

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 16.05.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 22.11.24 Bulletin 24/47.

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

60 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

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

72 Inventeur(s) : WARIS Marc.

73 Titulaire(s) : SAFRAN Société anonyme.

74 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

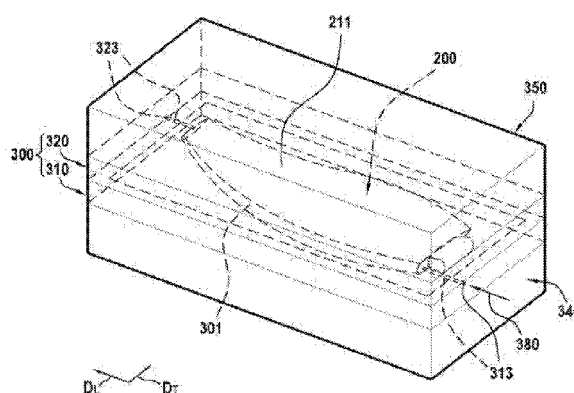
54 Procédé de fabrication d'une aube ou pale d'hélice avec collage d'un insert dans une préforme sèche.

57 Procédé de fabrication d'une aube ou pale d'hélice  
avec collage d'un insert dans une préforme sèche

Un procédé de fabrication d'une aube ou pale d'hélice  
comprend:- la réalisation d'une ébauche fibreuse d'une  
structure à profil aérodynamique comprenant un logement  
interne,- l'insertion d'au moins un insert dans le logement in-  
terne avec interposition d'un film d'adhésif entre l'insert et le  
logement interne de l'ébauche fibreuse de manière à obtenir  
une préforme fibreuse (200), - le maintien de la préforme fi-  
breuse (200) dans une cavité de moulage (301) d'un outil-  
lage d'injection (300),

- l'injection d'une résine (380) dans la cavité de moulage  
(301) contenant la préforme fibreuse (200) et la transforma-  
tion de la résine en matrice par traitement thermique. Le pro-  
cédé comprend en outre, après le maintien de la préforme  
fibreuse (200) dans la cavité de moulage (301) et avant l'in-  
jection de la résine (380) dans la préforme fibreuse, une  
étape de pré-consolidation du film d'adhésif comprenant au  
moins l'application d'une pression de consolidation dans la  
cavité de moulage (301).

Figure pour l'abrégé : Fig. 7.



## **Description**

### **Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'une aube ou pale d'hélice avec collage d'un insert dans une préforme sèche**

#### **Domaine technique**

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

#### **Technique antérieure**

[0002] Afin d'obtenir des aubes ou pales d'hélice plus légères, il est connu de réaliser des pales d'hélice en matériau composite, c'est-à-dire en réalisant des pièces de structure à renfort fibreux densifié par une matrice.

[0003] Le document US 2005/0084377 décrit un procédé pour la fabrication d'une aube de turbomachine en matériau composite monolithique, l'aube étant fabriquée par tissage tridimensionnel d'une préforme fibreuse et densification de la préforme par une matrice. Ce procédé permet d'obtenir des aubes ayant une résistance mécanique très élevée, notamment vis-à-vis des chocs ou impacts, sans risque de délaminage. Toutefois, la fabrication d'aubes ou de pales d'hélices monolithiques de grandes dimensions avec cette technique peut s'avérer difficile.

[0004] Des procédés de fabrication permettant de fabriquer des aubes ou pales avec introduction d'un ou plusieurs inserts dans une préforme fibreuse sèche ont été développés.

[0005] Le document US 2013/0017093 décrit par exemple la réalisation d'une pale d'hélice à partir d'une structure fibreuse à profil aérodynamique à l'intérieur de laquelle est introduite une partie d'un longeron.

[0006] Le collage du ou des inserts dans la préforme fibreuse sèche est une opération délicate, en particulier en ce qui concerne la maîtrise de l'interface de collage. Si la couche de matériau adhésif n'est pas uniformément présente entre la préforme et le ou les inserts, la qualité du collage est dégradée, ce qui entraîne une diminution de la tenue mécanique. La préforme fibreuse sèche étant poreuse par nature, une partie du film d'adhésif pénètre dans la préforme par capillarité, ce qui conduit à un film d'adhésif non homogène qui peut nuire aux performances mécaniques de la pièce.

#### **Exposé de l'invention**

[0007] Il est donc souhaitable de pouvoir proposer une solution pour la réalisation d'aubes ou pales d'hélice d'aéronef permettant d'assurer un collage uniforme sur l'ensemble de l'interface entre un insert et une préforme fibreuse.

[0008] A cet effet, la présente invention propose un procédé de fabrication d'une aube ou pale d'hélice de turbomachine, le procédé comprenant :

- la réalisation d'une ébauche fibreuse d'une structure à profil aérodynamique par tissage tridimensionnel de fils, l'ébauche comprenant un logement interne,
  - l'insertion d'au moins un insert dans le logement interne avec interposition d'un film d'adhésif entre l'insert et le logement interne de l'ébauche fibreuse de manière à obtenir une préforme fibreuse,
  - le maintien de la préforme fibreuse dans une cavité de moulage d'un outillage d'injection présentant la forme de l'aube ou de la pale d'hélice à fabriquer,
- [0009] - l'injection d'une résine dans la cavité de moulage contenant la préforme fibreuse et la transformation de la résine en matrice par traitement thermique,
- caractérisé en ce que le procédé comprend en outre, après le maintien de la préforme fibreuse dans la cavité de moulage et avant l'injection de la résine dans la préforme fibreuse, une étape de pré-consolidation du film d'adhésif comprenant au moins l'application d'une pression de consolidation dans la cavité de moulage.
- [0010] L'application d'une pression dans la cavité de moulage permet de maintenir une pression sur le film d'adhésif à travers l'ébauche fibreuse sèche et ainsi empêcher l'adhésif de fluer par capillarité dans la porosité de l'ébauche fibreuse avant l'injection de la résine.
- [0011] Selon une caractéristique particulière du procédé de l'invention, l'application de la pression de consolidation dans la cavité de moulage est réalisée par injection d'un gaz inerte sous pression dans la cavité de moulage. Cela permet d'éviter le risque de porosité principalement dans l'adhésif et éventuellement dans la résine lors de son injection.
- [0012] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, le film d'adhésif comprend une couche de résine époxy thermodurcissable.
- [0013] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, l'étape de pré-consolidation du film d'adhésif comprend en outre la polymérisation partielle du film d'adhésif par application d'un traitement thermique. On stabilise ainsi partiellement le collage entre l'insert et l'ébauche fibreuse avant l'injection de la résine. Le film d'adhésif est de préférence partiellement polymérisé à un taux compris entre 20% et 50%. Cela permet d'optimiser le collage de l'insert en réalisant l'autre partie de la polymérisation du film d'adhésif pendant l'injection et la cuisson finale de la pièce.
- [0014] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, le film d'adhésif comprend en outre une texture fibreuse d'interface. La texture d'interface permet de calibrer l'épaisseur de l'interface de collage entre l'insert et l'ébauche fibreuse.
- [0015] Selon une autre caractéristique particulière du procédé de l'invention, le matériau dudit au moins un insert est choisi parmi un des matériaux suivants : matériau métallique, matériau composite ou polymère comportant un revêtement de surface

étanche.

### **Brève description des dessins**

- [0016] [Fig.1] La [Fig.1] est une vue en perspective d'une pale d'hélice d'aéronef conformément à un mode de réalisation de l'invention,
- [0017] [Fig.2] La [Fig.2] est une vue schématique illustrant le tissage 3D d'une ébauche fibreuse pour la fabrication d'une structure à profil aérodynamique de la pale d'hélice de la [Fig.1],
- [0018] [Fig.3A] La [Fig.3A] est une vue en coupe partielle à échelle agrandie d'un ensemble de couches de fils formant l'ébauche de la [Fig.1],
- [0019] [Fig.3B] La [Fig.3B] est une autre vue en coupe partielle à échelle agrandie d'un ensemble de couches de fils formant l'ébauche de la [Fig.1],
- [0020] [Fig.4] La [Fig.4] est une vue éclatée montrant la réalisation d'une préforme de la pale d'hélice de la [Fig.1],
- [0021] [Fig.5] La [Fig.5] est une vue schématique en perspective éclatée montrant un outillage d'injection et le placement de la préforme de la [Fig.4] à l'intérieur de celui-ci,
- [0022] [Fig.6] La [Fig.6] est une vue schématique en perspective montrant l'outillage d'injection de la [Fig.5] fermé pendant une étape de pré-consolidation du film d'adhésif conformément à un mode de réalisation de l'invention,
- [0023] [Fig.7] La [Fig.7] est une vue schématique en perspective montrant l'outillage d'injection de la [Fig.5] fermé pendant une étape d'injection de résine,
- [0024] [Fig.8] La [Fig.8] montre un exemple d'évolution de paramètres opératoires lors d'une étape de pré-consolidation d'un film d'adhésif selon l'invention.

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

- [0025] 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 à des systèmes de pivotement ou pas variable. De telles aubes ou pales d'hélice sont en général munies d'un pied présentant à la fois un faible encombrement (forme compacte) et une bonne résistance vis-à-vis d'efforts en traction, flexion et 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 ».
- [0026] Dans la suite de la description, un exemple de mise en œuvre du procédé de l'invention est décrit en relation avec la fabrication d'une aube pour turbopropulseur. Toutefois, l'exemple de réalisation s'applique également à la fabrication d'une pale

d'hélice de turbomachine pour aéronefs.

- [0027] La [Fig.1] représente une aube 10 destinée à être montée sur un turbopropulseur d'avion qui comprend, de façon en soi bien connue, une structure à profil aérodynamique 20 destinée à former la partie aérodynamique de l'aube, un pied 33 formé par une partie de plus forte épaisseur, par exemple à section en forme de bulbe, prolongé par une échasse 34. La structure à profil aérodynamique 20 présente en section transversale un profil incurvé d'épaisseur variable entre son bord d'attaque 20a et son bord de fuite 20b. La pale d'hélice 10 comprend un longeron 30 comprenant une première partie 31 s'étendant à l'extérieur de la structure à profil aérodynamique 20 et comportant le pied 33 et l'échasse 34 et une deuxième partie 32 disposée à l'intérieur de la structure à profil aérodynamique 20.
- [0028] La [Fig.2] montre très schématiquement une ébauche fibreuse 100 destinée à former la préforme fibreuse de la structure à profil aérodynamique de l'aube.
- [0029] L'ébauche fibreuse 100 est obtenue, comme illustrée schématiquement sur la [Fig.2], 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.
- [0030] Dans l'exemple illustré, le tissage 3D 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.
- [0031] D'autres types de tissage tridimensionnel connus pourront être utilisés, comme notamment ceux décrits dans le document WO 2006/136755.
- [0032] L'ébauche fibreuse peut être tissée à partir de fils de fibre de carbone ou de céramique tel que du carbure de silicium.
- [0033] Au fur et à mesure du tissage de l'ébauche fibreuse 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 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 EP 1 526 285.
- [0034] Lors du tissage, une déliaison 103 ([Fig.2]) est réalisée à l'intérieur de l'ébauche fibreuse entre deux couches successives de fils de chaîne et sur une zone de déliaison 104 ([Fig.4]). La zone de déliaison 104 permet de ménager un logement interne 104a permettant l'introduction d'un insert, ici un longeron, à l'intérieur de l'ébauche fibreuse 100 en vue de la formation de la préforme de la structure à profil aérodynamique.

- [0035] Un mode de tissage 3D à armure interlock de l'ébauche 100 est montré schématiquement par les figures 3A et 3B. La [Fig.3A] est une vue partielle agrandie de deux plans en coupe chaîne successifs dans une partie de l'ébauche 100 ne présentant pas de déliaison, c'est-à-dire dans une zone de l'ébauche située en dehors de la zone de déliaison 104, tandis que la [Fig.3B] montre deux plans en coupe chaîne successifs dans la partie de l'ébauche 100 présentant une déliaison 103 formant la zone de déliaison 104.
- [0036] Dans cet exemple, l'ébauche 100 comprend 6 couches de fils de chaîne 101 s'étendant dans la direction X. Sur la [Fig.3A], les 6 couches de fils de chaîne sont liés par des fils de trame  $T_1$  à  $T_5$ . Sur la [Fig.3B], 3 couches de fils de chaîne 101 formant l'ensemble de couches de fils 105 sont liées entre elles par deux fils de trame  $T_1$ ,  $T_2$ , de même que les 3 couches de fils de chaîne formant l'ensemble de couches de fils 106 sont liés par deux fils de trame  $T_4$  et  $T_5$ . En d'autres termes, le fait que les fils de trame  $T_1$ ,  $T_2$  ne s'étendent pas dans les couches de fils 106 et que les fils de trame  $T_4$ ,  $T_5$  ne s'étendent pas dans les couches de fils 105 assure la déliaison 103 qui sépare l'un de l'autre les ensembles de couches de fils de chaîne 105, 106.
- [0037] A la fin du tissage ([Fig.2]), on sectionne, par exemple au jet d'eau sous pression, les fils de chaîne et de trame à la limite de la masse tissée pour extraire l'ébauche sèche 100 représentée sur la [Fig.4] telle qu'elle est issue du tissage 3D et avant toute conformation. La zone de déliaison 104 ménagée lors du tissage permet de former deux portions 110 et 111 tissées indépendamment l'une de l'autre délimitant un logement interne 104a à l'intérieur de l'ébauche 100. Les deux portions 110 et 111 sont destinées à former les peaux 21 et 22 de la structure aérodynamique 20. Le logement interne 104a est ouvert sur le bord inférieur 100c et sur le bord arrière 100b de l'ébauche 100. Le bord avant 100a de l'ébauche fibreuse 100, qui relie des deux portions 110 et 111 et qui est destiné à former le bord d'attaque 20a de la structure à profil aérodynamique 20 de l'aube 10 tandis que le bord arrière 100b de l'ébauche 100 correspond à la partie destinée à former le bord de fuite 20b de la structure à profil aérodynamique ([Fig.1]).
- [0038] Conformément à l'invention, la fabrication de l'aube comprend l'utilisation d'un insert 40 correspondant ici à un longeron ([Fig.4]).
- [0039] L'insert 40 comprend une première portion 41 et une deuxième portion 42. La première portion 41 qui correspond à la première partie 31 du longeron 30 comporte une partie renflée 411 et une partie d'épaisseur décroissante 412 destinées à former respectivement le pied 33 et l'échasse 34 de l'aube 10 ([Fig.1]). La partie d'épaisseur décroissante 412 est prolongée par la deuxième portion 42 qui correspond à la deuxième partie 32 du longeron 30.
- [0040] Dans l'exemple décrit ici l'insert 40 est réalisé en matériau métallique, par exemple

en titane.

- [0041] Un film d'adhésif 50 est déposé sur toute la surface de la deuxième portion 42 de l'insert qui correspond à la partie de l'insert qui est introduite dans le logement interne 104a de l'ébauche fibreuse sèche 100. Ainsi, un film d'adhésif est interposé entre l'insert et la paroi du logement interne 104a après l'insertion de l'insert dans le logement interne de l'ébauche fibreuse.
- [0042] Le film d'adhésif comprend une couche de résine époxy thermodurcissable pouvant par exemple correspondre la résine époxy EA914 fabriquée par la société Hysol®, au film adhésif AF191 fabriqué par la société 3M®, au film adhésif FM300 fabriqué par la société Cytec®, ou à la résine époxy EA9396 fabriquée par la société Hysol®.
- [0043] Sur la [Fig.4], la conformation de l'ébauche fibreuse sèche 100, est réalisée en introduisant dans le logement interne 104a la deuxième portion 42 de l'insert 40 recouverte du film d'adhésif 50. On obtient ainsi une préforme d'aube 200 comprenant suivant une direction longitudinale  $D_L$  une partie de préforme de profil aérodynamique 211 constituée par l'ébauche fibreuse sèche 100 dans le logement interne 104 de laquelle la deuxième portion 42 de l'insert 40 a été insérée. Le film d'adhésif 50 est alors interposé entre la deuxième portion 42 et l'ébauche fibreuse sèche 100. La partie de préforme de profil aérodynamique 211 s'étend suivant une direction transversale  $D_T$  entre une partie de bord d'attaque 211a et une partie de bord de fuite 211b.
- [0044] Comme illustré sur la [Fig.5], la préforme d'aube 200 est placée dans un outillage d'injection 300 qui comprend une première coquille 310 comprenant en son centre une première empreinte 311 correspondant en partie à la forme et aux dimensions de l'aube à réaliser et une deuxième coquille 320 comprenant en son centre une deuxième empreinte 321 correspondant en partie à la forme et aux dimensions de l'aube à réaliser.
- [0045] Une fois l'outillage 300 fermé comme illustré sur la [Fig.6], les première et deuxième empreintes 311 et 321 respectivement des première et deuxième coquilles 310 et 320 définissent ensemble une cavité de moulage 301 ayant la forme de l'aube à réaliser et dans laquelle la préforme 200 est maintenue.
- [0046] Conformément à l'invention, une étape de pré-consolidation du film d'adhésif est alors réalisée. Dans l'exemple décrit ici et tel qu'illustré sur la [Fig.6], l'étape de pré-consolidation comprend l'application d'une pression de consolidation dans la cavité de moulage 301. A cet effet, un flux gazeux sous pression 360 est injecté dans la cavité de moulage par un port d'injection 313 présent dans la première coquille 310 de l'outillage 300. La pression à l'intérieur de la cavité de moulage 301 peut être régulée par un port d'évacuation 323 présent dans la deuxième coquille 320.
- [0047] L'application d'une pression dans la cavité de moulage 301 permet de maintenir une pression sur le film d'adhésif à travers l'ébauche fibreuse sèche et ainsi empêcher

l'adhésif de fluer dans la porosité de l'ébauche. La pression appliquée dans la cavité de moulage pendant l'étape de pré-consolidation peut être comprise entre 1 bar et 3 bars. Le flux gazeux injecté dans le port 313 pour appliquer la pression dans la cavité de moulage peut être de l'air ou un gaz inerte tel que de l'azote afin de limiter le risque de porosité.

- [0048] L'application d'une pression de consolidation peut être combinée avec une polymérisation partielle du film d'adhésif durant l'étape de pré-consolidation. Dans ce cas, un cycle de traitement thermique est en outre appliqué à la préforme maintenue dans l'outillage d'injection. La polymérisation partielle du film d'adhésif permet d'augmenter sa résistance au fluage. Dans l'exemple décrit ici, l'outillage d'injection 300 comprend en outre une partie inférieure 340 et une partie supérieure 350 entre lesquels les première et deuxième coquilles 310 et 320 sont placées, la partie inférieure 340 et la partie supérieure 350 étant équipées de moyens de chauffage (non représentés sur la [Fig.6]).
- [0049] La durée et le palier de température du cycle thermique appliqué détermine le niveau de polymérisation de l'adhésif. La [Fig.8] montre un exemple de paramètres opératoires utilisés dans une étape de pré-consolidation du film d'adhésif (« Cycle insert sur la [Fig.8] ») combinant une application de pression et un cycle thermique de polymérisation partielle. Dans cet exemple, l'adhésif est un film adhésif AF191 fabriqué par la société 3M® et l'étape de pré-consolidation est réalisée sur une durée d'une heure environ pendant laquelle la pression dans la cavité de moulage est portée à une valeur comprise entre 1 bars et 3 bars tandis que la préforme est exposée à une température de 110°C après une montée en température. Cela permet d'obtenir un taux de polymérisation ( $\alpha_1$ ) du film d'adhésif de 25%.
- [0050] Dans le cas de l'application d'un cycle thermique pendant l'étape de pré-consolidation, le film d'adhésif est partiellement polymérisé à un taux compris de préférence entre 20% et 50%. Cela permet d'optimiser le collage de l'insert en réalisant l'autre partie de la polymérisation du film d'adhésif pendant l'injection et la cuisson finale de la pièce.
- [0051] On procède ensuite à la densification de la partie fibreuse de la préforme, ici l'ébauche fibreuse mise en forme, comme illustré sur la [Fig.7]. La densification de la partie fibreuse de la préforme consiste à combler sa porosité par le matériau constitutif de la matrice. Cette densification est 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.
- [0052] La transformation du précurseur en matrice, à savoir sa polymérisation, est réalisée

par traitement thermique, généralement par chauffage de l'outillage d'injection, après élimination un solvant éventuel et réticulation du polymère, la préforme étant toujours maintenue dans la cavité de moulage ayant une forme correspondant à celle de la pièce à réaliser.

- [0053] 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.
- [0054] 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.
- [0055] Comme illustré sur la [Fig.7] et conformément au procédé RTM, on injecte via le port d'injection 313 de la première coquille 310 une résine 380, par exemple une résine thermodurcissable, dans la cavité de moulage 301 occupé par la préforme 200. Le port 323 de la deuxième coquille 320 est relié à un conduit d'évacuation maintenu sous pression (non représenté sur la [Fig.7]). Cette configuration permet l'établissement d'un gradient de pression entre la partie inférieure de la préforme 200 où la résine est injectée et la partie supérieure de la préforme située à proximité du port 323. De cette manière, la résine 360 injectée sensiblement au niveau de la partie inférieure de la préforme va imprégner progressivement l'ensemble de la partie fibreuse de la préforme en circulant dans celle-ci jusqu'au port d'évacuation 323 par lequel le surplus est évacué. Bien entendu, les première et deuxième coquilles 310 et 320 de l'outillage 300 peuvent comprendre respectivement plusieurs ports d'injection et plusieurs ports d'évacuation.
- [0056] 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.

- [0057] Après l'injection et la polymérisation, l'aube est démoulée. Au final, l'aube peut être détournée pour enlever l'excès de résine et les chanfreins sont usinés. Aucun autre usinage n'est nécessaire puisque, la pièce étant moulée, elle respecte les cotes exigées. On obtient alors l'aube 10 de la [Fig.1].
- [0058] Les procédés de densification décrits ci-avant permettent de réaliser, à partir de la préforme fibreuse de l'invention, principalement des aubes ou pales d'hélices en matériau composite à matrice organique (CMO), à matrice carbone (C/C) et à matrice céramique (CMC).
- [0059] Selon une caractéristique optionnelle du procédé de l'invention, le film d'adhésif peut comprendre en outre une texture fibreuse d'interface. La texture fibreuse d'interface est une couche fine dont l'épaisseur permet de définir ou calibrer l'épaisseur de l'interface (joint d'adhésif) entre l'insert et la partie de l'ébauche fibreuse avec laquelle le film d'adhésif est en contact. L'épaisseur de la texture fibreuse d'interface est de préférence inférieure à 1mm. La couche fibreuse d'interface peut présenter divers types de texture comme notamment une marquissette, un tissé bi-dimensionnel, un tricot, un feutre, un voile, une tresse ou un mat.

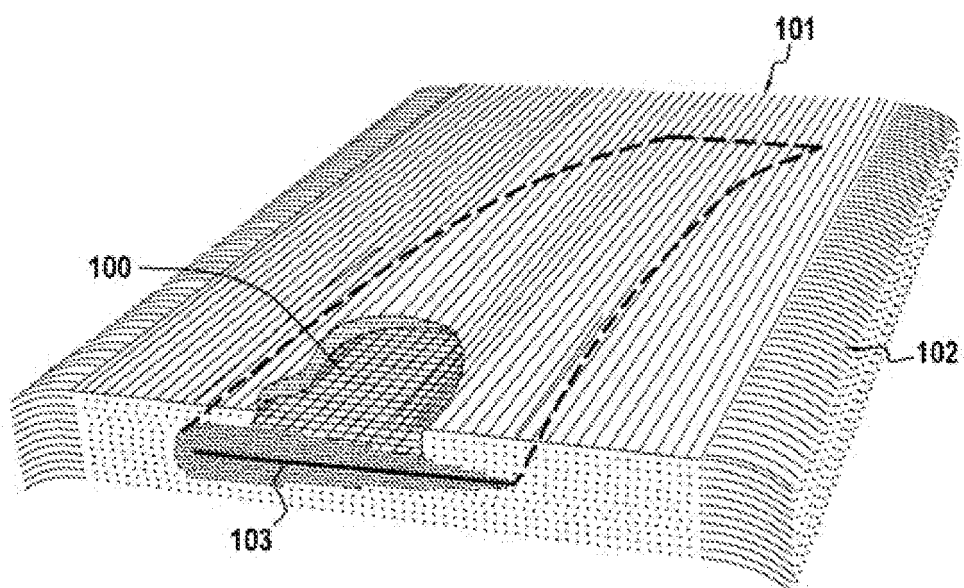
## Revendications

- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'une aube ou pale d'hélice (10) de turbomachine, le procédé comprenant :
- la réalisation d'une ébauche fibreuse (100) d'une structure à profil aérodynamique par tissage tridimensionnel de fils, ladite ébauche comprenant un logement interne (104a),
  - l'insertion d'au moins un insert (40) dans le logement interne (104a) avec interposition d'un film d'adhésif (50) entre l'insert et le logement interne de l'ébauche fibreuse de manière à obtenir une préforme fibreuse (200),
  - le maintien de la préforme fibreuse (200) dans une cavité de moulage (301) d'un outillage d'injection (300) présentant la forme de l'aube ou de la pale d'hélice à fabriquer,
  - l'injection d'une résine (380) dans la cavité de moulage (301) contenant la préforme fibreuse (200) et la transformation de la résine en matrice par traitement thermique,
- caractérisé en ce que le procédé comprend en outre, après le maintien de la préforme fibreuse (200) dans la cavité de moulage (301) et avant l'injection de la résine (380) dans la préforme fibreuse, une étape de pré-consolidation du film d'adhésif comprenant au moins l'application d'une pression de consolidation dans la cavité de moulage (301).
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'application de la pression de consolidation dans la cavité de moulage (301) est réalisée par injection d'un gaz inerte sous pression dans la cavité de moulage.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le film d'adhésif (50) comprend une couche de résine époxy thermodurcissable.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'étape de pré-consolidation du film d'adhésif (50) comprend en outre la polymérisation partielle du film d'adhésif par application d'un traitement thermique.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 4, dans lequel le film d'adhésif est partiellement polymérisé à un taux compris entre 20% et 50%.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le film d'adhésif comprend en outre une texture fibreuse d'interface.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le matériau dudit au moins un insert (40) est choisi parmi un des matériaux suivants : matériau métallique, matériau composite ou polymère

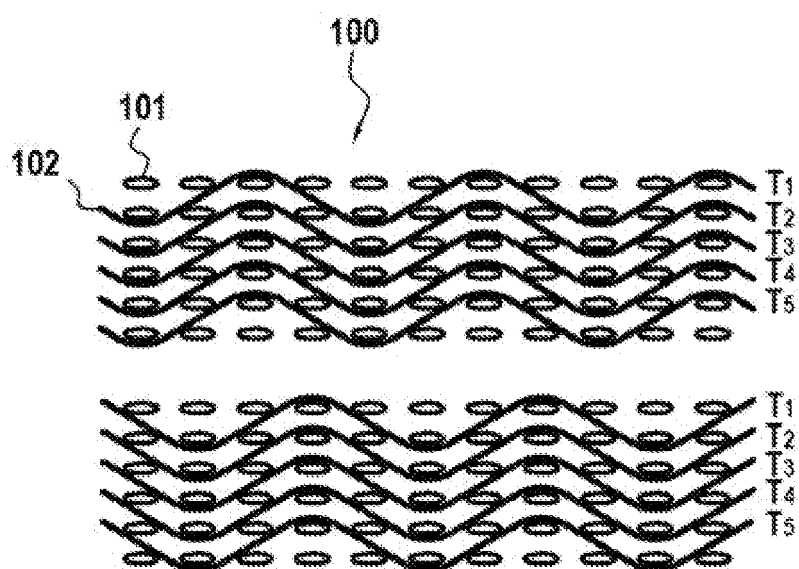
comportant un revêtement de surface étanche.



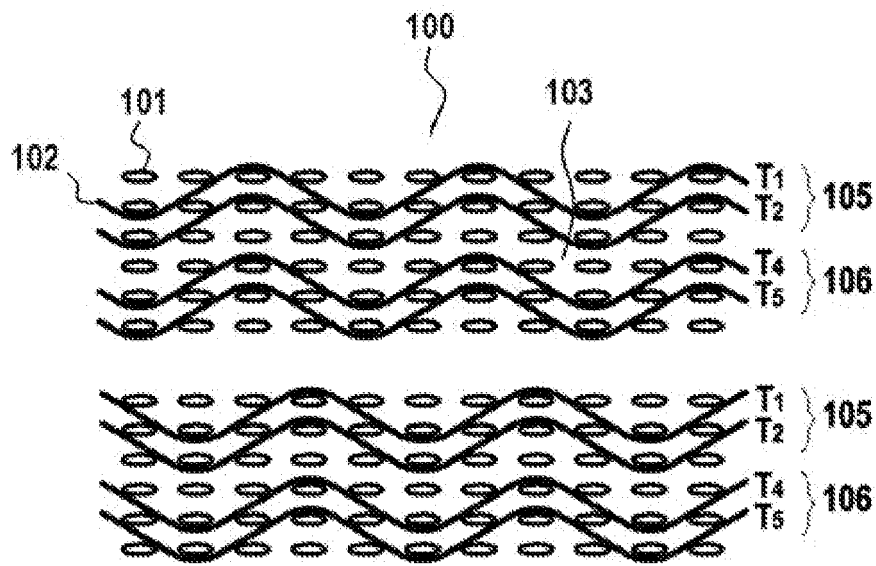
[Fig. 2]



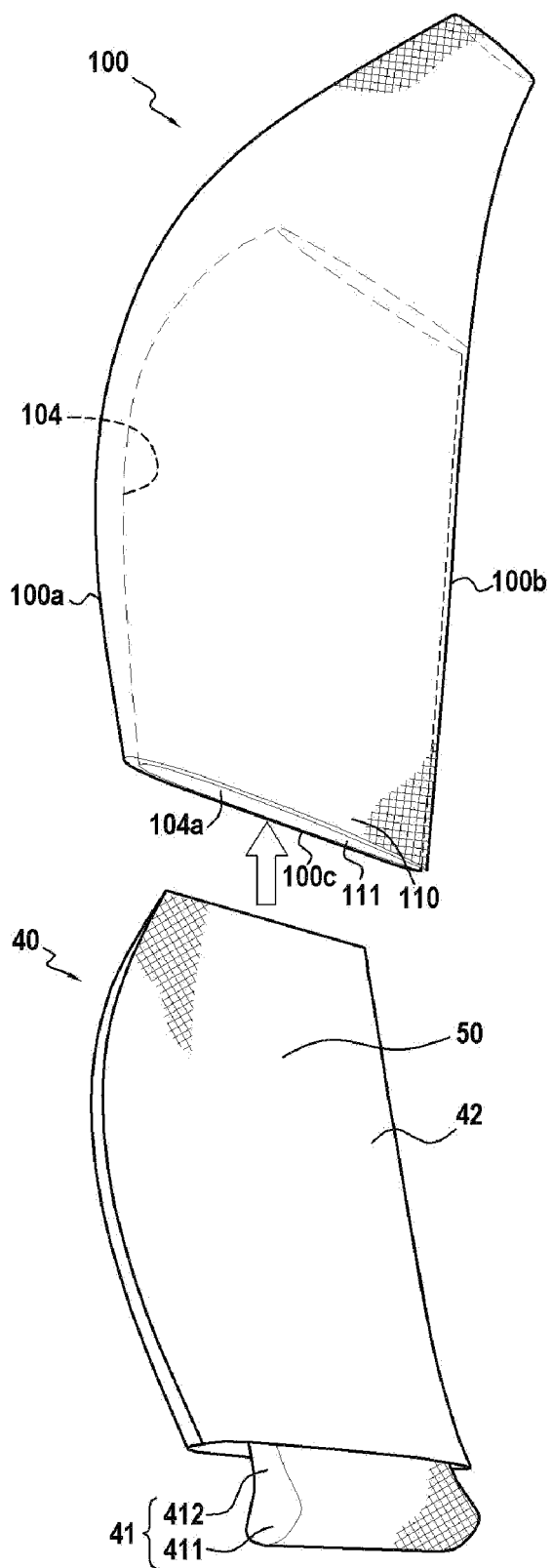
[Fig. 3A]



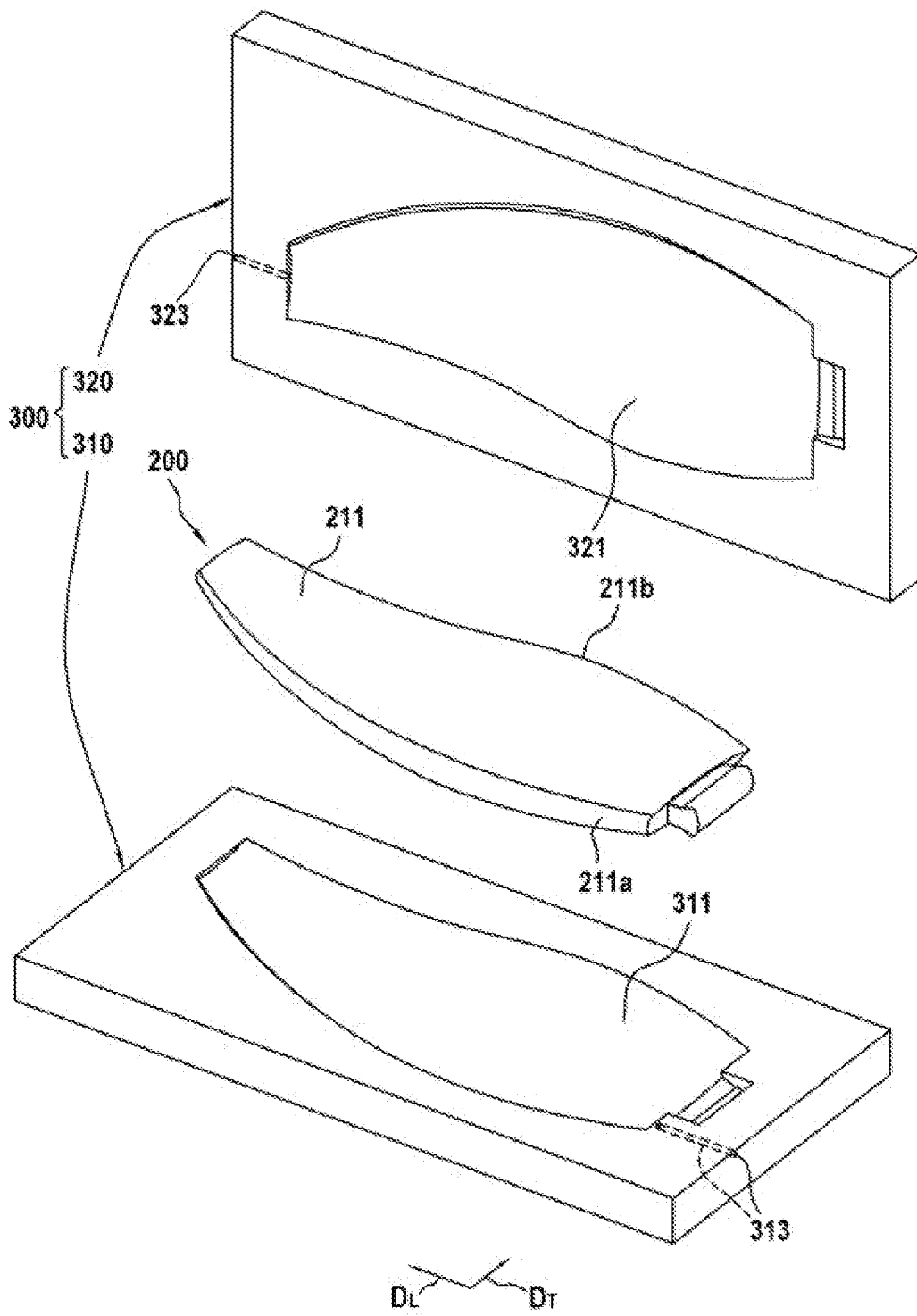
[Fig. 3B]



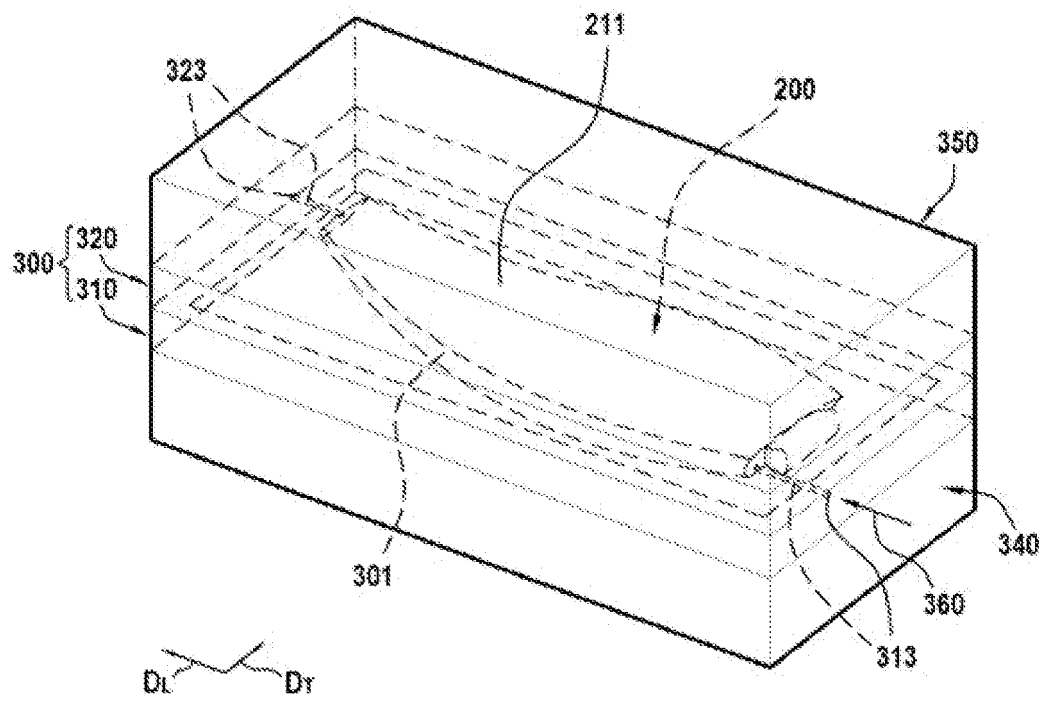
[Fig. 4]



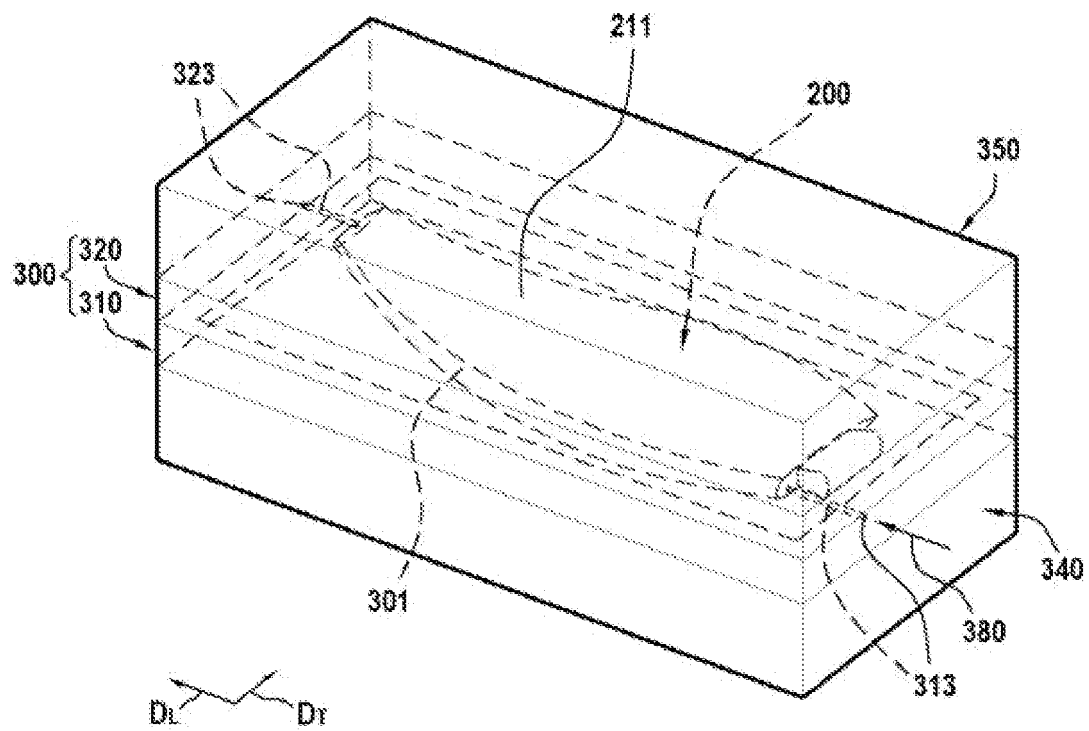
[Fig. 5]



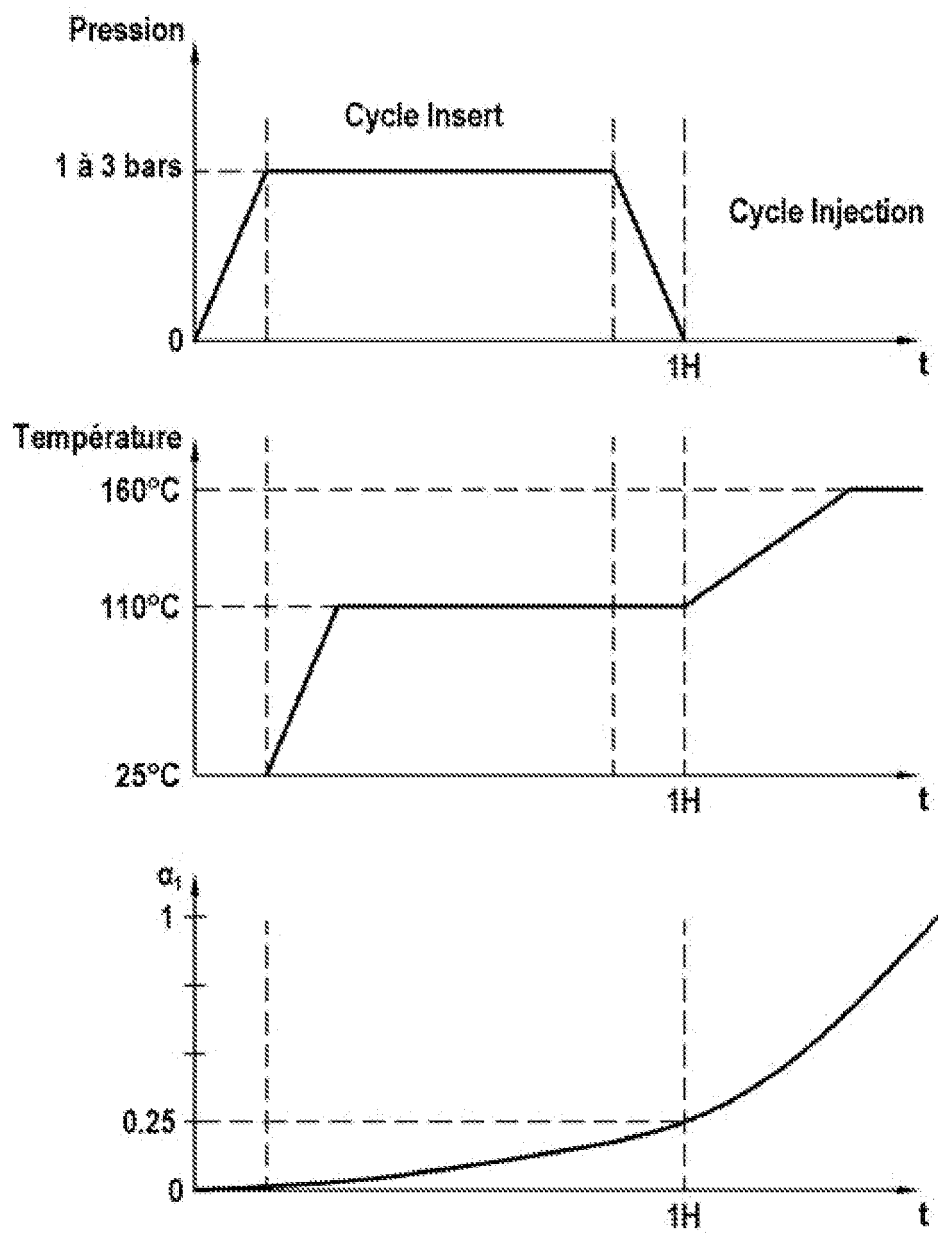
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



## RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement  
national

**FA 919842**  
**FR 2304843**

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                  | Revendication(s)<br>concernée(s) | Classement attribué<br>à l'invention par l'INPI                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Catégorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes                                                                                               |                                  |                                                                                 |
| <b>A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>EP 2 679 487 A2 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP [US]) 1 janvier 2014 (2014-01-01)</b><br><b>* alinéas [0019], [0020] *</b><br><div style="text-align: center;">-----</div>          | 1-7                              | <b>B29C 70/24</b><br><b>B29C 70/48</b><br><b>B29C 70/54</b><br><b>F01D 5/28</b> |
| <b>A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>US 2022/402218 A1 (TOUZE ADRIEN [FR] ET AL) 22 décembre 2022 (2022-12-22)</b><br><b>* alinéas [0016] - [0021]; figure 4 *</b><br><div style="text-align: center;">-----</div> | 1-7                              |                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                  |                                  | <b>DOMAINES TECHNIQUES<br/>RECHERCHÉS (IPC)</b>                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                  |                                  | <b>B29C</b><br><b>B29D</b><br><b>B29L</b><br><b>B64C</b>                        |
| Date d'achèvement de la recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                  | Examineur                        |                                                                                 |
| <b>19 décembre 2023</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                  | <b>Van Wallene, Allard</b>       |                                                                                 |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul</p> <p>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie</p> <p>A : arrière-plan technologique</p> <p>O : divulgation non-écrite</p> <p>P : document intercalaire</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention</p> <p>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.</p> <p>D : cité dans la demande</p> <p>L : cité pour d'autres raisons</p> <p>.....</p> <p>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p> </div> </div> |                                                                                                                                                                                  |                                  |                                                                                 |

# **ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE** **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2304843 FA 919842**

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 **19-12-2023**  
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|-------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| <b>EP 2679487 A2</b>                            | <b>01-01-2014</b>      | <b>EP 2679487 A2</b>                    | <b>01-01-2014</b>      |
|                                                 |                        | <b>US 2013343898 A1</b>                 | <b>26-12-2013</b>      |
| -----                                           |                        |                                         |                        |
| <b>US 2022402218 A1</b>                         | <b>22-12-2022</b>      | <b>CN 114761214 A</b>                   | <b>15-07-2022</b>      |
|                                                 |                        | <b>EP 4065354 A1</b>                    | <b>05-10-2022</b>      |
|                                                 |                        | <b>FR 3103730 A1</b>                    | <b>04-06-2021</b>      |
|                                                 |                        | <b>US 2022402218 A1</b>                 | <b>22-12-2022</b>      |
|                                                 |                        | <b>WO 2021105612 A1</b>                 | <b>03-06-2021</b>      |
| -----                                           |                        |                                         |                        |