mise en œuvre de l'invention ;
- 25 • la figure 8 représente un schéma explicatif du tissage des fils constituant le renfort fibreux d'une pale fabriquée selon une troisième mis en œuvre de l'invention ;
- 30 • la figure 9 représente un schéma explicatif de l'étape de positionnement d'un fil de chaîne qui est destiné à former un canal selon la troisième mise en œuvre de l'invention ;

- la figure 10 représente une vue en coupe selon l'axe BB du schéma explicatif de la figure 9 d'une pale fabriquée selon une première variante de la troisième mise en œuvre de l'invention ;
- la figure 11 représente une vue en coupe selon l'axe BB du schéma explicatif de la figure 9 d'une pale fabriquée selon une deuxième variante de la troisième mise en œuvre de l'invention ;
- la figure 12 représente un schéma explicatif de la position du canal interne d'écoulement d'air dans la pale fabriquée selon la troisième mise en œuvre de l'invention ;
- la figure 13 représente un schéma explicatif d'une armure de tissage tridimensionnel de type interlock ;
- la figure 14 représente un premier schéma explicatif du contrôle de la direction de l'entrée du canal interne d'écoulement de l'air ;
- la figure 15 représente un deuxième schéma explicatif du contrôle de la direction de l'entrée du canal interne d'écoulement de l'air.

DESCRIPTION D'UN OU PLUSIEURS EXEMPLES DE MODE DE REALISATION

On a représenté sur la figure 1, une pale 1 d'une hélice d'un turbopropulseur.

La pale 1 s'étend selon une direction d'élongation principale α et comprend un bord d'attaque 11, un bord de fuite 12, un pied 13, un sommet, un rayon, un saumon 14, un intrados et un extrados. On entend par saumon 14 de la pale 1 la surface du sommet de la pale 1 pour laquelle la pale 1 a son rayon maximal. La pale 1 comprend également une ligne de squelette S, qui est constituée par les points situés à égale distance de l'intrados et de l'extrados.

La pale 1 comprend un canal interne d'écoulement d'air 2 qui s'étend, à l'intérieur de ladite pale 1, à partir de son pied 13 vers le saumon 14 de la pale 1.

Le canal interne d'écoulement d'air 2 comprend au moins une première portion 21 qui s'étend depuis une entrée 23 débouchant au niveau du

fond du pied 13, et qui est dirigée selon la direction d'élongation principale α .

Le canal interne d'écoulement d'air 2 comprend également au moins une deuxième portion 22 qui est reliée à au moins une première portion 21, et qui relie ladite première portion 21 à une sortie 24 qui débouche au niveau du bord de fuite 12 ou en son voisinage immédiat. Ladite deuxième portion 22 est dirigée transversalement par rapport à la direction d'élongation principale α de la pale 1 étant par exemple, mais pas nécessairement, perpendiculaire à la direction générale du bord de fuite 12.

Ainsi, le canal interne d'écoulement d'air 2 débouche de la pale 1 par une ou plusieurs sortie(s) 24 qui est (sont) située(s) au niveau du bord de fuite 12 et/ou qui est (sont) située(s) en son voisinage immédiat.

Sur la figure 1, le canal interne d'écoulement d'air 2 comprend une première portion 21, une entrée 23, quatre deuxièmes portions 22 et quatre sorties 24, lesdites quatre deuxièmes portions 22 étant chacune reliée à la première portion 21. Cependant, il s'agit uniquement d'un exemple non limitatif du nombre de première et deuxième portions 21 et 22, d'entrée 23 de sorties 24.

Les sorties 24 sont disposées dans une zone du bord de fuite 12 susceptible de se retrouver au droit d'une entrée d'air du turbopropulseur lors de la rotation de l'hélice. Ainsi, les sorties 24 sont préférentiellement situées entre 0% et 25% de la hauteur de la pale 1. Elles y sont réparties en étant régulièrement espacées les unes par rapport aux autres.

La pale 1 est composée en matériau composite, comprenant un renfort fibreux ainsi qu'une matrice, et toutes les mises en œuvre de l'invention comprennent les étapes suivantes qui sont les étapes de base pour la fabrication d'une pale en matériau composite:

- une étape de tissage d'une pluralité de fils de chaîne 3 et de fils de trame 4 de manière à réaliser une ébauche fibreuse qui constitue le renfort fibreux ;

- une étape de mise en forme dans un moule de l'ébauche fibreuse obtenue à l'étape précédente de manière à réaliser une préforme dont la forme est proche de la pale à fabriquer ;
- une étape de densification de la préforme obtenue dans l'étape précédente par imprégnation de la préforme par un matériau constitutif de la matrice.

Les fils de chaîne 3 sont des fils qui sont dirigés selon la direction d'élongation principale α de la pale 1, et les fils de trame 4 sont des fils qui sont dirigés orthogonalement par rapport aux fils de chaîne 3 et qui relie le bord d'attaque 11 au bord de fuite 12.

Les fils de chaîne 3 et les fils de trame 4 sont généralement en carbone, mais d'autres matériaux peuvent également être utilisés.

Le tissage des fils de chaîne 3 et des fils de trame 4 est préférentiellement un tissage tridimensionnel à armure « interlock », comme représenté sur la figure 13. On entend ici par armure « interlock », une armure de tissage dans laquelle chaque couche de fils de chaîne 3 lie plusieurs couches de fils de trame 4 avec tous les fils d'une même colonne de trame ayant le même mouvement dans le plan de l'armure. Cependant, d'autres armures peuvent être utilisées.

D'une manière encore plus préférentielle, le renfort fibreux est obtenu par un tissage avec une armure 3D de type « interlock » à cœur, et une armure 2D ou 3D de type satin en peau. On pourra se référer au document WO2006/136755, qui enseigne le tissage d'un renfort fibreux selon une telle technique.

Pour un exemple de fabrication de pales en matériau composite avec ce type de technique, on pourra également se référer au document FR2955609, qui propose notamment différentes variantes possibles concernant le tissage des fils ou le choix des matériaux.

De plus, dans le procédé de fabrication de la pale 1, l'ébauche fibreuse comprend au moins un fil de chaîne 31 adapté sur au moins une portion de sa longueur pour former dans la matrice au moins une première portion d'un canal, ladite portion de longueur du fil de chaîne 31 étant dirigée selon la direction d'élongation principale α de la pale 1 et débouchant au niveau du pied 13 de ladite pale 1. La première portion

de canal formée dans la matrice par ladite portion de longueur de fil de chaîne 31 constitue ainsi au moins une première portion 21 du canal interne d'écoulement d'air 2.

Enfin, l'étape de tissage comporte également la mise en place d'au moins une deuxième portion de fil adaptée pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal, ladite deuxième portion de fil étant dirigée transversalement par rapport à ladite direction d'élongation principale α et débouchant au niveau du bord de fuite 12 de la pale 1 ou au voisinage de celui-ci. La deuxième portion de canal formée dans la matrice par ladite deuxième portion de fil constitue également au moins une deuxième portion 22 du canal interne d'écoulement d'air 2.

Tel qu'illustré sur la figure 2, selon une première mise en œuvre possible, le procédé de fabrication comprend une étape de positionnement d'au moins un fil de chaîne 31 adapté sur sa longueur pour former dans la matrice au moins une première portion d'un canal et d'au moins un fil de trame 41 adapté sur sa longueur pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal, de manière à réaliser le canal interne d'écoulement d'air 2 à l'intérieur de la pale 1.

Dans cette mise en œuvre, la deuxième portion de fil adaptée pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal est constituée par le fil de trame 41 qui est adapté sur sa longueur pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal.

Ce fil de chaîne 31 et ce fil de trame 41 sont des fibres fugitives qui peuvent être éliminées par un traitement approprié lors d'une étape d'élimination, par exemple un traitement chimique ou un traitement thermique. Les fibres fugitives peuvent être par exemple en polyvinyle acétate ou en polyéthylène, de sorte à pouvoir être éliminées par un traitement thermique. Les fibres peuvent également être en polyvinyle alcool (PVA), de manière à pouvoir être éliminée par un traitement chimique. Ce fil de chaîne 31 et ce fil de trame 41 peuvent également être des fibres creuses, de sorte que le procédé de fabrication ne nécessite pas d'étape d'élimination du fil de chaîne 31 et du fil de trame 41.

Dans une mise en œuvre possible, le procédé comprend une étape dans laquelle au moins un fil de trame 4 constitué dans le matériau de base (par exemple en carbone) est remplacé par un fil de trame 41 adapté pour former un canal dans la matrice. Ce fil de trame 41 adapté pour former un canal dans la matrice s'étend du bord d'attaque 11 au bord de fuite 12, et est positionné à une hauteur désirée, de préférence entre 0% et 25% de la hauteur de la pale 1. Ce fil de trame 41 adapté pour former un canal est destiné à former une deuxième portion 22 du canal interne d'écoulement d'air 2.

10 Le procédé comprend également une étape dans laquelle au moins un fil de chaîne 3 est remplacé par un fil de chaîne 31 adapté sur sa longueur pour former un canal. Ce fil de chaîne 31 est tressé avec les fils de trame 4 depuis la partie du renfort fibreux destinée à former le pied 13 de la pale 1 jusqu'à une hauteur désirée qui est au moins égale à la hauteur à laquelle un fil de trame 41 adapté sur sa longueur pour former un canal est positionné, de sorte que ledit un fil de chaîne 31 et ledit fil de trame 41 soient en contact.

Le fil de chaîne 31 et le fil de trame 41 peuvent être tissés avec les fils de trame 4 et fils de chaîne 3 selon une armure différente ou identique à l'armure utilisée pour tisser les fils de chaîne 3 et fils de trame 4.

Comme représenté sur la figure 2, le renfort fibreux comprend deux fils de chaîne 31 adaptés sur leur longueur pour former des canaux et deux fils de trame 41 adaptés pour former des canaux. Les fils de chaîne 31 sont tissés sur des longueurs différentes. Les fils de chaîne 31 sont en contact avec un seul fil de trame 41. Cependant, selon une variante, lesdits fils de chaîne 31 peuvent être en contact avec plusieurs fils de trame 41.

30 Les figures 3 et 4 illustrent schématiquement deux variantes de cette mise en œuvre.

Selon la variante illustrée sur la figure 3, le fil de chaîne 31 est situé au centre du renfort fibreux (et donc au centre la pale 1). Cette variante permet de garantir une meilleure tenue mécanique de la pale 1, par rapport à la variante illustrée à la figure 4 où ledit fil de chaîne 31 est

situé dans une partie moins centrale de la pale 1 et donc plus proche de la surface extérieure de ladite pale 1.

De façon générale, dans toutes les mises en œuvre, il est préférable de positionner les fils de chaîne 31 et les fils de trame 41 au centre du renfort fibreux de sorte que les portions de canal ainsi formées soient
5 situées au centre de la pale 1.

Comme illustré sur la figure 5, suite à l'étape de densification de la préforme, et à la potentielle étape d'élimination des fils de chaîne 31 et des fils trame 41, la pale 1 est formée et comprend un canal interne
10 d'écoulement d'air 2 qui débouche au pied 13, au bord de fuite 12 de la pale 1 ou au voisinage de celui-ci, et au bord d'attaque 11 ou au voisinage de celui-ci. Le fait que le canal interne d'écoulement d'air 2 débouche au bord d'attaque 11, ou à son voisinage, peut entraîner une
15 dégradation des performances de la pale 1, ainsi que d'éventuels risques d'obstruction par des corps étrangers lors du fonctionnement du turbopropulseur. Ainsi, le procédé comprend une étape d'obturation au niveau du bord d'attaque 11 du canal interne d'écoulement d'air 2. Cette étape d'obturation peut être par exemple réalisée par la pose d'un
20 film polyuréthane anti-érosion, par la pose d'un tapis chauffant de dégivrage au bord d'attaque 11, ou bien par injection d'une résine. Il est également possible d'injecter une résine et de poser un tapis de chauffage au bord d'attaque 11.

25 Selon un deuxième mode de mise en œuvre possible, et comme illustré sur les figures 6 et 7, le procédé de fabrication peut comprendre une étape de positionnement d'un fil de chaîne destiné à former un canal 32 qui est tissé depuis la partie du renfort fibreux destiné à former le pied 13 de la pale 1, jusqu'à la partie du renfort fibreux destiné à former le
30 saumon 14 de la pale 1. Une telle étape permet de former une première portion 21 du canal interne d'écoulement d'air 2 qui débouche au niveau du saumon 14 de la pale 1. Le fait que le canal interne d'écoulement d'air 2 débouche au niveau du saumon 14 permet qu'un flux d'air soit éjecté par ledit saumon 14, ce qui permet d'améliorer les performances
35 aérodynamiques du turbopropulseur.

Le fil de chaîne destiné à former un canal 32 peut être en contact avec un ou plusieurs fils de trame 41, ou bien ne pas être en contact avec lesdits fils de trame 41.

De plus, selon une variante, un fil de chaîne 31 adapté sur sa longueur
5 pour former dans la matrice une première portion d'un canal peut être tissé depuis le pied 13 jusqu'au saumon 14, de sorte que le canal interne d'écoulement d'air 2 débouche au voisinage du saumon 14.

Selon un troisième mode mise en œuvre encore (figures 8 à 11), le
10 procédé de fabrication de la pale 1 peut ne pas comprendre d'étape de positionnement d'un fil de trame 41 adapté sur sa longueur pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal.

Afin de contrôler l'épaisseur du renfort fibreux (et donc de la pale 1), on empile des couches de fibres dont la longueur sur laquelle les fils de
15 chaîne 3 et les fils de trame 4 sont tissés est contrôlée. Ainsi, tel qu'illustré sur la figure 8, les fils de chaîne 4 comprennent une extrémité libre 30 non tissée et qui est destinée à être coupée.

Un procédé de fabrication selon ce troisième mode de mise en œuvre peut par exemple comprendre une étape positionnement d'au moins un
20 fil de chaîne 31 adapté sur au moins une portion de sa longueur pour former dans la matrice une première portion d'un canal en remplaçant un fil de chaîne 3 constitué dans le matériau de base par un ledit fil de chaîne 31. Ce fil de chaîne 31 est positionné dans une couche dont les fils de chaîne 3 ne sont pas tissés intégralement, et comprend donc une
25 extrémité libre 33 non tissée avec les fils de trame 4 qui est destinée à être coupée. Tel qu'illustré sur la figure 9, cette extrémité libre 33 est pliée et rabattue en direction du bord de fuite 12 transversalement par rapport à la direction d'élongation principale α de la pale 1, de sorte que ledit fil de chaîne 31 est plié en forme de L et que l'extrémité libre 33
30 est ainsi adapté pour former la deuxième portion 22 du canal interne d'écoulement d'air 2.

Comme illustré sur les figures 10 et 11, l'extrémité libre 33 du fil de chaîne 31 qui est rabattue peut être soit tissée avec les fils de chaîne 3, soit déposée à la surface du renfort fibreux. Lorsque l'extrémité libre 33
35 du fil de chaîne 31 est tissée avec les fils de chaîne 3, elle peut être

tissée selon une armure interlock ou bien selon d'autres armures possibles.

Dans cette mise en œuvre, la deuxième portion de fil adaptée pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal est constituée
5 par l'extrémité libre 33 du fil de chaîne 31 qui est adaptée sur sa longueur pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal.

Selon une variante de cette mise en œuvre, le procédé peut comprendre une étape de positionnement d'un fil de chaîne destiné à former un
10 canal 32 dirigé selon la direction d'élongation principale α qui s'étend depuis le pied 13 jusqu'au niveau saumon 14 de la pale 1, de sorte à former une première portion 21 du canal interne d'écoulement d'air 2 qui s'étend du pied 13 au saumon 14, et qui débouche au pied 13 et au niveau du saumon 14.

15

Afin de contrôler la direction de la sortie 24 du canal interne d'écoulement d'air 2, il est possible de contrôler un angle β créé par l'axe de ladite sortie 24 et d'une ligne de squelette S de la pale 1 au niveau du bord de fuite 12. En effet, la ligne de squelette S est un
20 paramètre qui est déterminé par le profil de la pale 1, et qui influence directement sur le sillage de la pale 1.

Le contrôle de cet angle β est réalisé en adaptant l'armure avec laquelle le fil de trame 41 ou bien l'extrémité libre 33 sont tissés avec les fils de chaîne 3.

25 En effet, comme visible sur les figures 14 et 15, on remarque que l'armure utilisée pour le tissage influence directement sur la direction de l'extrémité libre 33 du fil de chaîne 31 qui formera la sortie 24. La sortie 24 est formée par l'extrémité libre 33 d'un fil de chaîne 31. Cependant, il est également possible de contrôler l'angle β entre la ligne de
30 squelette S et l'axe de la sortie 24 en adaptant l'armure dans le cas du tissage d'un fil de trame 41 adapté pour former un canal dans les première et deuxième mises en œuvre de l'invention.

Dans le cas où la deuxième portion de fil adaptée pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal (par exemple un fil de trame
35 41 adapté sur sa longueur pour former un canal, ou une extrémité libre

33 d'un fil de chaîne 31 adapté sur sa longueur pour former un canal) n'est pas tissée et est seulement déposée à la surface du renfort fibreux, l'angle β est facilement déterminable car ladite deuxième portion de fil adaptée pour former dans la matrice une deuxième portion
5 d'un canal sera dirigée selon l'intrados ou l'extrados de la pale 1, suivant la face du renfort fibreux sur laquelle elle est déposée.

Afin d'augmenter le diamètre du canal interne d'écoulement d'air, il est possible, et ce pour n'importe quelle mise en œuvre de l'invention,
10 d'utiliser plusieurs fils de chaîne 31, et/ou plusieurs fils de trame 41, en les juxtaposant de manière à augmenter le diamètre du canal créé par l'élimination desdits fils de chaîne 31 et/ou de trame 41.

Dans le cas où les fils de chaîne 31 et/ou de trame 41 sont des fibres creuses, il est possible d'augmenter le diamètre des fibres pour
15 augmenter le diamètre des canaux créés.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une pale (1) en matériau composite s'étendant selon une direction d'élongation principale (α), ladite pale
- 5 comprenant un pied (13), un bord de fuite (12) et au moins un canal interne d'écoulement d'air (2), le matériau composite de ladite pale (1) comportant un renfort fibreux densifié par une matrice, le procédé comprenant les étapes suivantes :
- 10 - une étape de tissage d'une pluralité de fils de chaîne (3) et d'une pluralité de fils de trame (4) de manière à obtenir une ébauche fibreuse, l'ébauche fibreuse comprenant au moins un fil de chaîne (31) adapté sur au moins une portion de sa longueur pour former dans la matrice au moins une première
 - 15 portion d'un canal, ladite portion de longueur du fil de chaîne (31) étant dirigée selon la direction d'élongation principale (α) de la pale (1) et débouchant au niveau du pied (13) de la pale (1), la première portion de canal formée dans la matrice par ladite portion de longueur de fil de chaîne (31) constituant
 - 20 ainsi au moins une première portion (21) du canal interne d'écoulement d'air (2) ;
 - une étape de mise en forme de l'ébauche fibreuse de manière à réaliser une préforme de la pale (1) ;
 - une étape de densification de la préforme par imprégnation de ladite préforme par un matériau constitutif de la matrice ;
 - 25 caractérisé en ce que l'étape de tissage comporte également la mise en place d'au moins une deuxième portion de fil adaptée pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal, ladite deuxième portion de fil étant dirigée transversalement par rapport à ladite direction d'élongation principale (α) et débouchant au niveau du bord de fuite
 - 30 (12) de la pale (1) ou au voisinage de celui-ci, la deuxième portion de canal formée dans la matrice par ladite deuxième portion de fil constituant également au moins une deuxième portion (22) du canal interne d'écoulement d'air (2).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le fil de chaîne (31) adapté sur au moins une portion de sa longueur pour former dans la matrice au moins une première portion d'un canal, et la deuxième portion de fil adaptée pour former dans la matrice une
- 5 deuxième portion d'un canal sont des fibres creuses.
3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé que le fil de chaîne (31) adapté sur au moins une portion de sa longueur pour former dans la matrice au moins une première portion d'un canal, et la deuxième
- 10 portion de fil adaptée pour former dans la matrice une deuxième portion d'un canal sont des fibres fugitives, ledit procédé comportant une étape d'élimination par traitement thermique ou chimique.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce
- 15 que la deuxième portion de fil est un fil de trame (41) qui s'étend depuis un bord d'attaque (11) de la pale (1) jusqu'au bord de fuite (12), ledit fil de trame (41) croisant avec contact la portion de longueur du fil de chaîne (31) adaptée pour former une première portion de canal, de sorte que la première et la deuxième portions (21, 22) du canal interne
- 20 d'écoulement d'air (2) débouchent l'une dans l'autre grâce au contact entre lesdits fils (41, 31), permettant ainsi la circulation d'un écoulement d'air depuis le pied (13) jusqu'au bord de fuite (12).
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comprend
- 25 une étape d'obturation au voisinage du bord d'attaque (11) de la deuxième portion (22) du canal interne d'écoulement d'air (2).
6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'étape d'obturation est réalisée par la pose d'un film polyuréthane anti-érosion,
- 30 ou la pose d'un tapis chauffant de dégivrage au bord d'attaque (11), ou par injection d'une résine, ou par injection d'une résine suivie de la pose d'un tapis chauffant de dégivrage au bord d'attaque (11).
7. Procédé selon l'un des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que
- 35 le fil de chaîne (31) adapté sur au moins une portion de sa longueur

pour former dans la matrice au moins une première portion d'un canal comprend une extrémité libre (33) non tissée avec les fils de trame (4) qui est pliée et rabattue vers le bord de fuite (12) transversalement par rapport à la direction d'élongation principale (α) de la pale (1), ladite

5 extrémité libre (33) étant destinée à former la deuxième portion (22) du canal interne d'écoulement d'air (2) dirigée transversalement par rapport à ladite direction d'élongation principale (α).

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'extrémité

10 libre (33) est tissée avec les fils de chaîne (3).

9. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'extrémité libre (33) est déposée à la surface du renfort fibreux sans être tissée.

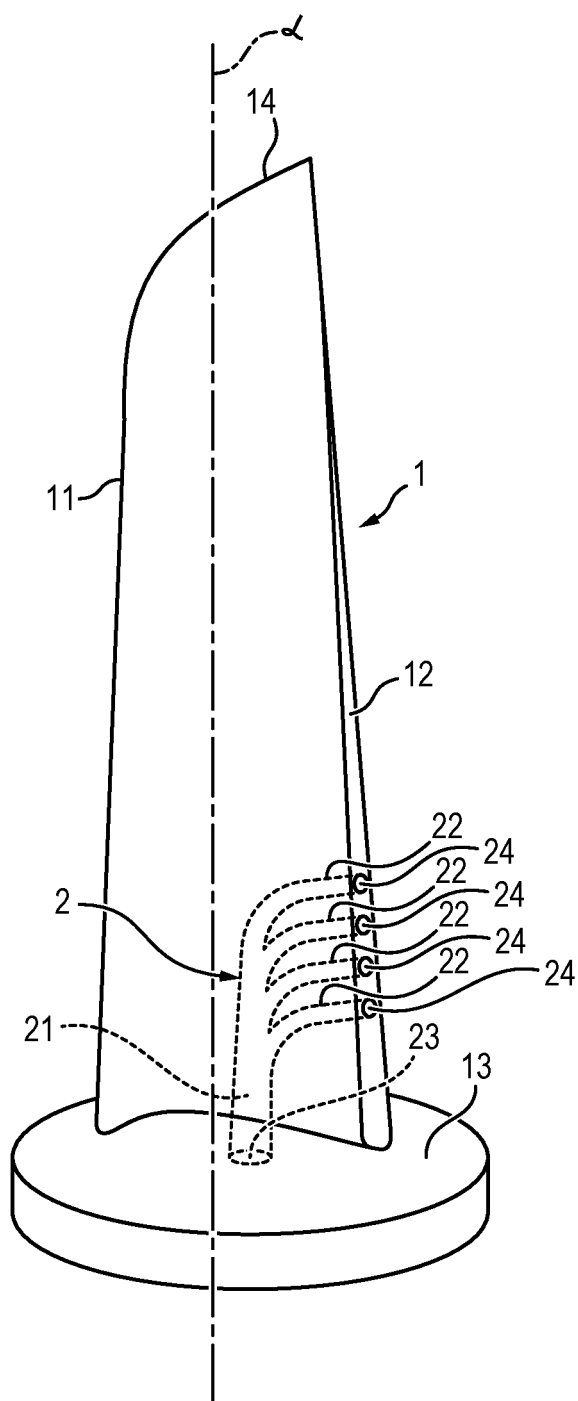
15 10. Procédé selon la revendication 4 ou la revendication 7, caractérisé en ce qu'un fil de chaîne destiné à former un canal (32) dirigé selon la direction d'élongation principale (α), s'étend depuis le pied (13) jusqu'au niveau d'un saumon (14) de la pale (1), de manière à former une

20 première portion (21) du canal interne d'écoulement d'air (2) qui débouche au niveau dudit saumon (14) de la pale (1).

11. Pale (1) fabriquée selon un procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 10.

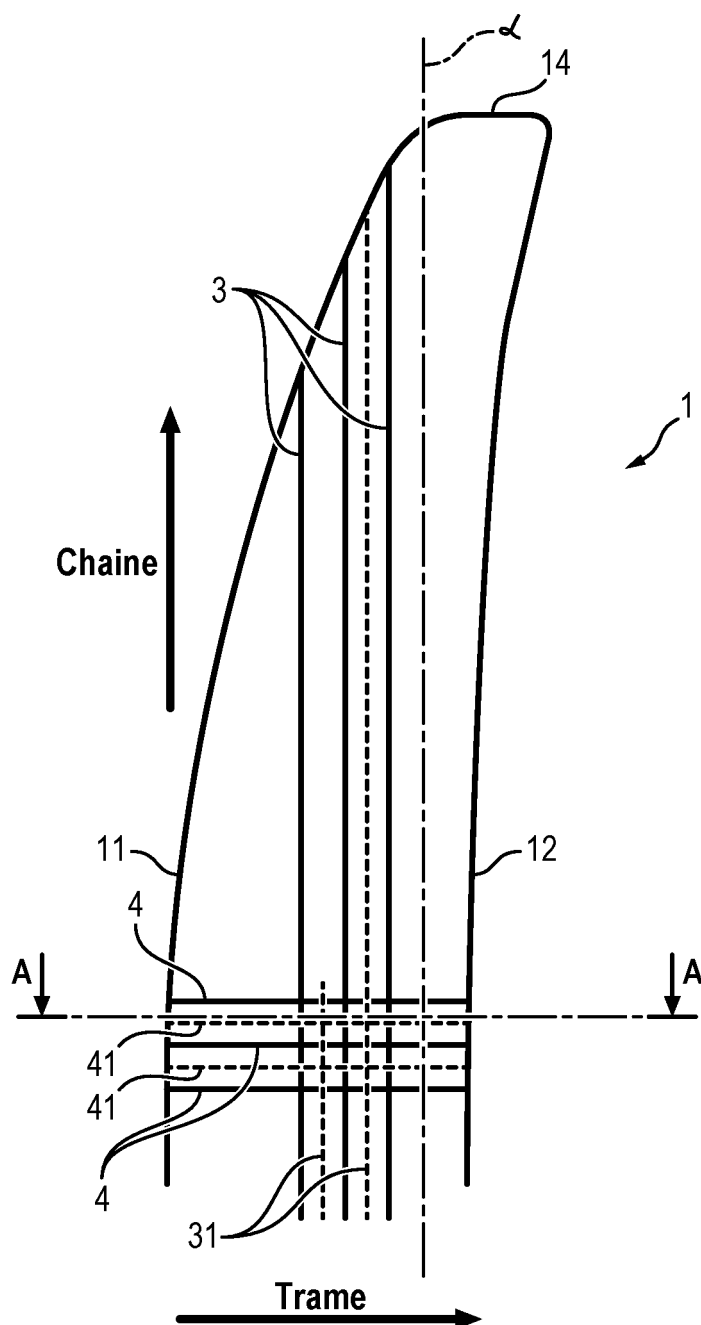
1/12

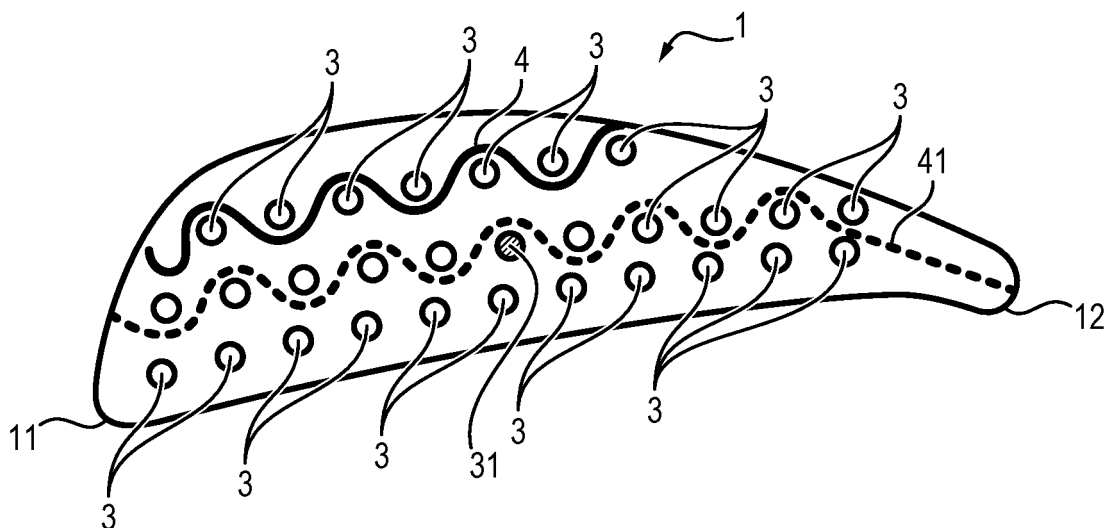
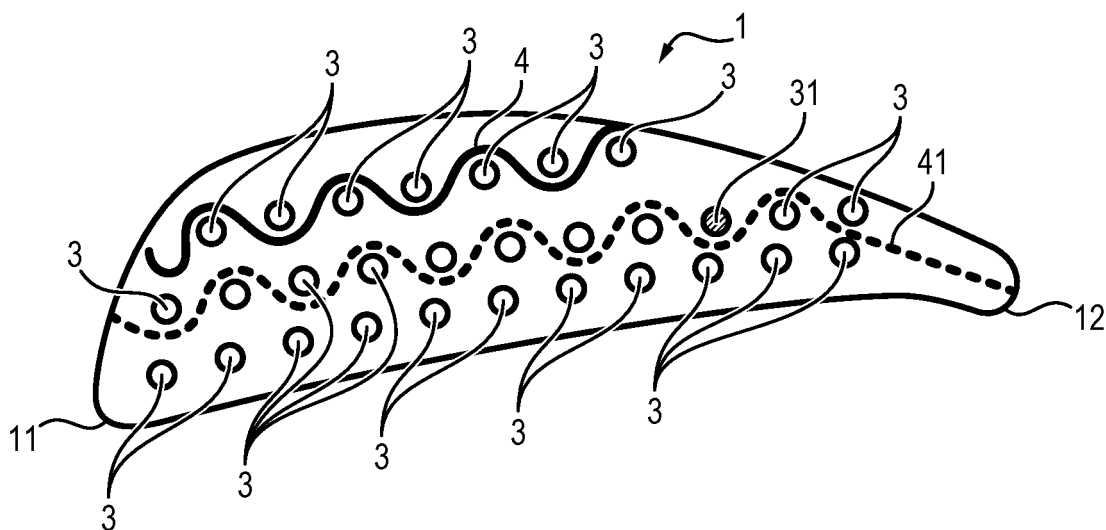
FIG. 1



2/12

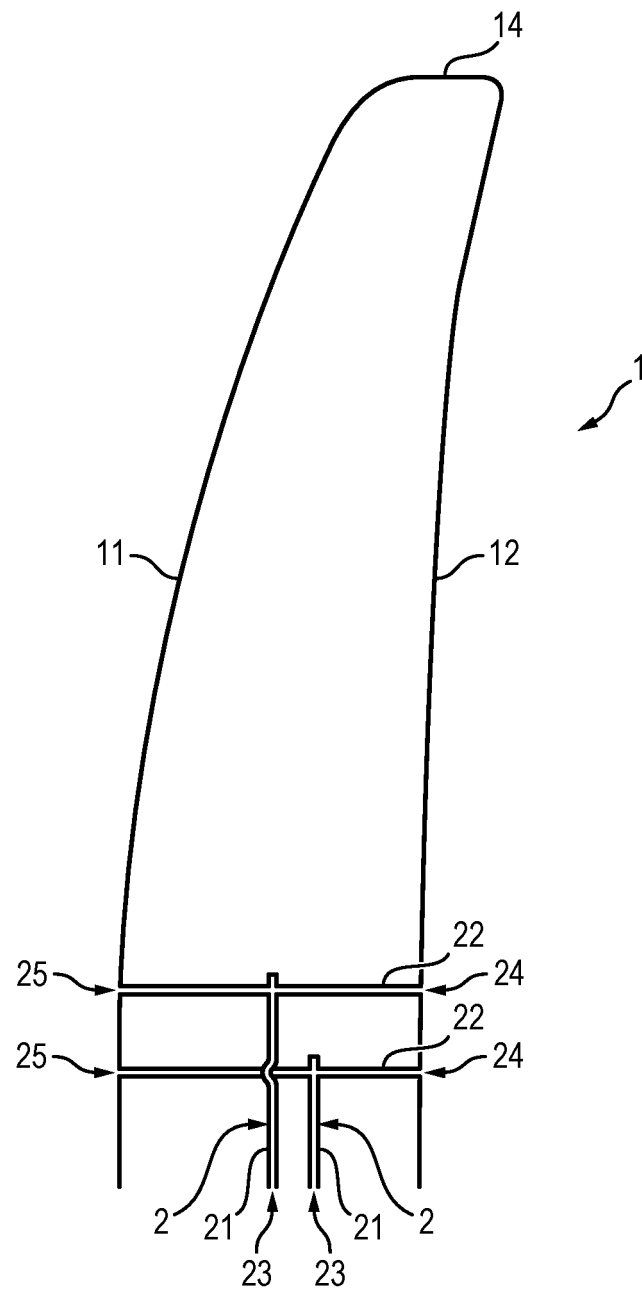
FIG. 2

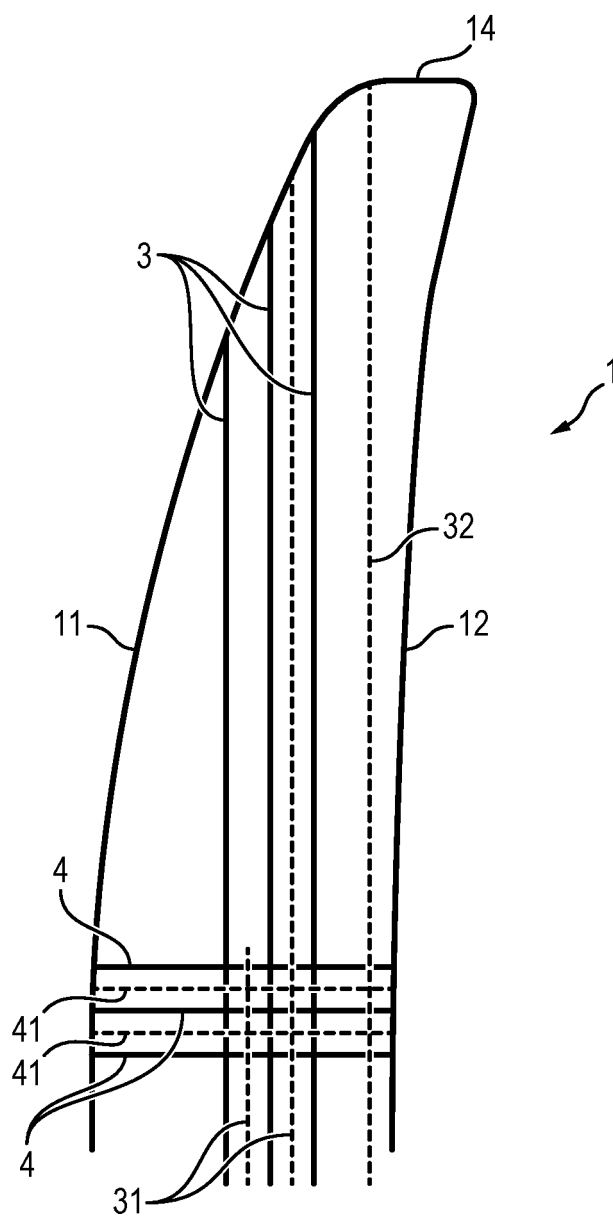


3/12**FIG. 3****FIG. 4**

4/12

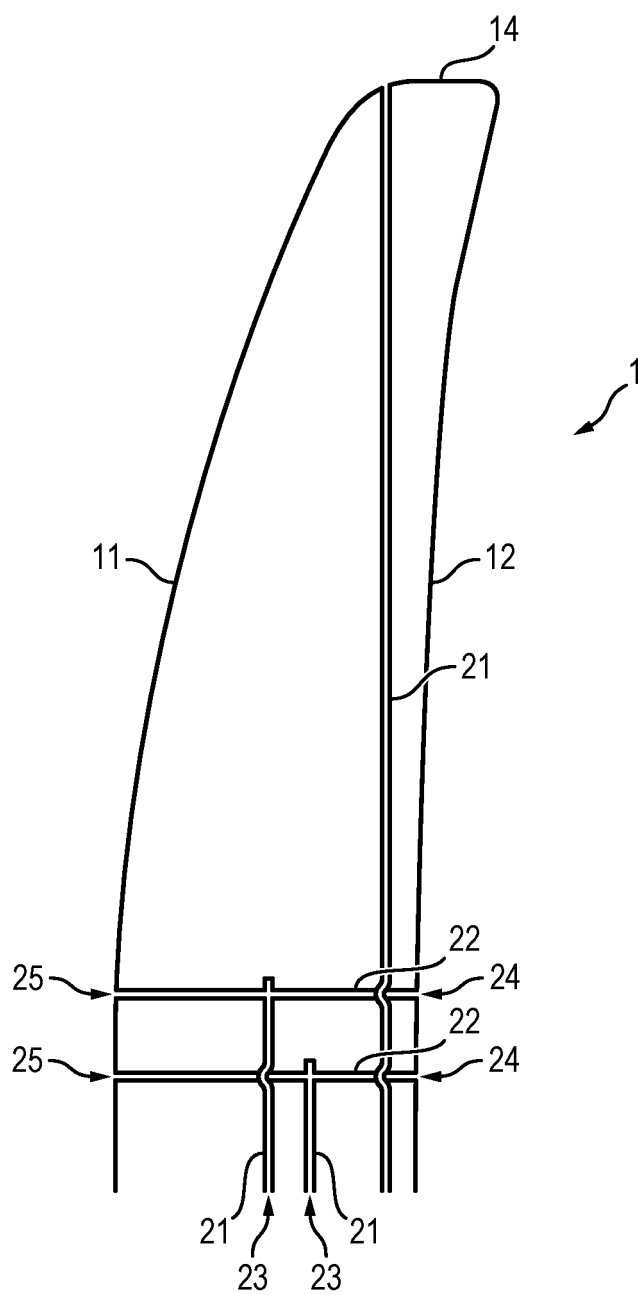
FIG. 5



5/12**FIG. 6**

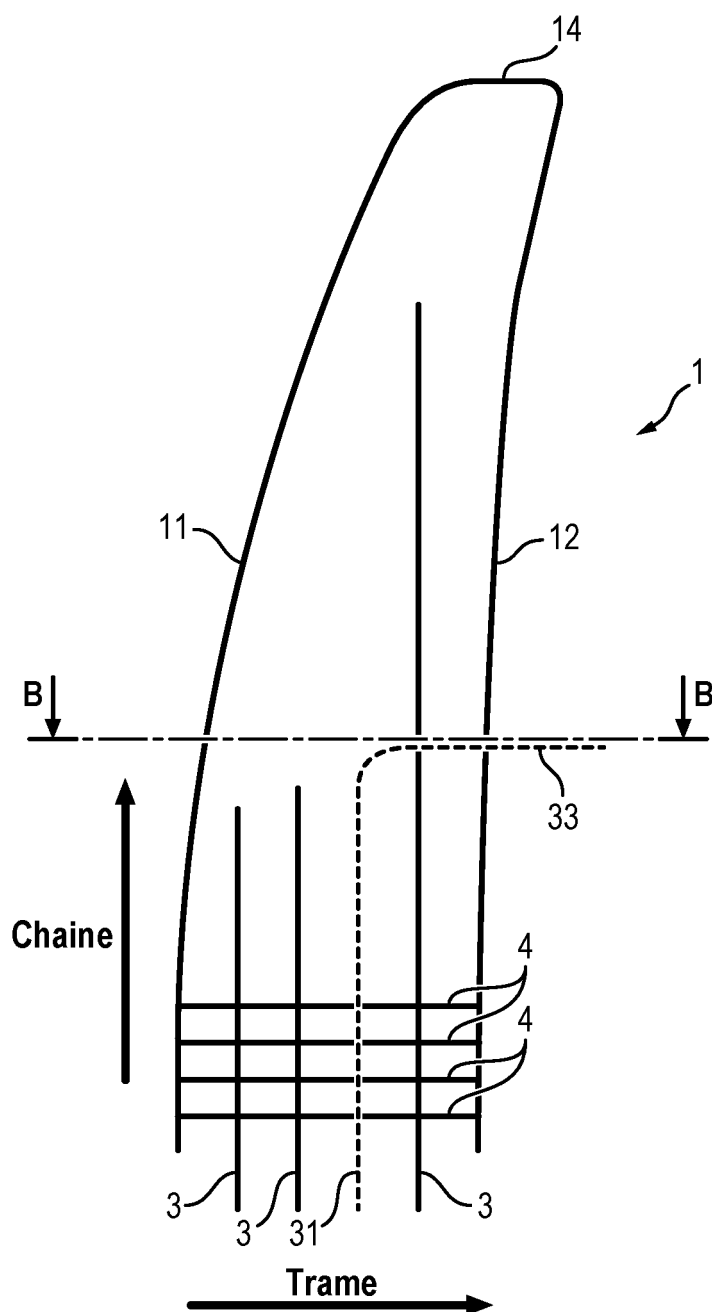
6/12

FIG. 7



8/12

FIG. 9



9/12

FIG. 10

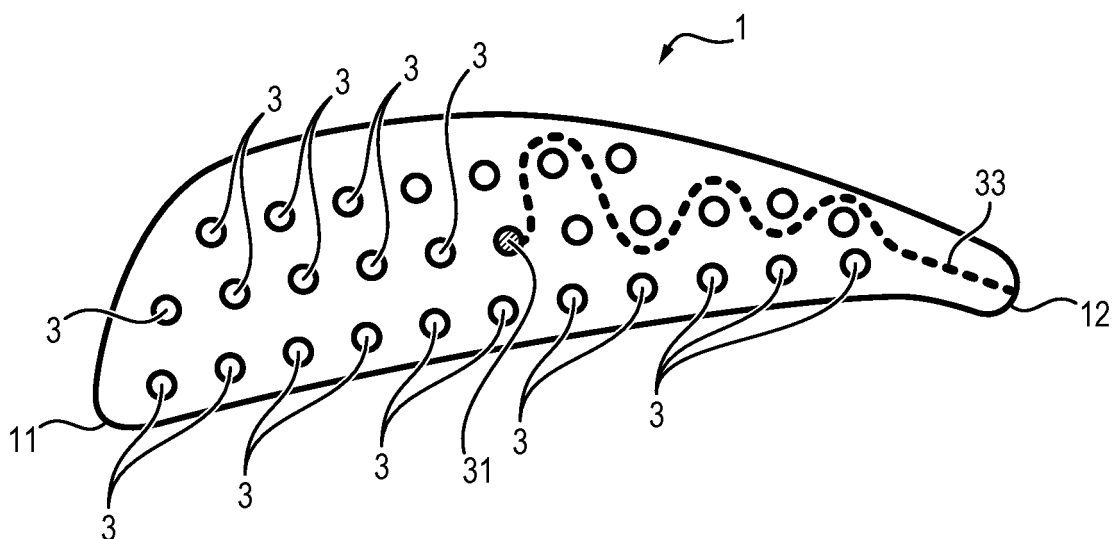
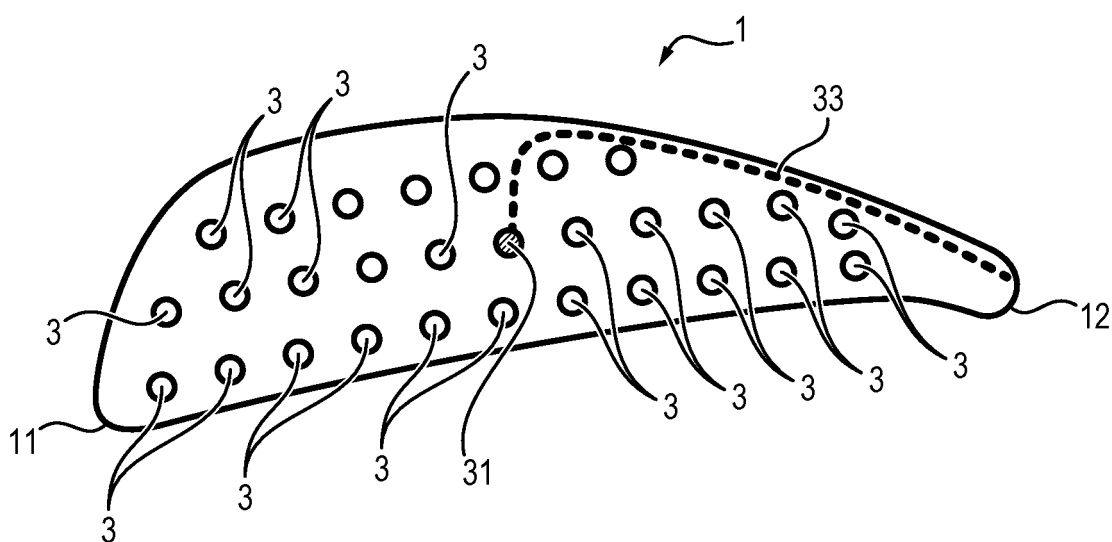
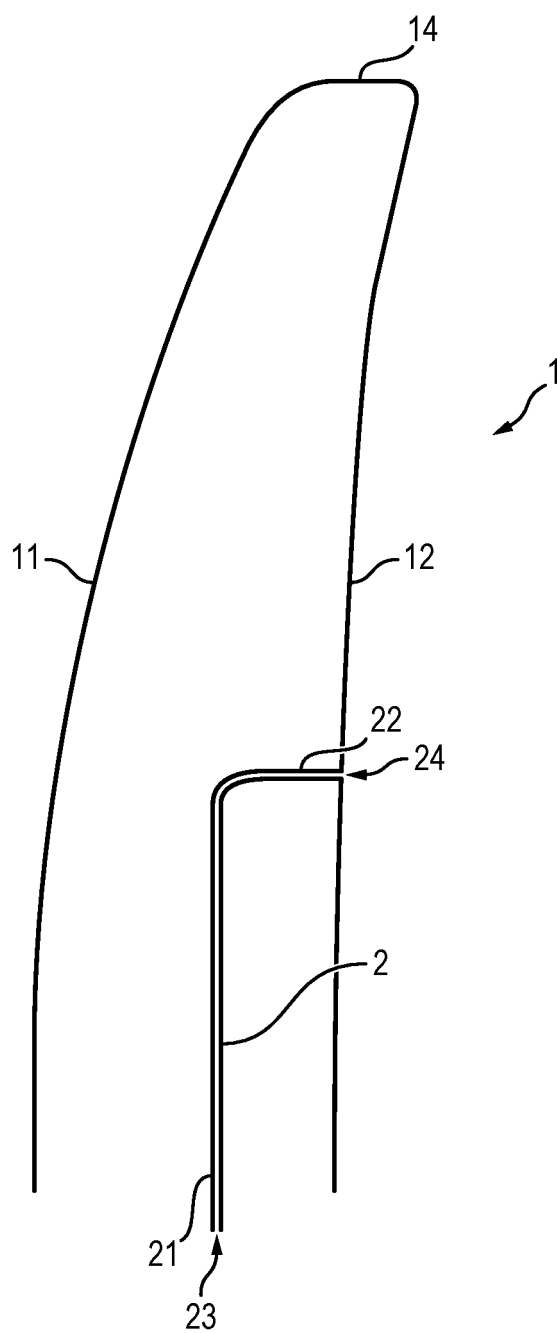


FIG. 11



10/12**FIG. 12**

11/12

FIG. 13

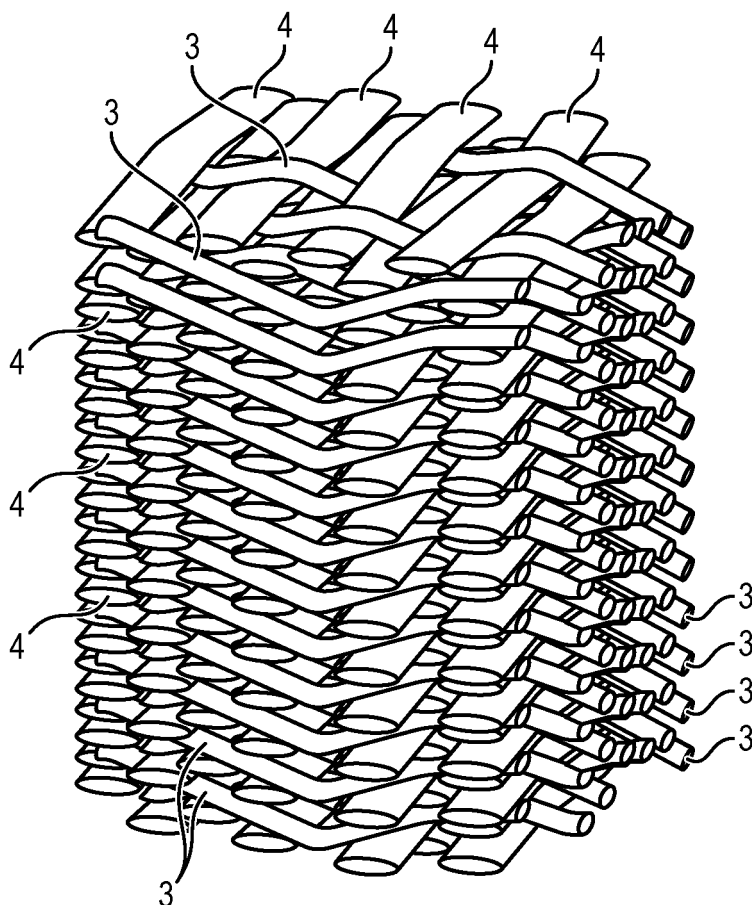
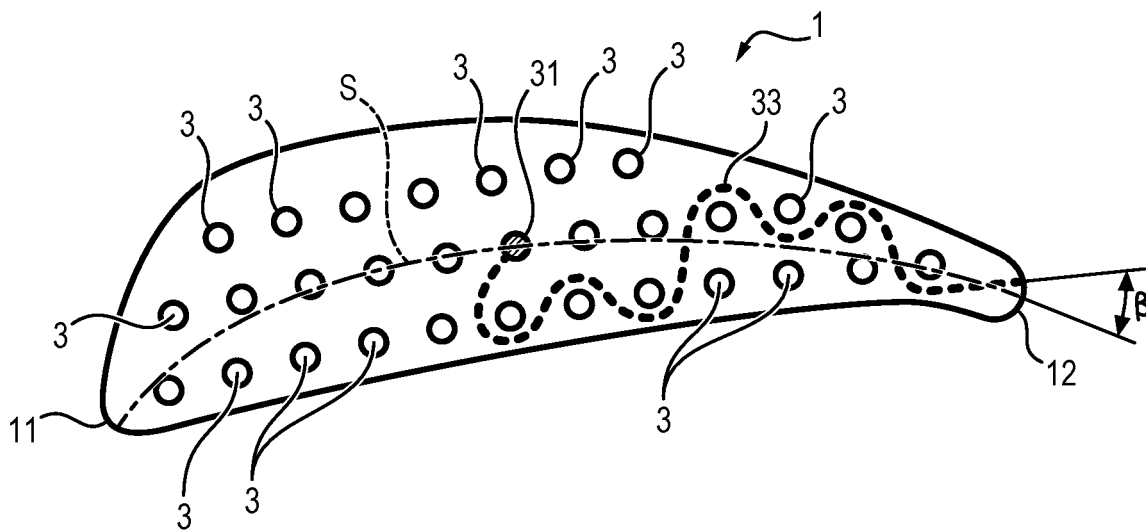
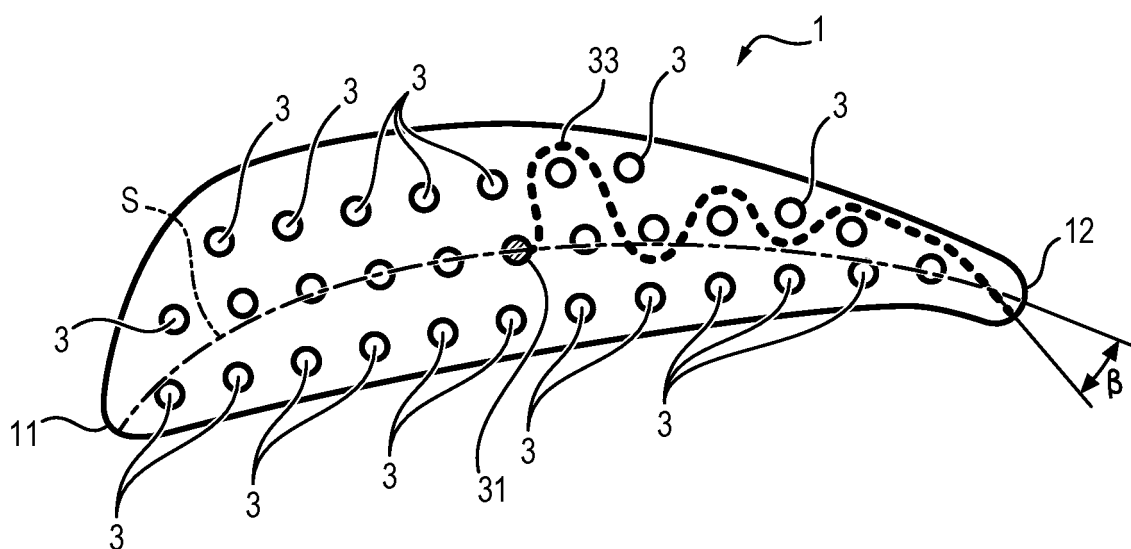


FIG. 14



12/12

FIG. 15





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 809261
FR 1550699

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	FR 2 955 609 A1 (SNECMA [FR]) 29 juillet 2011 (2011-07-29) * revendication 1; figures *	1-6,10, 11	B29C70/48 B29C70/24 B29L31/08 F01D5/28
A	US 2007/140835 A1 (ALBRECHT HARRY A [US] ET AL) 21 juin 2007 (2007-06-21) * revendications; figures 11-28 *	1-11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B29D B29C B29L F04D F01D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
25 novembre 2015		Bibollet-Ruche, D	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

1

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1550699 FA 809261**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **25-11-2015**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2955609	A1	29-07-2011	CA 2787358 A1	04-08-2011
			CN 102741043 A	17-10-2012
			EP 2528727 A1	05-12-2012
			FR 2955609 A1	29-07-2011
			RU 2012136437 A	10-03-2014
			US 2013017094 A1	17-01-2013
			WO 2011092416 A1	04-08-2011

US 2007140835	A1	21-06-2007	AUCUN	
