

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication : 3 142 779
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : 22 12571

⑤1 Int Cl⁸ : F 01 D 5/18 (2023.01), B 23 P 15/02

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 02.12.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 07.06.24 Bulletin 24/23.

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 SA — FR.

⑦2 Inventeur(s) : GUILMIN, Quentin, LORRIAUX,
Amandine, JOULIA, Aurélien et IOUDJAUDENE, Ali.

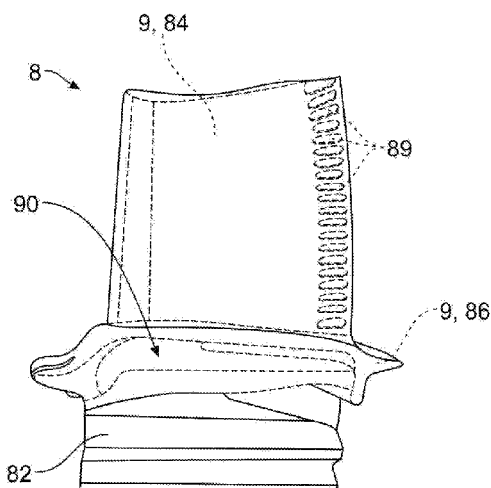
⑦3 Titulaire(s) : SAFRAN SA.

⑦4 Mandataire(s) : GEVERS & ORES.

⑤4 AUBE POUR TURBOMACHINE COMPRENANT UN SYSTEME BARRIERE THERMIQUE ET SON PROCEDE DE
FABRICATION.

⑤7 La présente invention concerne une aube (8) pour une
turbomachine (1), en particulier d'aéronef, l'aube (8) com-
prenant un corps (80) réalisé dans un alliage métallique et
au moins en partie recouvert par au moins un système bar-
rière thermique (9), ce corps (80) comprenant une pale (84)
s'étendant suivant un axe longitudinal et présentant un in-
trados et un extrados reliés entre eux par un bord d'attaque
et un bord de fuite de la pale (84), et dans lequel au moins
une partie du système barrière thermique (9) est recouvert
d'au moins une couche provisoire hydrofuge (90).

Figure pour l'abrégé : Figure 3



FR 3 142 779 - A1



Description

Titre de l'invention : AUBE POUR TURBOMACHINE COMPRENANT UN SYSTEME BARRIERE THERMIQUE ET SON PROCEDE DE FABRICATION

Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention se rapporte au domaine des turbomachines, par exemple d'aéronef, et plus particulièrement, à des aubes pour ces turbomachines qui sont soumises à des fortes températures de fonctionnement.

Arrière-plan technique

[0002] Da façon connue, une turbomachine d'aéronef comprend d'amont en aval, dans le sens d'écoulement des gaz, une soufflante, un compresseur basse pression, un compresseur haute pression, une chambre de combustion, une turbine haute pression et une turbine basse pression. Le rotor du compresseur basse pression est entraîné par le rotor de la turbine basse pression, et le rotor du compresseur haute pression est entraîné par le rotor de la turbine haute pression.

[0003] La turbomachine comprend des aubes mobiles et des distributeurs dans les turbines haute pression et basse pression. Les distributeurs comprennent typiquement des aubes fixes. De telles aubes mobiles et des distributeurs peuvent comporter un corps réalisé en alliage métallique.

[0004] Ces aubes mobiles et des distributeurs sont des pièces complexes qui doivent résister à de fortes températures de fonctionnement (notamment à des températures supérieures à celles de la fusion de métal formant classiquement ces pièces).

[0005] Afin de mieux résister à cet environnement de fonctionnement de température extrême, ces aubes mobiles et des distributeurs de turbomachine sont munies d'un système de refroidissement. Ce système de refroidissement comprend au moins :

- un ou plusieurs circuits de ventilation (ou dit de refroidissement) formés à l'intérieur du corps d'aube,
- des orifices de passage d'air sur l'aube pour créer un film d'air froid autour de l'aube,
- un système de protection de type barrière thermique (également désigné ci-après par système barrière thermique) ayant une capacité d'isolation thermique et des propriétés de résistance aux attaques de l'environnement de fonctionnement (par exemples aux oxydations, des attaques d'érosion par des particules solides et/ou les gaz chauds, attaques de corrosion par les dépôts d'oxydes de type CMAS (CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂), etc.).

[0006] Les systèmes barrières thermiques peuvent être des empilements multicouches

complexes généralement composés des différentes couches suivantes :

- une sous-couche de liaison, dite alumino-formeuse, permettant une protection contre l'oxydation et/ou corrosion formée et/ou déposée à la surface d'un substrat métallique (tel que l'aube de turbomachine),
- une fine couche d'alumine (Al_2O_3) sur la sous-couche de liaison,
- un revêtement céramique sur la fine couche d'alumine, dont la fonction première est de limiter la température de surface des composants revêtus ; et ce revêtement céramique peut être multicouche.

- [0007] La durée de vie des systèmes barrières thermiques peut dépendre de la nature superalliage, de la sous-couche de liaison (composition chimique, microstructure, et épaisseur) associé à son mode d'élaboration, de la résistance de l'empilement multicouche à un cycle thermique, d'une part, et de la résistance de la couche externe (à savoir le revêtement céramique) aux agressions environnementales (érosion par les particules solides, résistance chimique, corrosion, etc.), d'autre part.
- [0008] Les systèmes barrières thermiques peuvent présenter comme inconvénient d'être sensible à l'eau (sous forme liquide ou de gaz). En effet, le corps d'aube revêtu du système barrière thermique est en contact avec l'eau soit lors d'un stockage prolongé dans un environnement humide, soit en fonctionnement dans les turbines haute pression et basse pression.
- [0009] Par exemple, le revêtement céramique comporte de la zircone partiellement stabilisée avec l'yttrium et peut être déposé par un dépôt physique en phase vapeur (connu sous l'acronyme EB-PVD désignant en anglais *Electron Beam Physical Vapor Deposition*) ou tout autre procédé de dépôt. En présence d'eau, le système barrière thermique peut s'écailler et ainsi réduire sa durée de vie. En effet, les molécules d'eau peuvent initier par réaction chimique avec la couche de liaison des fissures à l'interface entre la couche de liaison et la fine couche d'alumine (Al_2O_3) menant à l'écaillage du système barrière thermique.
- [0010] Par ailleurs, il peut être nécessaire de réaliser une opération de retouche de l'aube revêtue du système barrière thermique, telle que des orifices de passage d'air du système de refroidissement. L'opération de retouche est notamment réalisée par un usinage par électroérosion (connu sous l'acronyme EDM désignant en anglais *Electrical Discharge Machining*). Cependant, cette opération de retouche nécessite une immersion partielle de la zone à retoucher de l'aube dans de l'eau. Ainsi, cette opération de retouche peut dégrader le système barrière thermique de l'aube.
- [0011] On peut utiliser un laser pour retoucher l'aube revêtue du système barrière thermique à la place de l'usinage par EDM. Cependant, cette méthode peut avoir un impact négatif sur les cavités formant les circuits de ventilation de l'aube. De plus, le laser ne permet pas de réaliser des orifices profonds puisque le laser a tendance à se dé-

focaliser avant de percer l'intégralité de l'orifice.

- [0012] Dans ces différents contextes, il est intéressant de proposer une solution permettant de protéger l'aube revêtue d'un système barrière thermique contre l'eau, notamment lors des manipulations et/ou opérations avant montage de cette aube dans une turbomachine d'aéronef.

Résumé de l'invention

- [0013] La présente invention propose une solution permettant de remédier au moins à une partie des inconvénients précités.
- [0014] A cet effet, la présente invention propose une aube pour une turbomachine, en particulier d'aéronef, l'aube comprenant un corps réalisé dans un alliage métallique et au moins en partie recouvert par au moins un système barrière thermique, ce corps comprenant une pale s'étendant suivant un axe longitudinal A et présentant un intrados et un extrados reliés entre eux par un bord d'attaque et un bord de fuite de la pale.
- [0015] Selon l'invention, au moins une partie du système barrière thermique est recouvert d'au moins une couche provisoire hydrofuge.
- [0016] Dans la présente demande, on entend par le terme « provisoire », une couche temporaire qui n'est pas destinée à être conservée sur l'aube en fonctionnement dans une turbomachine. Cette couche provisoire est ainsi destinée à être retirée de l'aube avant son montage ou assemblage dans la turbomachine.
- [0017] On entend par le terme « hydrofuge », un matériau étanche et imperméable à l'eau (notamment l'eau sous forme liquide ou gazeuse) permettant de protéger le système barrière thermique contre une projection d'eau.
- [0018] Ainsi, la couche provisoire hydrofuge permet de minimiser les risques d'attaque du système barrière thermique par l'eau lors des différentes manipulations et/ou opérations de l'aube avant son montage dans la turbomachine. En effet, cette couche d'hydrofuge s'adhère facilement au système barrière thermique pour former une barrière étanche et imperméable à l'eau. De plus, la couche d'hydrofuge peut se retirer facilement sans impacter et dégrader physiquement ou chimiquement le système barrière thermique ou l'aube.
- [0019] La couche provisoire hydrofuge permet donc de faciliter la réalisation d'opération nécessitant l'utilisation d'eau sur l'aube revêtue du système barrière thermique, telle que l'opération de retouche précitée et/ou une opération de réparation. En effet, la couche d'hydrofuge n'empêche pas la création de décharge électrique lors de l'usinage par EDM.
- [0020] Par conséquent, la couche provisoire hydrofuge permet de protéger efficacement la ou les zones de l'aube revêtue du système barrière thermique susceptibles d'être en contact avec l'eau.

- [0021] L'invention présente par conséquent l'avantage de reposer sur une conception simple, offrant une très grande fiabilité, et peu pénalisante en termes de coûts et d'encombrement.
- [0022] L'aube selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :
- [0023] - ledit au moins un système barrière thermique comprend une couche de liaison située sur le corps de l'aube, une couche d'alumine située sur la couche de liaison et un revêtement céramique située sur la couche d'alumine ;
- [0024] - ledit revêtement céramique comprend une multicouche en céramique ;
- [0025] - ladite au moins une couche hydrofuge est une couche de cire, de silicone et/ou de plastifiant ;
- [0026] - la couche de cire est une couche de paraffine ou de cire d'abeille ;
- [0027] - l'aube comprend en outre un circuit interne de ventilation relié à des orifices de passage d'air, ces orifices étant situées dans une zone dépourvue de ladite couche hydrofuge ;
- [0028] - l'aube est une aube d'une turbine haute pression ou d'une turbine basse pression de la turbomachine,
- [0029] - l'aube est une aube d'un distributeur haute pression de la turbomachine.
- [0030] La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'une aube pour une turbomachine, en particulier d'aéronef. Le procédé comportant des étapes comprenant :
- une fourniture (a) de l'aube comprenant un corps réalisé dans un alliage métallique, ce corps comprenant une pale s'étendant suivant un axe d'allongement A et présentant un intrados et un extrados reliés entre eux par un bord d'attaque et un bord de fuite de la pale,
 - un dépôt (b) du système barrière thermique sur au moins une partie du corps,
 - un dépôt (c) d'au moins une couche provisoire hydrofuge sur ledit système barrière thermique pour obtenir une aube selon l'une des particularités de l'invention, et
 - une étape (e) de retrait total de ladite au moins une couche d'hydrofuge.
- [0031] Le procédé de fabrication selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :
- [0032] - l'étape (e) de retrait est précédée d'une étape (d) d'usinage de la pale en vue de réaliser des orifices de passage d'air ;
- [0033] - l'étape (d) d'usinage est précédée d'une étape (i) de retrait partiel de ladite au moins une couche d'hydrofuge ;
- [0034] - le retrait partiel et/ou total de ladite couche d'hydrofuge est réalisé manuellement,

par un outil de découpe et/ou par chauffage à une température de sublimation prédéfinie du matériau hydrofuge ;

- [0035] - l'usinage comprend les sous-étapes de :
 - (d₁) une immersion d'au moins une partie de l'aube dans un récipient d'eau, et
 - (d₂) un usinage de l'aube par électroérosion pour former les orifices de passage d'air ;
- [0036] - le dépôt de ladite au moins une couche hydrofuge comprend les sous étapes de :
 - (c₁) une immersion d'au moins une partie de l'aube dans un bain contenant un matériau hydrofuge sous forme liquide,
 - (c₄) un séchage de l'aube pour former ladite couche hydrofuge ;
- [0037] - le procédé comprend, avant la sous-étape (c₄), une sous-étape (c₂) de mise sous vide de l'aube comportant de ladite couche hydrofuge ;
- [0038] - le procédé comprend, avant la sous-étape (c₄) ou avant la sous-étape (c₂), une sous-étape (c₃) de répétition de la sous-étape (c₁) ou des sous-étapes (c₁) et (c₂).

Brève description des figures

- [0039] L'invention sera mieux comprise et d'autres détails, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante faite à titre d'exemple non limitatif et en référence aux dessins annexés dans lesquels :
- [0040] La [Fig.1] est une demi vue schématique en coupe axiale d'une turbomachine d'aéronef,
- [0041] La [Fig.2] est une vue schématique en perspective d'une aube de la turbomachine de la [Fig.1],
- [0042] La [Fig.3] est vue schématique en perspective de l'aube de la [Fig.2] recouverte d'une couche provisoire hydrofuge selon un mode de réalisation de l'invention,
- [0043] La [Fig.4] est vue schématique en perspective de l'aube de la [Fig.2] recouverte d'une couche provisoire hydrofuge selon un autre mode de réalisation de l'invention,
- [0044] La [Fig.5] est vue schématique partielle et en coupe axiale de l'aube de la [Fig.3] ou [Fig.4], dans laquelle est représentée schématiquement et en agrandie un exemple d'un système barrière thermique recouvrant au moins une partie du corps de l'aube de la [Fig.3] ou [Fig.4],
- [0045] La [Fig.6] est un diagramme des étapes du procédé de fabrication de l'aube de la [Fig.2].
- [0046] Les éléments ayant les mêmes fonctions dans les différentes mises en œuvre ont les mêmes références dans les figures.

Description détaillée de l'invention

- [0047] Par convention, dans la description ci-après, les termes « longitudinal » et « axial » qualifient l'orientation d'éléments structurels s'étendant selon la direction d'un axe longitudinal, tel qu'un axe longitudinal du moteur d'une turbomachine d'un ensemble

propulsif d'aéronef. Les termes « radial » ou « vertical » qualifient une orientation d'éléments structurels s'étendant selon une direction perpendiculaire à l'axe longitudinal. Les termes « intérieur » et « extérieur », et « interne » et « externe » sont utilisés en référence à un positionnement par rapport à l'axe longitudinal. Ainsi, un élément structurel s'étendant selon l'axe longitudinal comporte une surface intérieure tournée vers l'axe longitudinal et une surface extérieure, opposée à sa surface intérieure. De même, les termes « amont » et « aval » sont définis par rapport au sens de circulation de l'air dans la turbomachine.

- [0048] Dans la description qui suit, l'invention s'applique à une aube pour une turbomachine, en particulier d'aéronef. Par exemple, la turbomachine peut être un turbo-réacteur ([Fig.1]), un turbopropulseur ou un turbomoteur (non illustrés).
- [0049] La [Fig.1] représente une turbomachine 1 de type turbo-réacteur à double flux constituant un exemple de turbomachine selon l'invention. La turbomachine 1 s'étend selon un axe principal X. La turbomachine 1 comporte, d'amont en aval dans le sens de la circulation du flux d'air représenté par la flèche F, une soufflante 2, un compresseur basse pression 3, un compresseur haute pression 4, une chambre de combustion 5, une turbine haute pression 6 et une turbine basse pression 7. Le passage d'un flux d'entrée d'air F dans la soufflante 2 se divise en un flux primaire F1 (dit flux d'air froid) et un flux secondaire F2 (dit flux d'air chaud) dans la turbomachine 1.
- [0050] Les turbines basse pression 6 et haute pression 7 comportent chacune une pluralité d'aubes 8, dites mobiles, montées notamment sur un disque lié à un arbre d'entraînement de la turbomachine 1.
- [0051] Les turbines basse pression et haute pression 7 peuvent comprendre un ou plusieurs distributeurs. Chaque distributeur peut comprendre des aubes, dites fixes.
- [0052] La [Fig.2] illustre un exemple de l'aube 8 mobile destinée à être assemblée dans la turbomachine 1.
- [0053] Bien que la description qui suit concerne une aube 8 mobile (par exemple des turbines haute pression et/ou basse pression), elle peut s'appliquer aux aubes de distributeur.
- [0054] Cette aube 8 comprend un corps 80 réalisé dans un alliage métallique. Le corps 80 comprend une pale 84.
- [0055] Le corps 80 peut comprendre aussi un pied 82 dans le cas des aubes mobiles, tel qu'illustré sur la [Fig.2]. En variante (non illustrée sur les figures), le corps 80 peut comprendre des plateformes de fixation reliées à la pale 84, par exemple dans le cas des aubes des distributeurs. Ces plateformes de fixation sont configurées pour s'attacher chacune à un organe de la turbomachine (tel qu'un carter de turbomachine).
- [0056] La pale 84 (et notamment l'aube 8) s'étend suivant un axe d'allongement A. Cet axe A est sensiblement perpendiculaire à l'axe X. La pale 84 comprend un intrados 842 et

un extradados 844 reliés entre eux par un bord d'attaque 846 et un bord de fuite 848 de la pale 84.

- [0057] Sur l'exemple de la [Fig.2], la pale 84 est à profil aérodynamique, c'est-à-dire que la pale 84 présente un profil incurvé d'épaisseur variable entre son bord d'attaque 846 et son bord de fuite 848.
- [0058] La [Fig.2] représente une plateforme 86 reliant la pale 84 au pied 82, de façon monobloc (c'est-à-dire venue de matière).
- [0059] Tel que décrit dans ce qui précède, afin de mieux résister à un environnement de fonctionnement de température extrême, le corps d'aube 8 peut comprendre au moins un des éléments suivants :
 - un ou plusieurs circuits de ventilation 88 formés par exemple à l'intérieur du corps d'aube,
 - des orifices de passage d'air 89 sur l'aube qui sont par exemples traversants et formés sur la pale 84 (tel que sur le bord de fuite 848 sur la [Fig.2]),
 - au moins un système barrière thermique 9 recouvrant au moins une partie du corps d'aube 8.
- [0060] Le ou les circuits internes de ventilation 88 peuvent être reliés aux orifices de passage d'air 89.
- [0061] Le système barrière thermique 9 peut recouvrir l'ensemble ou une partie de la pale 84 et/ou de la plateforme 86 et/ou du pied 82 (dans le cas des aubes mobiles) et/ou au moins une des plateformes de fixation (dans le cas des aubes de distributeur).
- [0062] De préférence, les orifices de passage d'air 89 sont dans une ou plusieurs zones de l'aube 8 qui sont dépourvues du revêtement 9 de barrière thermique.
- [0063] Le système barrière thermique 9 recouvrant le corps d'aube peut être tout type de matériau sensible à l'eau.
- [0064] A titre d'exemple non limitatif ([Fig.5]), le système barrière thermique 9 comprend :
 - une couche de liaison 92,
 - une couche d'alumine (Al_2O_3) 94, et
 - un revêtement céramique 96.
- [0065] La couche de liaison 92 (ou dit autrement sous-couche de liaison) peut être située sur le corps de l'aube 8. Cette couche de liaison 92 peut comprendre un alliage de nickel-aluminium (par exemple de type $\beta\text{-NiAl}$) pouvant être modifié ou non par un des éléments choisis parmi la platine (Pt), hafnium (Hf), zirconium (Zr), yttrium (Y) et silicium (Si) ou des combinaisons de ces éléments. La couche de liaison 92 peut comprendre des alliages d'aluminure (par exemple de type $\gamma\text{-Ni-}\gamma'\text{-Ni}_3\text{Al}$) pouvant être modifiés ou non par un des éléments choisis parmi la platine (Pt), chrome (Cr), hafnium (Hf), zirconium (Zr), yttrium (Y) et silicium (Si) ou des combinaisons de ces éléments. La couche de liaison 92 peut comprendre des alliages de type MCrAlY (avec

M pouvant être du nickel (Ni), cobalt (Co) ou nickel et cobalt (NiCo)).

- [0066] La couche de liaison 92 permet notamment d'assurer une protection contre l'oxydation et/ou la corrosion pouvant se former sur une surface du corps de l'aube.
- [0067] La couche de liaison peut présenter une première épaisseur E_{92} .
- [0068] La couche d'alumine 94 peut être située sur la couche de liaison 92. Cette couche d'alumine 94 peut être fine. Par exemple, la couche d'alumine 94 peut présenter une seconde épaisseur E_{94} inférieure à la première épaisseur E_{92} .
- [0069] Le revêtement céramique 96 peut être située sur la couche d'alumine 94. Ce revêtement céramique 96 peut comprendre plusieurs couches (ou une multicouche) en matériau céramique. Le revêtement céramique 96 peut être à base de zircone, préférentiellement stabilisée à l'oxyde d'yttrium. Le revêtement céramique 96 peut présenter une troisième épaisseur E_{96} .
- [0070] Le revêtement céramique 96 peut ainsi être la couche la plus externe du système barrière thermique 9. Ce revêtement céramique 96 permet d'assurer l'isolation thermique de l'aube revêtue du système barrière thermique. Le revêtement céramique 96 peut permettre de résister aux attaques de l'environnement de fonctionnement (par exemples de l'oxydation, des attaques d'érosion par des particules solides et/ou les gaz chauds, des attaques de corrosion par les dépôts d'oxydes de type CMAS ($\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$), etc.).
- [0071] Le système barrière thermique 9 peut comprendre également une couche de type protection environnementale (non illustrée sur les figures) située sur le revêtement céramique 96. Par exemple cette couche environnementale permet d'assurer une protection du système barrière thermique 9 (ainsi que l'aube 8) contre une corrosion et/ou une oxydation.
- [0072] L'une des particularités de l'invention réside dans le fait qu'au moins une partie du système barrière thermique 9 est recouvert d'au moins une couche provisoire hydrofuge 90 (dite également couche d'hydrofuge 90 dans la suite de la demande). Ce qui permet de protéger efficacement le système barrière thermique 9 de l'aube 8 contre l'eau (sous forme liquide ou de gaz).
- [0073] Tel que décrit précédemment, l'aube 8 comportant la ou les couches d'hydrofuge 90 qui recouvrent au moins une partie du système barrière thermique, n'est pas destinée à être assemblée dans la turbomachine 1. Cette aube 8, qui est illustrée sur les figures 3 à 5, peut être considérée comme une pièce intermédiaire de l'aube 8 finale de la [Fig.2] qui sera assemblée dans la turbomachine 1.
- [0074] La [Fig.3] illustre un exemple d'aube 8 dans lequel la totalité de la pale 84 et de la plateforme 86 est recouverte par la couche d'hydrofuge 90. Dans ce cas, la totalité de la pale 84 et de la plateforme 86 peut être recouverte du système barrière thermique 9, ou seulement une partie de la pale 84 et/ou de la plateforme 86 peut être recouverte du

système barrière thermique 9 et c'est l'ensemble de la pale 84 et de la plateforme 86 qui est recouverte de la couche d'hydrofuge 90 pour faciliter son dépôt.

- [0075] La [Fig.4] illustre un autre exemple de l'aube 8 dans lequel la couche d'hydrofuge 90 recouvre une partie de la pale 84. En particulier, les orifices de passage d'air 89 sont situés dans une zone de l'aube (à savoir au niveau du bord de fuite 848) dépourvue de la couche d'hydrofuge 90.
- [0076] La [Fig.5] illustre un exemple non limitatif d'une disposition de la couche d'hydrofuge 90 sur le système barrière thermique 9 qui recouvre le corps de l'aube 8.
- [0077] La couche d'hydrofuge 90 peut présenter une quatrième épaisseur E_{90} . Cette quatrième épaisseur E_{90} peut être égale ou inférieure à la troisième épaisseur E_{96} du revêtement céramique 96. Ceci peut être suffisant pour isoler et protéger le système barrière thermique de l'eau. Les épaisseurs E_{90} , E_{92} , E_{94} , E_{96} sont mesurés par rapport à un plan transversal à l'axe A.
- [0078] Avantagusement, la couche d'hydrofuge 90 est une couche de cire, de silicone et/ou de plastifiant. Ces matériaux présentent comme avantages d'avoir de bonnes propriétés mécaniques (à savoir étanche à l'eau, adhérence facile sur le revêtement de barrière thermique et n'empêche pas à l'usinage par EDM), un fort pouvoir couvrant et un retrait facile sans endommager le système barrière thermique 9 (notamment le revêtement céramique 96). Par exemple, la couche de cire est une couche de paraffine ou de cire d'abeille.
- [0079] La présente demande va maintenant décrire un procédé de fabrication de l'aube 8 pour la turbomachine 1.
- [0080] Le procédé comprend des étapes consistant à :
- (a) fournir une aube 8 comprenant un corps 80 réalisé dans un alliage métallique,
 - (b) déposer le système barrière thermique 9 sur au moins une partie du corps 80,
 - (c) déposer au moins une couche provisoire hydrofuge 90 sur le système barrière thermique 9 pour obtenir l'aube 8 décrite ci-dessus en référence aux figures 3 à 5, et
 - (e) retrait total de la ou des couches d'hydrofuge 90.
- [0081] Tel que décrit en référence aux figures 2 à 4, le corps 80 de l'étape (a) comprend donc la pale 84 présentant l'intrados 842 et l'extrados 844 reliés entre eux par son bord d'attaque 846 et son bord de fuite 848. Le corps 80 peut comprendre le pied 82 en référence à l'aube de la [Fig.2]. En variante, le corps 80 peut comprendre des plateformes de fixation par exemple dans le cas des aubes des distributeurs.
- [0082] La [Fig.6] illustre toutes les étapes du procédé de fabrication de l'aube 8 destinée à être assemblée dans la turbomachine 1. Les étapes préférentielles du procédé sont représentées en pointillée sur la [Fig.6].
- [0083] L'étape (c) de dépôt de la ou des couches d'hydrofuge 90 peut comprendre les sous étapes suivantes de :

(c₁) une immersion d'au moins une partie de l'aube 8 dans un bain contenant un matériau hydrofuge sous forme liquide,

(c₄) un séchage de l'aube 8 pour former la couche d'hydrofuge 90 sur au moins une partie du système barrière thermique 9 (tel qu'illustré sur les figures 3 et 4).

[0084] L'étape (c₄) peut être réalisée avec un temps de séchage compris entre 30 minutes et 1 heure.

[0085] A titre d'exemple, pour une couche d'hydrofuge à base de cire de paraffine, l'étape (c₁) est réalisée en immergeant la ou les zones à protéger (par exemple toute la pale et la plateforme en référence à la [Fig.3]) dans un bain de cire de type paraffine. Ce bain de cire est composé à 100% en volume de cire et à une température de 60°C. Puis, le temps de séchage est d'environ 1 heure à température ambiante.

[0086] L'étape (c) peut comprend également une sous étape (c₂) de mise sous vide de l'aube 8 comportant de la couche d'hydrofuge 90. Cette sous-étape (c₂) est réalisée avant la sous étape (c₄), notamment dans une chambre sous vide. Par exemple, la sous étape (c₂) est réalisée avec une pression prédéterminée d'environ 10 mbar. Cette sous étape (c₂) permet de faciliter le dépôt de matériau hydrofuge à l'intérieur des orifices de passage d'air 89.

[0087] L'étape (c) peut comprend aussi une sous-étape (c₃) de répétition de la sous-étape (c₁) seule ou des sous étapes (c₁) et (c₂). Cette sous étape (c₃) est avant la sous étape (c₄) de retrait total de la couche d'hydrofuge 90 ou avant la sous étape (c₂) de mise sous vide. Afin d'obtenir la quatrième épaisseur E₉₀ suffisante pour former une barrière d'étanchéité à l'eau, au moins une des sous étapes (c₁) et (c₂) sont réitérées une ou plusieurs fois.

[0088] Le procédé de fabrication peut comprendre en outre une étape (d) d'usinage de la pale 84 par exemple pour réaliser (ou ré-usiner) des orifices de passage d'air 89. Cette étape (d) est réalisée avant l'étape (e).

[0089] L'étape (d) peut comprendre les sous étapes suivantes :

(d₁) une immersion d'au moins une partie de l'aube 8 dans un récipient d'eau, et

(d₂) un usinage de l'aube 8 par électroérosion (EDM) pour former notamment les orifices de passage d'air 89.

[0090] Une étape (i) de retrait partiel de la couche d'hydrofuge 90 peut être réalisée avant l'étape (d), notamment en retirant la couche d'hydrofuge 90 située au niveau des orifices de passage d'air 89 ([Fig.4]). Cette étape (i) permet de faciliter la création de décharge électrique pour l'usinage par EDM.

[0091] A titre d'exemple, le retrait partiel et/ou total de la couche d'hydrofuge 90 peut être réalisé par au moins une des méthodes suivantes :

- manuellement par opérateur,
- un outil de découpe,

- chauffage à une température de sublimation prédéfinie du matériau hydrofuge.

[0092] Par exemple, pour une couche d'hydrofuge à base de cire de paraffine, la température de sublimation est d'environ 600°C pour retirer la couche d'hydrofuge 90 sans endommager le système de barrière thermique 9.

[0093] Avantageusement, le matériau hydrofuge est choisi avec une température de sublimation inférieure à environ 800°C.

[0094] L'invention n'est toutefois pas limitée à une aube 8 mobile de turbines 6, 7, et peut être appliquée à toutes les aubes ou pales de turbomachine qui sont recouvertes au moins en partie d'un système barrière thermique et nécessitant d'être protégé contre l'eau. Par exemple, l'invention peut être appliquée sur des pales (non illustrées sur les figures) d'un distributeur haute pression (située notamment dans la turbine haute pression 6) de la turbomachine.

Revendications

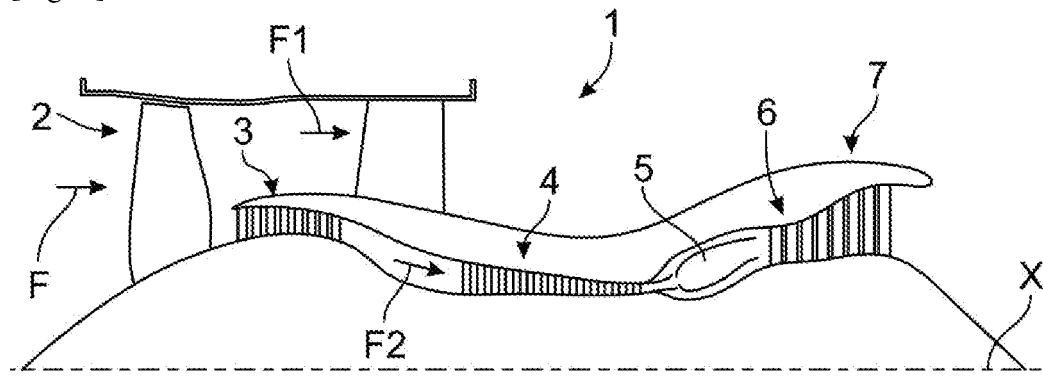
- [Revendication 1] Aube (8) pour une turbomachine (1), en particulier d'aéronef, l'aube (8) comprenant un corps (80) réalisé dans un alliage métallique et au moins en partie recouvert par au moins un système barrière thermique (9), ce corps (80) comprenant une pale (84) s'étendant suivant un axe d'allongement (A) et présentant un intrados (842) et un extrados (844) reliés entre eux par un bord d'attaque (846) et un bord de fuite (848) de la pale (84), et caractérisée en ce qu'au moins une partie du système barrière thermique (9) est recouvert d'au moins une couche provisoire hydrofuge (90).
- [Revendication 2] Aube selon la revendication 1, caractérisée en ce que ledit au moins un système barrière thermique (9) comprend une couche de liaison (92) située sur le corps (80) de l'aube, une couche d'alumine (94) située sur la couche de liaison (92) et un revêtement céramique (96) située sur la couche d'alumine (94).
- [Revendication 3] Aube selon la revendication 2, caractérisée en ce que ledit revêtement céramique (96) comprend une multicouche en céramique.
- [Revendication 4] Aube selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que ladite au moins une couche hydrofuge (90) est une couche de cire, de silicone et/ou de plastifiant.
- [Revendication 5] Aube selon la revendication 4, caractérisée en ce que la couche de cire est une couche de paraffine ou de cire d'abeille.
- [Revendication 6] Aube selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un circuit interne de ventilation (88) relié à des orifices de passage d'air (89), ces orifices (89) étant situées dans une zone dépourvue de ladite couche hydrofuge (90).
- [Revendication 7] Procédé de fabrication d'une aube (8) pour une turbomachine (1), en particulier d'aéronef, le procédé comportant des étapes comprenant :
- une fourniture (a) de l'aube (8) comprenant un corps (80) réalisé dans un alliage métallique, ce corps (80) comprenant une pale (84) s'étendant suivant un axe d'allongement (A) et présentant un intrados (842) et un extrados (844) reliés entre eux par un bord d'attaque (846) et un bord de fuite (848) de la pale (84),
 - un dépôt (b) du système barrière thermique (9) sur au moins une partie du corps (80),
 - un dépôt (c) d'au moins une couche provisoire hydrofuge (90) sur ledit système barrière thermique (9) pour obtenir une aube (8) selon l'une des

revendications précédentes, et

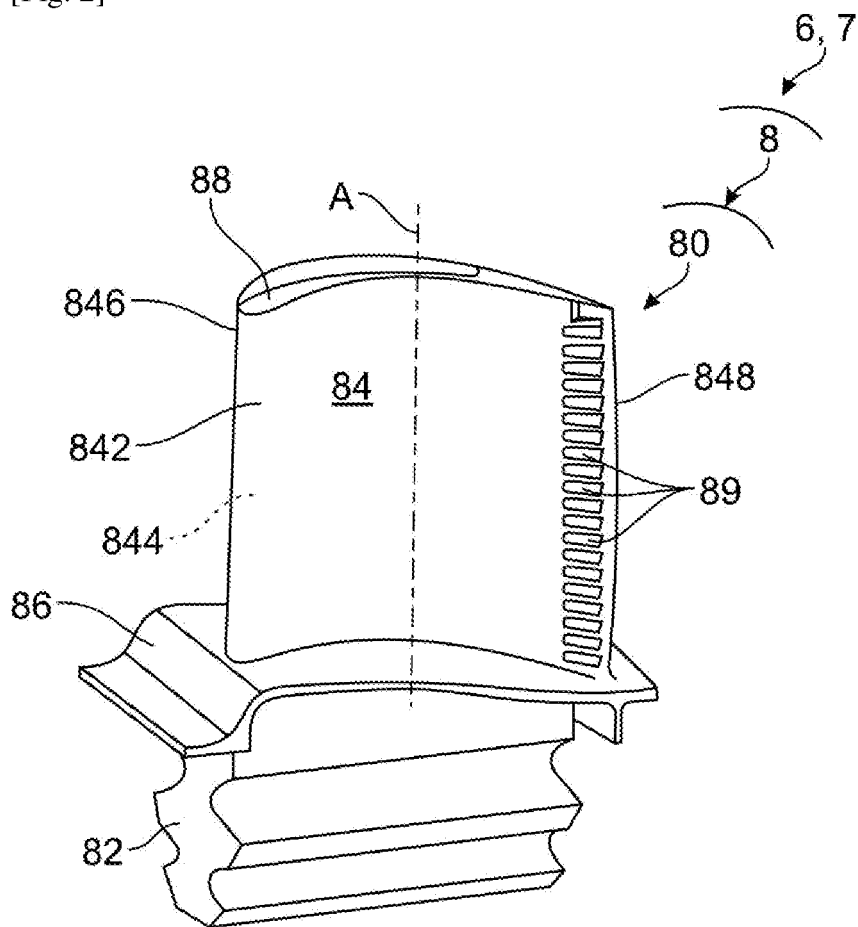
- une étape (e) de retrait total de ladite au moins une couche d'hydrofuge (90).

- [Revendication 8] Procédé de fabrication selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'étape (e) de retrait est précédée d'une étape (d) d'usinage de la pale (84) en vue de réaliser des orifices de passage d'air (89).
- [Revendication 9] Procédé de fabrication selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'étape (d) d'usinage est précédée d'une étape (i) de retrait partiel de ladite au moins une couche d'hydrofuge (90).
- [Revendication 10] Procédé de fabrication selon l'une quelconques des revendications 7 à 9, caractérisé en ce que le retrait partiel et/ou total de ladite couche d'hydrofuge (90) est réalisé manuellement, par un outil de découpe et/ou par chauffage à une température de sublimation prédéfinie du matériau hydrofuge.
- [Revendication 11] Procédé de fabrication selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce que l'usinage comprend les sous-étapes de :
 (d₁) une immersion d'au moins une partie de l'aube (8) dans un récipient d'eau, et
 (d₂) un usinage de l'aube (8) par électroérosion pour former les orifices de passage d'air (89).
- [Revendication 12] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 7 à 11, caractérisé en ce que le dépôt de ladite au moins une couche hydrofuge (90) comprend les sous étapes de :
 (c₁) une immersion d'au moins une partie de l'aube (8) dans un bain contenant un matériau hydrofuge sous forme liquide,
 (c₄) un séchage de l'aube (8) pour former ladite couche hydrofuge (90).
- [Revendication 13] Procédé de fabrication selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comprend, avant la sous-étape (c₄), une sous-étape (c₂) de mise sous vide de l'aube (8) comportant de ladite couche hydrofuge (90).
- [Revendication 14] Procédé de fabrication selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce qu'il comprend, avant la sous-étape (c₄) ou avant la sous-étape (c₂), une sous-étape (c₃) de répétition de la sous-étape (c₁) ou des sous-étapes (c₁) et (c₂).

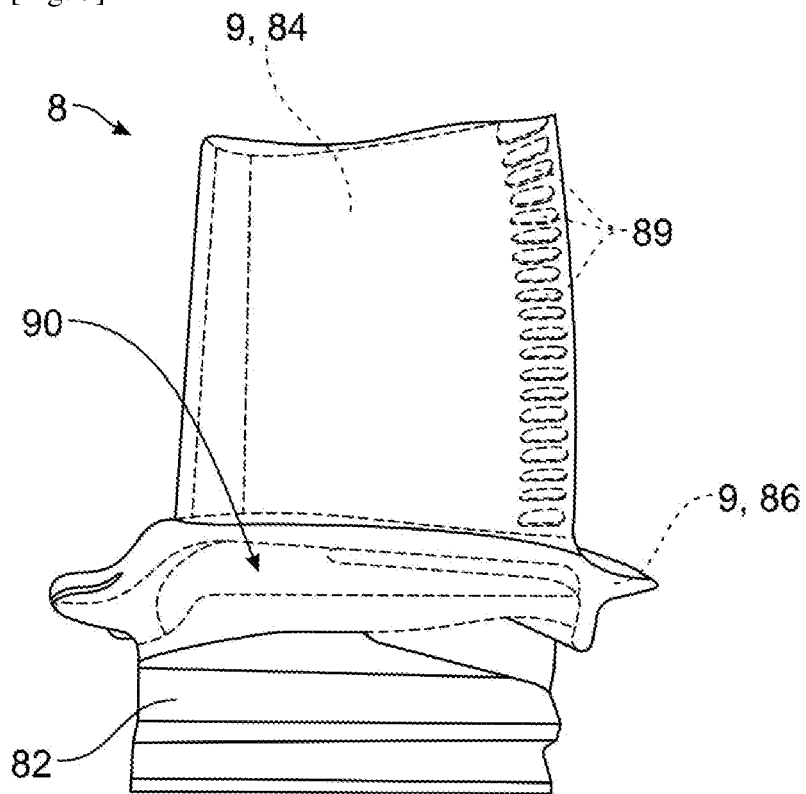
[Fig. 1]



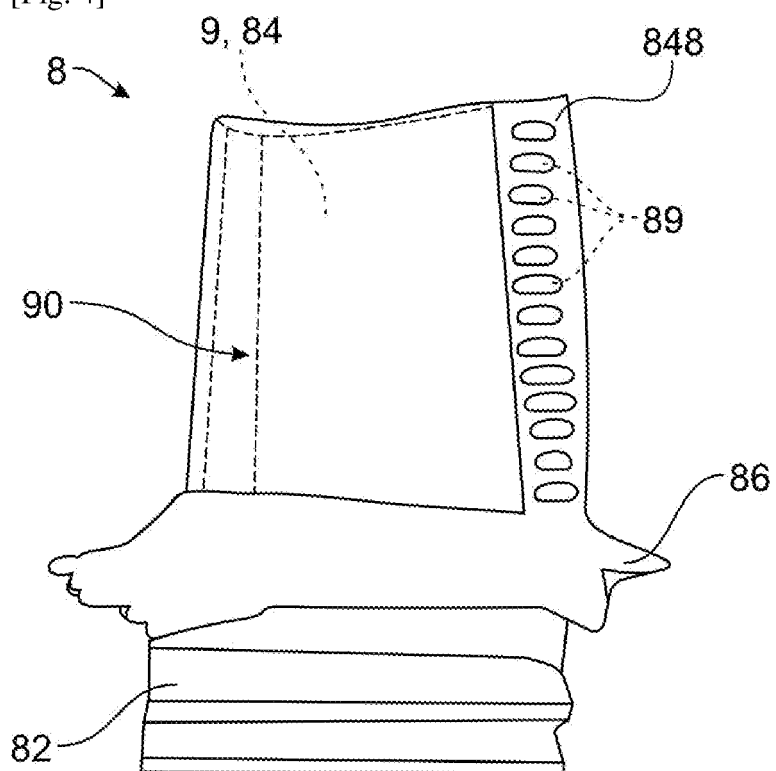
[Fig. 2]



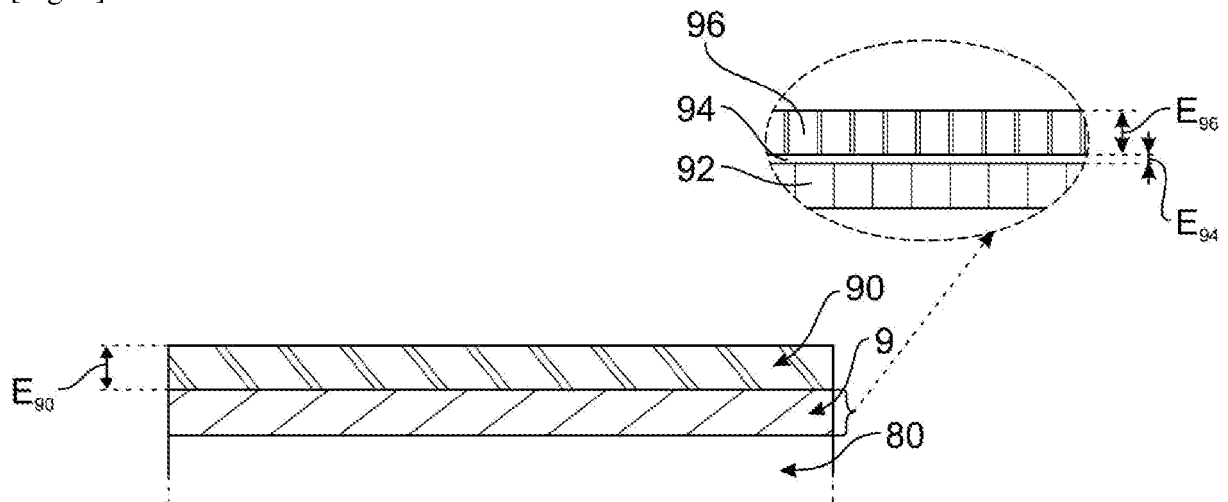
[Fig. 3]



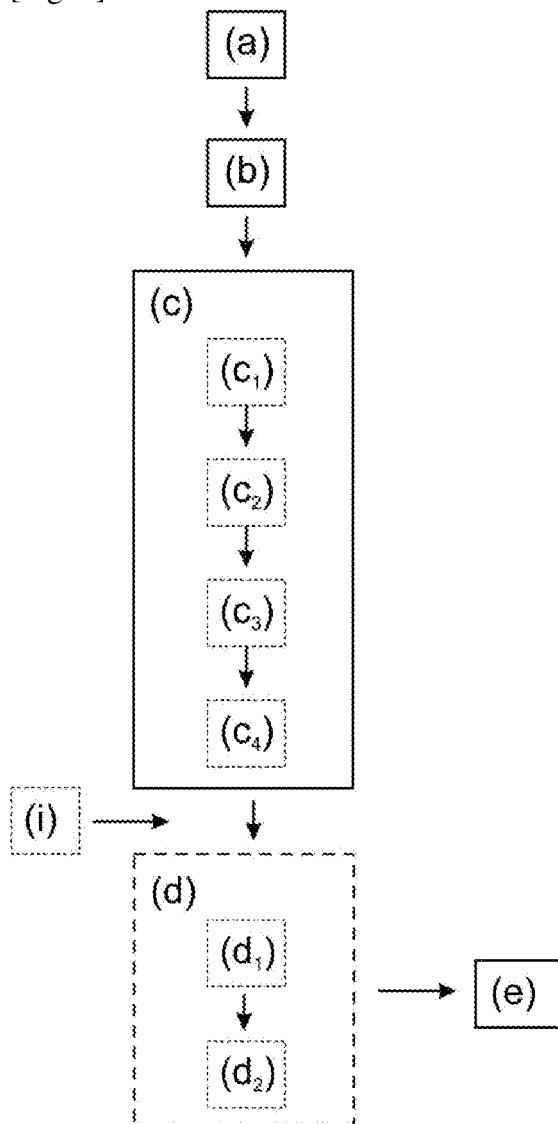
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 914685
FR 2212571

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	US 5 813 118 A (ROEDL LAWRENCE J [US] ET AL) 29 septembre 1998 (1998-09-29) * colonne 1, lignes 37-62 * * page 2, lignes 10-22 * * colonne 4, ligne 10 - colonne 5, ligne 28; figure 2 *	1, 4, 7, 10, 12	B23P 15/02 F01D 5/18
X	EP 2 216 509 A1 (SIEMENS AG [DE]) 11 août 2010 (2010-08-11) * alinéas [0011] - [0019]; figures 3, 4 *	1, 7, 10	
X	EP 1 803 838 A2 (GEN ELECTRONIC CO [US]) 4 juillet 2007 (2007-07-04) * alinéas [0003], [0012] - [0014], [0019] - [0021]; figures 1, 2 *	1, 4, 5, 7, 10, 12	
X	US 2021/156275 A1 (WHITTLE MICHAEL J [GB] ET AL) 27 mai 2021 (2021-05-27) * alinéas [0017], [0047], [0050], [0060]; figure 7 *	1, 4, 6, 7, 10	
X	US 2005/235493 A1 (PHILIP VINOD [US] ET AL) 27 octobre 2005 (2005-10-27) * alinéas [0007] - [0009]; figures 1a-e *	1, 7	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) F01D
X	US 2019/092701 A1 (GONG STEPHANIE [US] ET AL) 28 mars 2019 (2019-03-28) * alinéas [0018] - [0036], [0048], [0052]; figure 1 *	1-3	
A	EP 2 604 377 A1 (SIEMENS AG [DE]) 19 juin 2013 (2013-06-19) * alinéas [0011] - [0018]; figure 1 *	1-14	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
21 juillet 2023		Teusch, Reinhold	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2212571 FA 914685**

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 **21-07-2023**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5813118	A	29-09-1998	AUCUN	
EP 2216509	A1	11-08-2010	EP 2216509 A1	11-08-2010
			EP 2394027 A1	14-12-2011
			US 2012099978 A1	26-04-2012
			WO 2010089183 A1	12-08-2010
EP 1803838	A2	04-07-2007	AU 2006252173 A1	10-07-2008
			CN 101012565 A	08-08-2007
			EP 1803838 A2	04-07-2007
			JP 4885701 B2	29-02-2012
			JP 2007182629 A	19-07-2007
			US 2007151948 A1	05-07-2007
US 2021156275	A1	27-05-2021	AUCUN	
US 2005235493	A1	27-10-2005	AUCUN	
US 2019092701	A1	28-03-2019	AUCUN	
EP 2604377	A1	19-06-2013	CN 103157907 A	19-06-2013
			EP 2604377 A1	19-06-2013
			US 2013153555 A1	20-06-2013