

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

**3 131 731**

②1 N° d'enregistrement national : **22 00185**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **B 64 C 11/06 (2022.01), F 04 D 29/36**

⑫

**DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 11.01.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 14.07.23 Bulletin 23/28.

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 AIRCRAFT ENGINES SAS  
— FR.

⑦2 Inventeur(s) : GRANGE, Hugo Nicolas-Arthur, COT-  
TET, Clément, COURTIER, Vivien Mickaël, JOUDON,  
Vincent et SERVANT, Régis Eugène Henri.

⑦3 Titulaire(s) : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES SAS.

⑦4 Mandataire(s) : GEVERS & ORES.

⑤4 **SYSTÈME DE COMMANDE DU CALAGE ANGULAIRE D'UNE AUBE D'HELICE POUR UNE TURBOMACHINE D'AERONEF.**

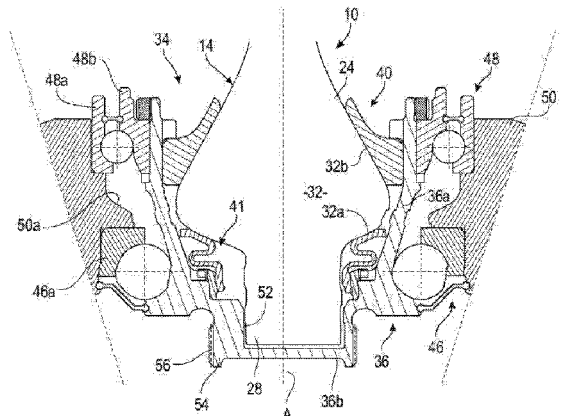
⑤7 Système (34) de commande du calage angulaire d'une aube (10) d'hélice, pour une turbomachine d'aéronef, ledit système de commande (34) comprenant :

- une aube (10) comportant une pale (12) reliée à un pied (14),

- un bol (36) s'étendant autour dudit axe de calage (A), le bol (36) comportant un logement interne de réception du pied (14) de l'aube (10), et

- des éléments (40, 41) de fixation du pied (14) de l'aube (10) au bol (36), ces éléments de fixation (40, 41) comportant des éléments annulaires (41, 40) montés à l'intérieur du bol (36) et prenant appui axialement sur le pied (14), caractérisé en ce que l'un de ces éléments (41) comprend au moins deux lames (60, 62, 64) élastiquement déformables qui sont au moins partiellement superposées en direction axiale et qui sont configurées pour assurer une précharge axiale du pied (14) de l'aube (10) à l'intérieur du bol (36).

Figure pour l'abrégié : Figure 4



FR 3 131 731 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : SYSTÈME DE COMMANDE DU CALAGE ANGULAIRE D'UNE AUBE D'HELICE POUR UNE TURBOMACHINE D'AERONEF**

#### **Domaine technique de l'invention**

[0001] La présente invention concerne le domaine des turbomachines d'aéronef et en particulier un système de commande du calage angulaire d'une aube d'hélice pour une turbomachine d'aéronef.

#### **Arrière-plan technique**

[0002] L'état de l'art comprend notamment les documents FR-A1-3 017 163 et FR-A1-3 080 322.

[0003] Une hélice de turbomachine d'aéronef peut être carénée, comme c'est le cas d'une soufflante par exemple, ou non carénée comme c'est le cas d'une architecture du type open-rotor par exemple.

[0004] Une hélice comprend des aubes qui peuvent être à calage variable. La turbomachine comprend alors un mécanisme permettant de modifier l'angle de calage des aubes afin d'adapter la poussée générée par l'hélice en fonction des différentes phases de vol.

[0005] La conception d'une aube d'hélice met en jeu plusieurs disciplines dont les objectifs sont généralement antagonistes. Elle doit permettre des performances aérodynamiques optimales (c'est-à-dire fournir une poussée en maximisant le rendement), garantir une tenue mécanique de l'aube (c'est-à-dire tenir les contraintes mécaniques résultant des chargements statiques et dynamiques) tout en limitant la masse ainsi que la signature acoustique. En particulier, l'amélioration des performances aérodynamiques de l'hélice tend vers une augmentation du BPR (*By Pass Ratio*), ce qui se traduit par une augmentation de son diamètre externe et donc de l'envergure des aubes. Or l'augmentation du BPR va de pair avec la réduction du FPF (*Fan Pressure Ratio*). Par conséquent, un système de changement de pas (aube à calage variable) est généralement requis pour que l'hélice soit opérable sur tout le domaine de vol.

[0006] Dans le même temps, sur certaines architectures de turbomachine à hélice, le démarrage moteur est effectué à un calage très ouvert, dit en drapeau. En effet, cette position de démarrage permet de consommer la puissance par le couple ce qui assure la sécurité machine en garantissant des régimes d'hélice faibles. Plus précisément, selon des considérations simples, la puissance est proportionnelle au produit du régime et du couple. Or, le couple est croissant avec l'incidence qui peut être augmentée via le calage. En effet, l'homme du métier en aérodynamique comprend que l'effort résultant sur un profil de pale est en première approximation perpendiculaire à la corde et peut

se décomposer en deux composantes: la poussée selon l'axe moteur et la trainée de la pale dans le plan de l'hélice. Ainsi, avec l'augmentation du calage des aubes, l'effort résultant se déplace vers le plan d'hélice ce qui a pour effet d'augmenter la trainée du profil aérodynamique et de diminuer la poussée.

- [0007] Par conséquent, dans le cas d'un démarrage en drapeau, la poussée générée par l'hélice est nulle, le couple est maximal et le régime minimal. Cependant, l'incidence devient tellement importante que les pales subissent alors un écoulement aérodynamique turbulent fortement décollé qui génère une forte excitation vibratoire. Cette excitation est à la fois large bande de par les petits vortex de la zone décollée, mais également intense sur certaines fréquences particulières dues aux grosses recirculations de Karman qui viennent faire osciller l'effort aérodynamique de façon importante. En particulier, sur des pales à large corde et de grande envergure qui génèrent beaucoup de trainée, cet effort est intense bien que le régime ne soit pas élevé.
- [0008] Dans la technique actuelle, il est courant de fixer une aube à son support par une attache dite brochée. L'aube comprend un pied qui a une forme générale en queue d'aronde et qui est destiné à être engagé par complémentarité de formes dans une alvéole du support, cette alvéole étant classiquement réalisée par brochage.
- [0009] Pour une pale à attache brochée, cet effort aérodynamique est tellement intense qu'il peut provoquer des mouvements de solide rigide du pied d'aube dans son alvéole qui s'apparentent à du rotulage. En effet, lors d'un démarrage en drapeau, le régime réduit de la soufflante ne permet pas de générer un effort centrifuge suffisant pour empêcher ces mouvements induits par l'effort aérodynamique. Il s'en suit un risque d'endommagement par frottement de la pale et de la cale intercalée entre le pied et le fond de l'alvéole, pouvant réduire la durée de vie de la pale. Pour les mêmes raisons, cette problématique se pose éventuellement en situation d'entraînement en roue libre (ou « *windmilling* ») suite à une panne moteur car les aubes à calage variable sont généralement équipées d'un système de rappel en drapeau.
- [0010] De plus, une excitation vibratoire intense peut également survenir à des régimes de rotation beaucoup plus élevés sur les architectures non carénées à cause des effets d'installation du moteur sur l'aéronef et de la direction de l'écoulement infini amont. En effet, un moteur non caréné subit l'influence du sol et du fuselage ce qui provoque une distorsion dans l'alimentation de l'hélice, en vitesse d'écoulement, selon les azimuts moteur. Cela entraîne une réponse vibratoire des aubes d'hélice sur les premiers ordres moteurs 1N, 2N et 3N (éventuellement plus). D'autre part, en l'absence de manche d'entrée d'air, la direction de l'air qui s'écoule à travers les pales n'est pas parallèle à l'axe moteur. Cet angle de dérapage entraîne des efforts dits « 1P » qui provoquent une réponse vibratoire des aubes d'hélice sur l'ordre moteur 1N. De façon similaire, ces efforts 1P peuvent également apparaître lors des phases de

montées ou d'approche de l'avion car l'air s'écoule à travers les pales avec un angle d'incidence. Ces excitations vibratoires à régime de rotation élevées peuvent provoquer les mêmes risques de réduction de durée de vie des aubes après des endommagements par frottement évoqués ci-dessus si l'attache de l'aube n'est pas adaptée.

- [0011] Pour l'ensemble de ces raisons, l'attache brochée peut poser des difficultés de conception et/ou de mise au point pour des aubes d'hélice à calage variable, à large corde et de grande envergure.
- [0012] Il existe d'autres technologies d'attache d'une aube d'hélice à calage variable qui permette de limiter le rotulage de l'aube lors des phases de vol qui sont susceptibles d'exciter les modes vibratoires de l'aube.
- [0013] L'une de ces technologies consiste à utiliser un pied 14 d'aube en forme de bulbe 32 (voir figures 1 et 2). Le bulbe 32 du pied 14 a une forme générale bombée et comprend deux portées périphériques, respectivement inférieure 32a et supérieure 32b.
- [0014] Le système 34 de commande du calage angulaire de l'aube comprend un bol 36 comportant un logement interne de réception du pied 14 de l'aube 10, et des éléments 40, 41 de fixation du pied de l'aube au bol (voir [Fig.3]). Un premier élément annulaire 41 est monté à l'intérieur du bol 36 prend appui axialement sur la portée inférieure 32a du pied 32. Un second élément annulaire 40 est monté à l'intérieur du bol 36 et prend appui axialement sur la portée supérieure 32b du pied 32.
- [0015] Le premier élément 41 est configuré pour appliquer un effort de précharge sous le pied 32 d'aube. Cet effort de précharge doit être suffisamment conséquent pour inhiber les potentiels mouvements de rotulage. Le premier élément 41 doit donc avoir une limite élastique suffisamment importante pour supporter un tel effort sans se plastifier.
- [0016] L'effort de précharge doit être conservé aux régimes de rotation les plus élevés qui correspondent aux chargements maximaux en effort centrifuge. Cet effort centrifuge est appliqué dans la même direction et dans le même sens que l'effort de précharge. Cependant, l'effort centrifuge induit une déformation en compression du pied de pale. Ce dernier a donc tendance à s'éloigner du premier élément 41 et potentiellement mener à la perte de la précharge par détente de celle-ci. Pour conserver sa fonction, le système de précharge doit donc disposer d'une souplesse suffisante dans la direction radiale pour s'adapter à la déformation subie par le pied de pale afin d'assurer au maximum la continuité du transfert de l'effort de précharge.
- [0017] Pour l'ensemble de ces raisons, le système de précharge des aubes d'hélice à calage variable, en particulier à large corde et de grande envergure doit faire preuve :
- [0018] - d'une haute résistance élastique afin de transférer l'effort de précharge sans plastifier,
- [0019] - d'une souplesse suffisante afin de s'adapter aux déformations radiales du pied d'aube.

[0020] L'invention a notamment pour but de proposer une solution à ce problème, qui soit simple, efficace et économique.

### **Résumé de l'invention**

[0021] L'invention concerne un système de commande du calage angulaire d'une aube d'hélice, pour une turbomachine d'aéronef, ledit système de commande comprenant :

[0022] - une aube comportant une pale reliée à un pied, l'aube comportant un axe de calage sensiblement radial par rapport audit premier axe, ledit pied comportant un bulbe qui a une forme générale bombée et comprend deux portées périphériques, respectivement inférieure et supérieure, qui s'étendent autour dudit axe,

[0023] - un bol s'étendant autour dudit axe de calage, le bol comportant un logement interne de réception du pied de l'aube, et

[0024] - des éléments de fixation du pied de l'aube au bol, ces éléments de fixation comportant :

[0025] + un premier élément annulaire monté à l'intérieur du bol, ce premier élément s'étendant autour de l'axe et prenant appui axialement sur la portée inférieure du pied, et

[0026] + un second élément annulaire monté à l'intérieur du bol, ce second élément s'étendant autour de l'axe A et prenant appui axialement sur la portée supérieure du pied,

[0027] caractérisé en ce que ledit premier élément comprend au moins deux lames élastiquement déformables qui sont au moins partiellement superposées en direction axiale et qui sont configurées pour assurer une précharge axiale du pied de l'aube à l'intérieur du bol.

[0028] Dans la présente demande, on entend par « superposées » ou « superposition », le fait que les lames se recouvrent mutuellement. Ce recouvrement a lieu en direction axiale, c'est-à-dire par rapport à l'axe de calage de l'aube. Ceci signifie qu'une des lames recouvre une autre lame et se situe au-dessus d'elle par exemple. Le recouvrement peut être total ou partiel selon la forme des lames et leurs positions les unes par rapport aux autres.

[0029] La superposition axiale des lames permet de conférer une certaine souplesse au premier élément tout en renforçant sa résistance élastique. L'invention permet ainsi de garantir la précharge du pied d'aube pendant toutes les phases de vol.

[0030] L'invention permet ainsi d'améliorer l'attache de l'aube afin de limiter son rotulage lors de toutes les phases de vol qui sont susceptibles d'exciter les modes vibratoires.

[0031] Le système de commande selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres, ou en combinaison les unes avec les autres :

- [0032] - chacune des lames a une forme annulaire et s'étend autour dudit axe,
- [0033] - chacune des lames a un diamètre interne qui est supérieur ou égal au diamètre interne minimal du premier élément, et un diamètre externe qui est inférieur ou égal au diamètre externe maximal du premier élément,
- [0034] - les lames sont au nombre de deux et ont en section une forme en C, l'une des lames étant une lame inférieure et étant reliée par sa périphérie interne ou externe à l'autre des lames qui est une lame supérieure,
- [0035] - les lames sont au nombre de deux et définissent entre elles un espace annulaire fermé, l'une des lames étant une lame inférieure et étant reliée par ses périphéries interne et externe à l'autre des lames qui est une lame supérieure,
- [0036] - les lames sont au nombre de trois et ont en section une forme en S, l'une des lames étant une lame intermédiaire et étant reliée par sa périphérie interne, ou externe respectivement, à une autre des lames qui est une lame supérieure, et par sa périphérie externe, ou interne respectivement, à une autre des lames qui est une lame inférieure,
- [0037] - les lames sont au nombre de quatre, cinq, voire plus, et comprennent une lame supérieure, une lame inférieure et au moins deux lames intermédiaires,
- [0038] - la lame supérieure est en appui axial sur la portée inférieure et a une forme générale tronconique ou incurvée concave vers le haut,
- [0039] - la lame inférieure a une forme générale plane ou tronconique,
- [0040] - le premier élément comprend à son extrémité inférieure un filetage externe de vissage dans le bol, et
- [0041] -- le premier élément comprend à son extrémité supérieure une surépaisseur axiale.
- [0042] La présente invention concerne également une hélice pour une turbomachine d'aéronef, cette hélice comportant ;
- [0043] - un moyeu s'étendant autour d'un premier axe et comportant des orifices répartis autour de ce premier axe, chacun de ces orifices ayant une orientation sensiblement radiale par rapport audit premier axe et traversant ledit moyeu,
- [0044] - un système de commande tel que décrit dans ce qui précède qui est monté dans chacun desdits orifices,
- [0045] - des paliers de guidage du système de commande qui sont montés dans chacun desdits orifices,
- [0046] -- les lames sont en bourrelet.
- [0047] La présente invention concerne encore une turbomachine, en particulier d'aéronef, comportant au moins un système de commande ou une hélice tel que décrit ci-dessus.

### **Brève description des figures**

- [0048] D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description qui suit d'un mode de réalisation non limitatif de l'invention en référence aux dessins annexés sur

lesquels :

- [0049] [Fig.1] la [Fig.1] est une vue schématique en perspective d'une aube d'hélice pour une turbomachine d'aéronef,
- [0050] [Fig.2] la [Fig.2] est une vue à plus grande échelle d'une partie de la [Fig.1] et montre le pied de l'aube,
- [0051] [Fig.3] la [Fig.3] est une vue schématique en coupe transversale montrant partiellement une hélice et d'un système de commande du calage angulaire d'une aube de cette hélice,
- [0052] [Fig.4] la [Fig.4] est une vue schématique en coupe transversale montrant partiellement une hélice et d'un système de commande du calage angulaire d'une aube de cette hélice, selon un mode de réalisation de la présente invention,
- [0053] [Fig.4a] la [Fig.4a] est une vue à plus grande échelle d'un détail de la [Fig.4],
- [0054] [Fig.5] la [Fig.5] est une vue similaire à celle de la [Fig.4a] et illustrant une variante de réalisation de l'invention, et
- [0055] [Fig.6] la [Fig.6] est une vue similaire à celle de la [Fig.4a] et illustrant une autre variante de réalisation de l'invention.

### **Description détaillée de l'invention**

- [0056] La [Fig.1] montre une aube 10 pour une hélice d'une turbomachine d'aéronef, cette hélice étant carénée ou non carénée.
- [0057] L'aube 10 comprend une pale 12 reliée à un pied 14.
- [0058] La pale 12 a un profil aérodynamique et comprend un intrados 12a et un extrados 12b qui sont reliés par un bord amont d'attaque 12c et par un bord aval de fuite 12d, les termes amont et aval faisant référence à l'écoulement des gaz autour de la pale en fonctionnement.
- [0059] La pale 12 a une extrémité supérieure qui est libre, appelée sommet, et une extrémité inférieure qui est reliée au pied 14.
- [0060] Dans l'exemple représenté, l'aube 10 est réalisée en matériau composite par un procédé d'injection appelé procédé RTM (acronyme de l'anglais *Resin Transfer Molding*). Ce procédé consiste à préparer une préforme fibreuse 18 par tissage en trois dimensions puis à disposer cette préforme dans un moule et d'y injecter une résine polymérisable telle qu'une résine époxy, qui va imprégner la préforme. Après polymérisation et durcissement de la pale 12, son bord d'attaque 12c est en général renforcé par un bouclier métallique 20 rapporté et fixé, par exemple par collage.
- [0061] L'aube 10 comprend ici un longeron 22 qui comprend une partie formant une âme de la pale 12 et qui est destinée à être insérée dans la préforme 18 avant l'injection de résine, et une partie qui s'étend du côté opposé au sommet de la pale 14 pour former une partie du pied 14, appelé corps 24.

- [0062] Le longeron 22 est préférentiellement en matériau composite à matrice organique époxy renforcée par fibres de carbone tissées 3D avec la direction chaîne majoritairement orientée radialement et la trame majoritairement orientée selon la corde de la pale à hauteur de veine aérodynamique. Cependant, le longeron peut également être un assemblage plus avantageux mécaniquement de différents matériaux composites à matrice organique (thermodurcissable, thermoplastique ou élastomère) renforcés par fibres longues (carbone, verre, aramide, polypropylène) selon plusieurs arrangements fibreux (tissé, tressé, tricoté, unidirectionnel).
- [0063] Bien que cela ne soit pas représenté, la pale 12 peut être creuse ou pleine et comprend une cavité interne remplie avec un matériau de remplissage du type mousse ou nid d'abeille. Ce matériau de remplissage est installé autour du longeron 22 et il est recouvert d'une peau en matériau composite à matrice organique pour augmenter la résistance de la pale à l'impact.
- [0064] Le bouclier 20 peut être titane ou alliage de titane, inox, acier, aluminium, nickel, etc. L'intrados 12a voire l'extrados 12b de la pale 12 peut être recouvert d'un film polyuréthane pour la protection à l'érosion.
- [0065] On désigne par A, l'axe d'allongement de l'aube 10 et de la pale 12 et en particulier l'axe de calage de l'aube 10, c'est-à-dire l'axe autour duquel la position angulaire de l'aube est ajustée. C'est en général aussi un axe radial qui s'étend donc suivant un rayon par rapport à l'axe de rotation de l'hélice équipée de cette aube (qui est appelé premier axe et qui n'est pas visible dans les dessins).
- [0066] Le corps 24 du pied 14 a une forme particulière mieux visible aux figures 2 et 3.
- [0067] Le corps 24 comprend pour l'essentiel trois parties à savoir :
- [0068] - une extrémité libre 28 située du côté opposé à la pale 12,
- [0069] - une échasse 30 située du côté de la pale 12, et
- [0070] - un bulbe 32 situé entre l'extrémité libre 28 et l'échasse 30.
- [0071] L'extrémité libre 28 a une forme générale parallélépipédique dans l'exemple représenté. Cette extrémité 28 est de préférence désaxée ou décalée par rapport à l'axe A pour réaliser un détrompage ou indexage.
- [0072] L'échasse 30 peut avoir une forme relativement complexe et peut être considérée comme comportant :
- [0073] - deux flancs latéraux 30a, 30b, situés respectivement du côté de l'intrados 12a et de l'extrados 12b de la pale 12, qui convergent l'un vers l'autre le long de l'axe A et en direction du sommet de la pale 12, et
- [0074] - deux bords, respectivement amont 30c et aval 30d, qui au contraire divergent l'un de l'autre le long de l'axe A et en direction du sommet de la pale 12.
- [0075] Le bulbe 32 a une forme générale renflée ou bombée, ce renflement ou bombement s'étendant tout autour de l'axe A.

- [0076] Le bulbe 32 présente deux portées périphériques, respectivement inférieure 32a et supérieure 32b, qui s'étendent autour de l'axe A. Dans l'exemple représenté, du fait de la forme du bulbe, la portée inférieure 32a est orientée vers le bas (c'est-à-dire du côté opposé à la pale 12), radialement vers l'extérieur par rapport à l'axe A et radialement vers l'intérieur par rapport au premier axe de l'hélice, et la portée supérieure 32b est orientée vers le haut (c'est-à-dire du côté de la pale 12), radialement vers l'extérieur par rapport à l'axe A et radialement vers l'extérieur par rapport au premier axe de l'hélice.
- [0077] La [Fig.3] illustre un système 34 de calage angulaire d'une aube 10 telle qu'illustrée aux figures 1 et 2.
- [0078] Le système 34 comprend pour l'essentiel l'aube 10, un bol 36, et des éléments 40, 41 de fixation du pied 14 de l'aube 10 au bol 36.
- [0079] Le bol 36 comporte une paroi annulaire 36a s'étendant autour de l'axe A. Cette paroi 36a comporte une extrémité axiale radialement interne par rapport au premier axe et inférieure par rapport à l'axe A, qui est fermée par une paroi de fond 36b, et une extrémité axiale radialement externe et supérieure, qui est ouverte et configurée pour autoriser le montage du pied 14 de l'aube 10 à l'intérieur du bol 36. Il est considéré ici que l'axe A du bol 36 est celui de l'aube 10 et correspond à l'axe de la rotation pour le changement de calage angulaire de l'aube 10, cet axe A étant sensiblement radial par rapport au premier axe de l'hélice.
- [0080] La paroi de fond 36b est configurée pour coopérer par complémentarité de formes avec l'extrémité libre du pied 14, et donc avec l'extrémité 28 du corps 24, de façon à ce que le bol 36 soit solidarisé en rotation avec le pied 14 autour de l'axe A.
- [0081] Dans le cas présent, on comprend que la paroi de fond 36b comprend un évidement 52 ayant une section transversale non circulaire, et en particulier rectangulaire, et configuré pour recevoir l'extrémité 28 ([Fig.3]). Cet évidement 52 est de préférence excentré par rapport à l'axe A de façon analogue à l'extrémité 28. Cet excentrement permet un indexage et un détrompage lors de l'insertion et du montage du pied 14 dans le bol 36, une seule position d'engagement de l'extrémité 28 dans l'évidement 52 étant possible.
- [0082] L'évidement 52 est situé sur une face supérieure ou interne de la paroi de fond 36b du bol 36, qui est donc située à l'intérieur du bol 36 et orientée du côté du pied 14.
- [0083] Le système 34 génère un couple au pied 14 d'aube qui s'oppose au moment de torsion issu des efforts aérodynamiques et des efforts centrifuges. La transmission des efforts entre le bol 36 et le pied 12 est directe, le moment de torsion s'appliquant directement sur le corps 24 du pied 14.
- [0084] La paroi de fond 36b comprend une face inférieure ou externe, qui est située du côté opposé au pied 14, et qui comprend un prolongement cylindrique 54 s'étendant le long

de l'axe A et comportant un filetage externe ou des cannelures rectilignes externes 56 pour l'accouplement en rotation du système avec un mécanisme de changement de pas qui n'est pas illustré et qui est commun aux différents systèmes 34 de l'hélice.

- [0085] Un premier élément annulaire de fixation 41 est monté à l'intérieur du bol 36, à proximité de sa paroi de fond 36b. Ce premier élément 41 s'étend autour de l'axe A et est intercalé axialement (par rapport à l'axe A) entre le bol 36 et le pied 14 de l'aube 10. Ce premier élément 41 est fixé ou solidarisé au bol 36 par des moyens appropriés et prend appui sur la portée inférieure 32a du pied 14, tout autour de l'axe A. Ce premier élément 41 peut être configuré pour assurer une précharge du pied 14 de l'aube 10 à l'intérieur du bol, le long de l'axe A.
- [0086] Un second élément annulaire de fixation 40 est monté à l'intérieur du bol 36, à proximité de son extrémité radialement externe. Ce second élément 40 s'étend autour de l'axe A et est intercalé radialement (par rapport à l'axe A) entre le bol 36 et le pied 14 de l'aube 10. Ce second élément 40 est fixé ou solidarisé au bol 36 par des moyens appropriés et prend appui sur la portée supérieure 32b du pied 14, tout autour de l'axe A. Ce second élément 40 peut être sectorisé pour autoriser son montage autour du pied 14. Ce second élément 40 peut être configuré pour assurer une rétention du pied 14 de l'aube 10 à l'intérieur du bol, le long de l'axe A.
- [0087] Des paliers de guidage 46, 48 sont montés autour du bol 36, entre le bol 36 et un moyeu 50 de l'hélice. Bien que cela ne soit pas visible dans les dessins, le moyeu 50 s'étend autour de l'axe de rotation de l'hélice (premier axe) et peut avoir une forme générale annulaire ou polygonale.
- [0088] Le moyeu 50 comprend des orifices 50a de montage des systèmes de commande 34 des aubes 10. Les orifices 50a sont répartis autour du premier axe et sont traversants en direction radiale comme illustré à la [Fig.3], c'est-à-dire qu'ils débouchent sur des faces périphériques interne et externe du moyeu 50.
- [0089] Les paliers 46, 48 sont ici au nombre de deux et sont respectivement un palier radialement interne 46 et un palier radialement externe 48 vis-à-vis du premier axe.
- [0090] Les paliers 46, 48 sont du type à roulement à billes. Dans l'exemple représenté, ils ont des diamètres différents et leurs billes ont également des diamètres différents. Les paliers 46, 48 sont à contact oblique.
- [0091] Le palier 46 s'étend sensiblement autour de la portée inférieure 32a et/ou de l'extrémité libre 28 du pied 14. Ce palier 46 a un diamètre plus petit que l'autre palier 48, et ses billes ont un diamètre supérieur à celles de l'autre palier 48.
- [0092] Le moyeu 50 porte les bagues externes 46a, 48a des paliers 46, 48 et leurs bagues internes 48b sont portées par le bol 36 ou intégrées à ce dernier, comme c'est le cas dans l'exemple représenté de la bague interne du palier 46.
- [0093] Les paliers 46, 48 assurent le centrage et le guidage du bol 36 autour de l'axe A vis-

à-vis du moyeu 50. Le bol 36 sert donc de pivot pour l'aube 10, par rapport au moyeu 50.

- [0094] Dans le cadre des architectures d'hélices non carénées de grand diamètre, les efforts aérodynamiques sont particulièrement intenses à certains régimes vis-à-vis des efforts centrifuges. Ceci est particulièrement le cas à bas régime (par exemple au démarrage du moteur) mais également à haut régime de rotation lorsqu'intervient une distorsion de l'écoulement en amont de l'hélice dû aux effets d'installation ou au fonctionnement sous incidence. Ce phénomène peut provoquer des mouvements de solide rigide entre le pied d'aube et son système d'attache (rotulage) et donc l'usure prématurée des pièces en contact. Le système de précharge permet ainsi de mettre en pression l'aube afin de prévenir les mouvements de rotulage. En effet, l'application d'un effort de précharge suffisant sur le pied d'aube permet de créer un effort résultant sur les portées et donc un moment résultant capable de reprendre le moment des forces aérodynamiques. Cependant, pour des cas de fonctionnement à haut régime moteur, le chargement centrifuge sur l'aube provoque un déplacement radial de cette dernière qui tend à relâcher l'effort de précharge appliqué initialement.
- [0095] Pour conserver sa fonction à haut régime de rotation du moteur, le système de précharge doit disposer d'une souplesse suffisante dans la direction radiale vis-à-vis du premier axe ou dans la direction axiale vis-à-vis de l'axe A, pour s'adapter aux éventuels mouvements du pied d'aube afin d'assurer la continuité du transfert de l'effort de précharge.
- [0096] La présente invention propose un perfectionnement à la technologie décrite dans ce qui précède, un premier mode de réalisation de ce perfectionnement étant illustré aux figures 4 et 5.
- [0097] L'aube 10, le bol 36 et les paliers 46, 48 sont similaires à ceux décrits dans ce qui précède en relation avec les figures 1 à 3.
- [0098] Le second élément de fixation 40 du pied 14 de l'aube 10 dans le bol 36 est également similaire à celui décrit en relation avec la [Fig.3].
- [0099] Le mode de réalisation illustré aux figures 4 et 5 se distingue de la technologie décrite dans ce qui précède essentiellement par son premier élément de fixation 41.
- [0100] Selon l'invention, le premier élément 41 comprend au moins deux lames élastiquement déformables qui sont au moins partiellement superposées en direction axiale (vis-à-vis de l'axe A) et qui sont configurées pour assurer une précharge axiale du pied 14 de l'aube 10 à l'intérieur du bol 36.
- [0101] Dans le mode de réalisation des figures 4 et 4a, les lames 60, 62, 64 ont une forme annulaire et s'étendent autour de l'axe A. Elles sont au nombre de trois et le premier élément 41 a en section une forme en S.
- [0102] Le premier élément 41 comprend une lame inférieure 60, une lame intermédiaire 62

et une lame supérieure 64.

- [0103] La lame inférieure 60 a une forme générale plane et s'étend dans un plan perpendiculaire à l'axe A. La lame inférieure 60 a sa périphérie externe qui est reliée à la périphérie externe de la lame intermédiaire 62. La lame intermédiaire 62 a une forme générale plane et s'étend dans un autre plan perpendiculaire à l'axe A. Les lames inférieure 60 et intermédiaire 62 sont ainsi sensiblement parallèles. La jonction 66 entre ces lames a en section une forme générale en C.
- [0104] La lame supérieure 64 a une forme générale tronconique et est évasée du côté de l'extrémité libre de l'aube 10, opposée au pied 14. La lame supérieure 64 a sa périphérie interne qui est reliée à la périphérie interne de la lame intermédiaire 62. La jonction 68 entre ces lames a en section une forme générale en C.
- [0105] La périphérie externe de la lame supérieure 64 forme l'extrémité supérieure du premier élément 41 et présente une surépaisseur axiale 70. Cette lame supérieure 64 épouse la forme de la portée inférieure 32a du pied 14 de l'aube 10 et est appliquée axialement sur cette portée.
- [0106] La périphérie interne de la lame inférieure 60 est reliée à une portion cylindrique 72 du premier élément 41 qui comprend un filetage externe 74 de vissage dans un filetage interne du bol 36.
- [0107] Dans l'exemple représenté, le filetage interne du bol 36 est porté par une bague 76 qui est montée au fond du bol 36 et comprend des dents 78 radialement externes qui sont engagées dans des évidements 80 du bol 36 pour bloquer en rotation la bague 76 autour de l'axe A à l'intérieur du bol 36. La formation du filetage interne dans la bague 76 rapportée évite la formation du filetage interne par usinage directement dans le bol 36.
- [0108] La [Fig.4a] permet de constater que les lames 60, 62, 64 sont à distance axiale les unes des autres. Le premier élément 41 est apte à se déformer de manière élastique en direction axiale, par compression (cf. double flèche F1).
- [0109] La [Fig.5] illustre une variante de réalisation du premier élément 41 qui comprend ici un nombre de lames annulaires coaxiales supérieur à trois et qui peut être de quatre, cinq, voire plus. Il est de cinq dans l'exemple représenté.
- [0110] La lame inférieure 60 est similaire à celle du premier mode de réalisation. La lame supérieure 64 est également similaire à celle du premier mode de réalisation. Les lames intermédiaires 62 sont reliées entre elles et aux lames supérieure 64 et inférieure 60, de manière à ce que le premier élément 40 forme un soufflet compressible axialement de manière élastique (double flèche F1).
- [0111] La disposition en C, S ou soufflet des lames confère au premier élément 41 une aptitude à la compression et à l'écrasement sur lui-même lors de l'application de l'effort de précharge. Lorsque le pied 14 de l'aube 10 observe un mouvement radial

suite à l'application d'un effort centrifuge, cette forme, comprimée par l'effort de précharge, se détend pour s'adapter à la nouvelle position du pied d'aube. Etant donné le grand déplacement initial observé lors de l'application de la précharge, le déplacement du pied d'aube observé lors de l'application du centrifuge reste relativement faible par rapport à ce dernier. Ainsi, la perte de l'effort de précharge est limitée et la précharge reste effective même à haut régime de rotation de l'hélice.

- [0112] Cette solution a l'avantage de conserver le même nombre de pièce que le premier élément de la technique antérieure et également de présenter un encombrement réduit.
- [0113] Dans une autre variante non représentée, le premier élément 41 pourrait avoir seulement deux lames superposées radialement et avoir en section une forme en C. Par référence au premier mode de réalisation, le premier élément 41 aurait alors une lame inférieure 60 d'une part, et une lame supérieure 64 d'autre part qui serait directement reliée à la lame inférieure 60 et qui serait conformée pour venir en appui axial sur la portée inférieure 32a du bulbe 32 du pied 14.
- [0114] Dans chacun des modes de réalisation de l'invention décrits dans ce qui précède, chacune des lames 60, 62, 64 a un diamètre interne  $D_{int}$  qui est supérieur au diamètre interne minimal  $D_{min}$  du premier élément 41, et un diamètre externe  $D_{ext}$  qui est inférieur au diamètre externe maximal  $D_{max}$  du premier élément 41. En variante,  $D_{max}$  et  $D_{ext}$  pourraient être égaux. Dans l'exemple représenté,  $D_{min}$  est défini par le filetage interne 74 du premier élément 41, et  $D_{max}$  est défini par l'extrémité supérieure 70 du premier élément 41.
- [0115] La [Fig.6] illustre une autre variante de réalisation du premier élément 41 qui comprend deux lames annulaires 60, 64 coaxiales qui définissent entre elles un espace annulaire E fermé. L'une des lames est une lame inférieure 60 et est reliée par ses périphéries interne et externe à l'autre des lames qui est une lame supérieure 64. Les périphéries internes des lames 60, 64 sont en outre reliées à la portion cylindrique 72 fileté de vissage dans le bol 36. Les deux lames 60, 64 ont ici une forme générale tronconique et s'évasent du côté de l'extrémité libre de l'aube opposée au pied 14. La capacité de déformation élastique des lames 60, 64 et du premier élément 41 est similaire à celle décrite ci-dessus (cf. double flèche F1).
- [0116] Dans ce mode de réalisation, chacune des lames 60, 64 a un diamètre interne  $D_{int}$  qui est sensiblement égal au diamètre interne minimal  $D_{min}$  du premier élément 41, et un diamètre externe  $D_{ext}$  qui est sensiblement égal au diamètre externe maximal  $D_{max}$  du premier élément 41. Dans l'exemple représenté,  $D_{min}$  est défini par le filetage interne 74 du premier élément 41, et  $D_{max}$  est défini par l'extrémité supérieure 70 du premier élément 41.
- [0117] Dans les différents modes et variantes de l'invention, une concentration des contraintes a lieu dans les zones à fort rayon de courbure. Le premier élément 41 doit

donc de préférence être doté d'une haute résistance élastique afin de rester dans son domaine élastique lors de l'application de la précharge, mais également d'une résistance à la fatigue suffisante pour tenir l'alternance des chargements en fonction des régimes moteurs. Pour répondre à ces contraintes, l'utilisation d'un matériau composite à matrice organique (CMO) à fibres longues unidirectionnelles est avantageuse pour la fabrication d'une telle pièce. En effet ces matériaux possèdent une grande limite élastique, des hauts modules de Young dans le sens des fibres et une durée de vie importante en traction comme en compression. De plus, ces matériaux peuvent être mis en œuvre selon différents procédés de fabrication (stratification, placement de fibre automatique, enroulement etc.).

[0118] Il est également possible d'avoir recours à un matériau métallique (par exemple un alliage d'aluminium). En particulier, l'utilisation d'un matériau métallique pour former le premier élément 41 selon les deux derniers modes de réalisation est avantageuse.

[0119] La fabrication additive peut être utilisée pour réaliser ce premier élément 41.

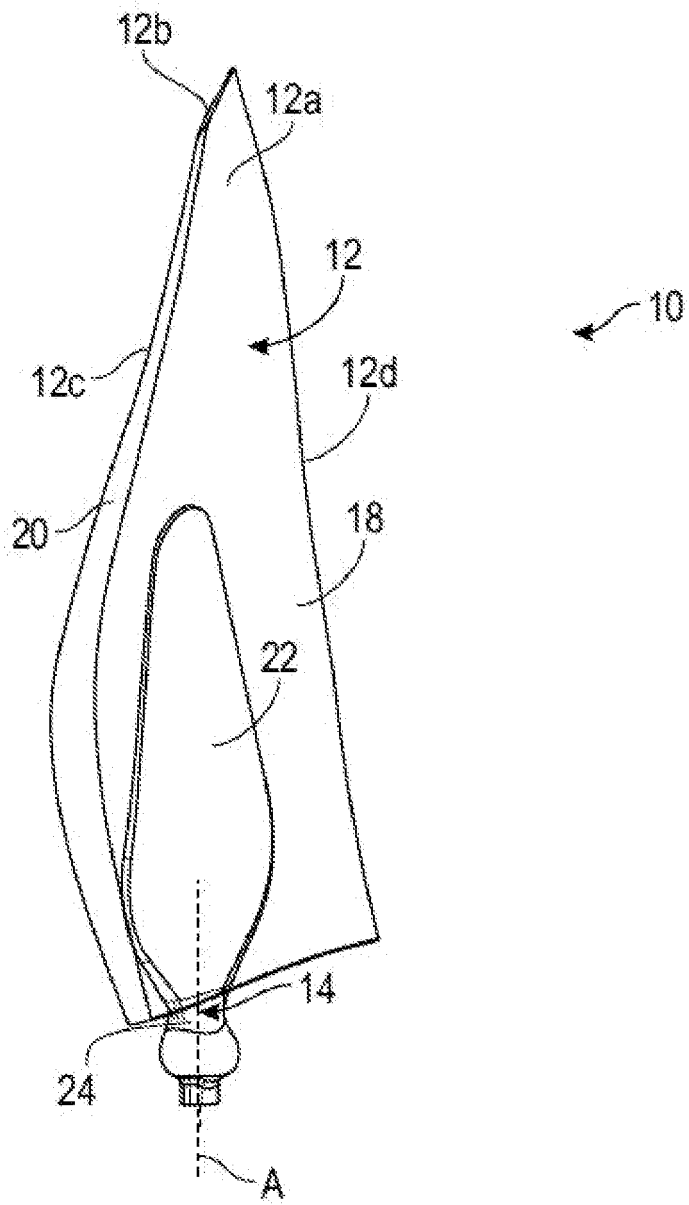
## Revendications

- [Revendication 1] Système (34) de commande du calage angulaire d'une aube (10) d'hélice, pour une turbomachine d'aéronef, ledit système de commande (34) comprenant :
- une aube (10) comportant une pale (12) reliée à un pied (14), l'aube (10) comportant un axe, appelé axe de calage (A), sensiblement radial par rapport à un autre axe, appelé axe d'hélice, ledit pied (14) comportant un bulbe (32) qui a une forme générale bombée et comprend deux portées périphériques, respectivement inférieure (32a) et supérieure (32b), qui s'étendent autour dudit axe de calage (A),
  - un bol (36) s'étendant autour dudit axe de calage (A), le bol (36) comportant un logement interne de réception du pied (14) de l'aube (10), et
  - des éléments (40, 41) de fixation du pied (14) de l'aube (10) au bol (36), ces éléments de fixation (40, 41) comportant :
    - + un premier élément annulaire (41) monté à l'intérieur du bol (36), ce premier élément (41) s'étendant autour de l'axe de calage (A) et prenant appui axialement sur la portée inférieure (32a) du pied (14), et
    - + un second élément annulaire (40) monté à l'intérieur du bol (36), ce second élément (40) s'étendant autour de l'axe de calage (A) et prenant appui axialement sur la portée supérieure (32b) du pied (14), caractérisé en ce que ledit premier élément (41) comprend au moins deux lames (60, 62, 64) élastiquement déformables qui sont au moins partiellement superposées en direction axiale et qui sont configurées pour assurer une précharge axiale du pied (14) de l'aube (10) à l'intérieur du bol (36).
- [Revendication 2] Système de commande (34) selon la revendication 1, dans lequel chacune des lames (60, 62, 64) a une forme annulaire et s'étend autour dudit axe de calage (A).
- [Revendication 3] Système de commande (34) selon la revendication 2, dans lequel chacune des lames (60, 62, 64) a un diamètre interne (Dint) qui est supérieur ou égal au diamètre interne minimal (Dmin) du premier élément (41), et un diamètre externe (Dext) qui est inférieur ou égal au diamètre externe maximal (Dmax) du premier élément (41).
- [Revendication 4] Système de commande (34) selon la revendication 2 ou 3, dans lequel les lames (60, 64) sont au nombre de deux et ont en section une forme en C, l'une des lames étant une lame inférieure (60) et étant reliée par sa

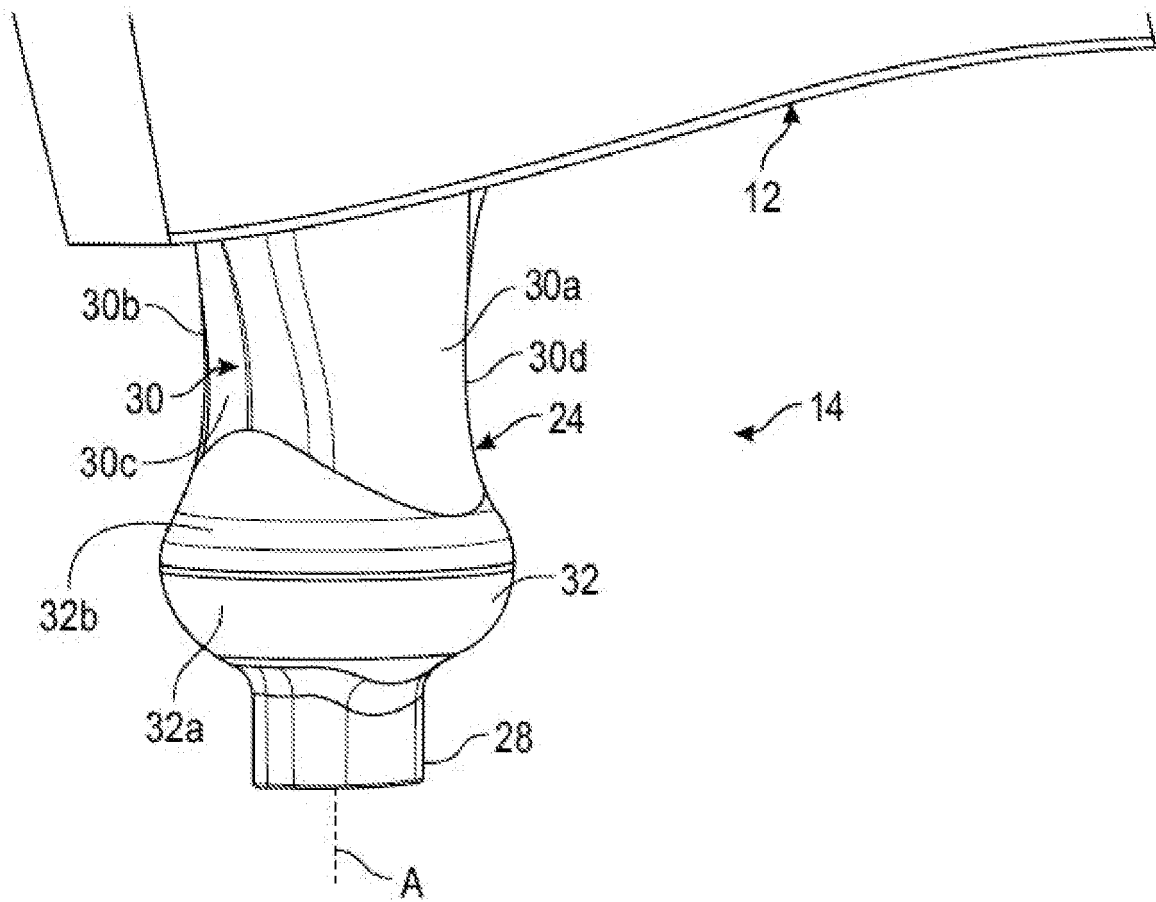
- périphérie interne ou externe à l'autre des lames qui est une lame supérieure (64).
- [Revendication 5] Système de commande (34) selon la revendication 2 ou 3, dans lequel les lames (60, 64) sont au nombre de deux et définissent entre elles un espace annulaire (E) fermé, l'une des lames étant une lame inférieure (60) et étant reliée par ses périphéries interne et externe à l'autre des lames qui est une lame supérieure (64).
- [Revendication 6] Système de commande (34) selon la revendication 2 ou 3, dans lequel les lames (60, 62, 64) sont au nombre de trois et ont en section une forme en S, l'une des lames étant une lame intermédiaire (62) et étant reliée par sa périphérie interne, ou externe respectivement, à une autre des lames qui est une lame supérieure (64), et par sa périphérie externe, ou interne respectivement, à une autre des lames qui est une lame inférieure (60).
- [Revendication 7] Système de commande (34) selon la revendication 2 ou 3, dans lequel les lames (60, 62, 64) sont au nombre de quatre, cinq, voire plus, et comprennent une lame supérieure (64), une lame inférieure (60) et au moins deux lames intermédiaires (62).
- [Revendication 8] Système de commande (34) selon l'une des revendications 4 à 7, dans lequel la lame supérieure (64) est en appui axial sur la portée inférieure (32a) et a une forme générale tronconique ou incurvée concave vers le haut.
- [Revendication 9] Système de commande (34) selon l'une des revendications 4 à 8, dans lequel la lame inférieure (60) a une forme générale plane ou tronconique.
- [Revendication 10] Système de commande (34) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le premier élément (41) comprend à son extrémité inférieure un filetage externe (74) de vissage dans le bol (36).
- [Revendication 11] Hélice pour une turbomachine d'aéronef, cette hélice comportant ;  
 - un moyeu (50) s'étendant autour d'un axe, appelé axe d'hélice, et comportant des orifices (50a) répartis autour de cet axe d'hélice, chacun de ces orifices (50a) ayant une orientation sensiblement radiale par rapport audit axe d'hélice et traversant ledit moyeu,  
 - un système (34) de commande selon l'une des revendications précédentes qui est monté dans chacun desdits orifices (50a), et  
 - des paliers (46, 48) de guidage du système de commande (34) qui sont montés dans chacun desdits orifices (50a).
- [Revendication 12] Turbomachine, en particulier d'aéronef, comportant au moins un

systeme de commande (34) selon l'une des revendications 1 à 10 ou une hélice selon la revendication précédente.

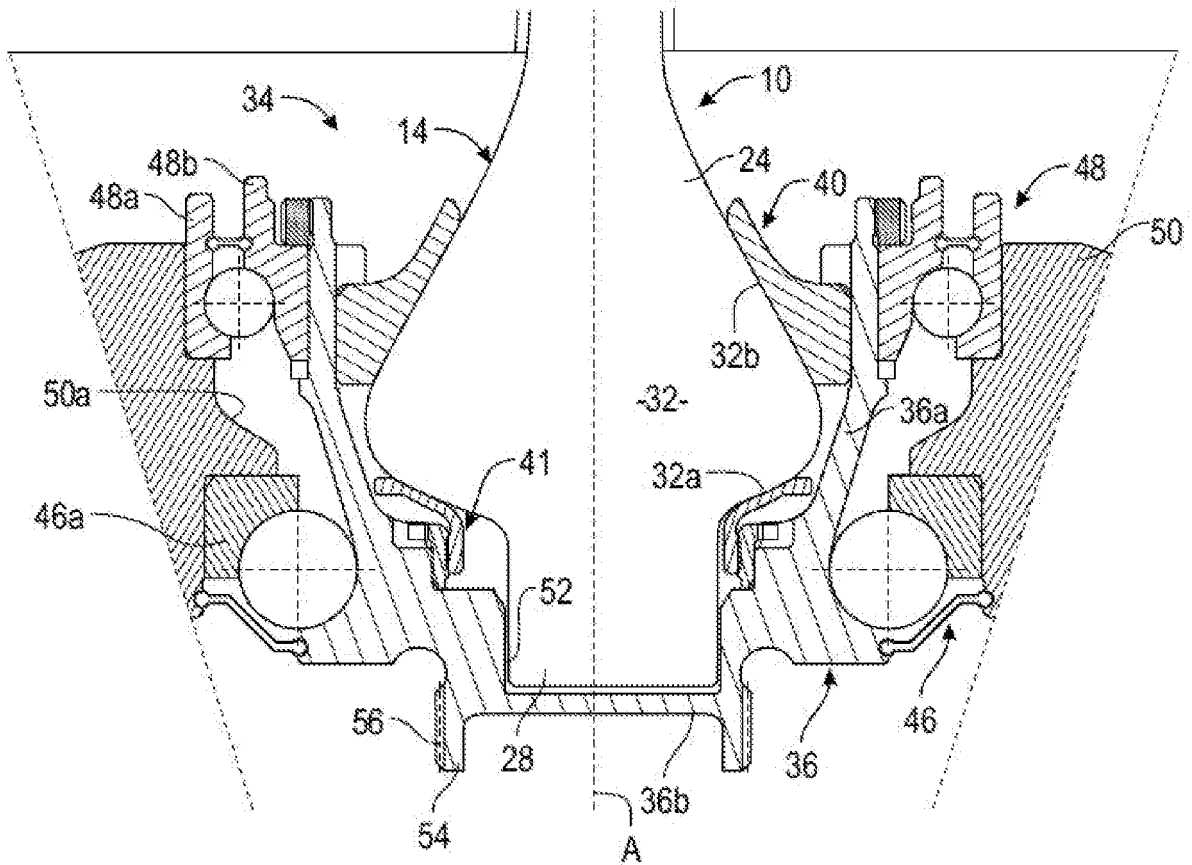
[Fig. 1]



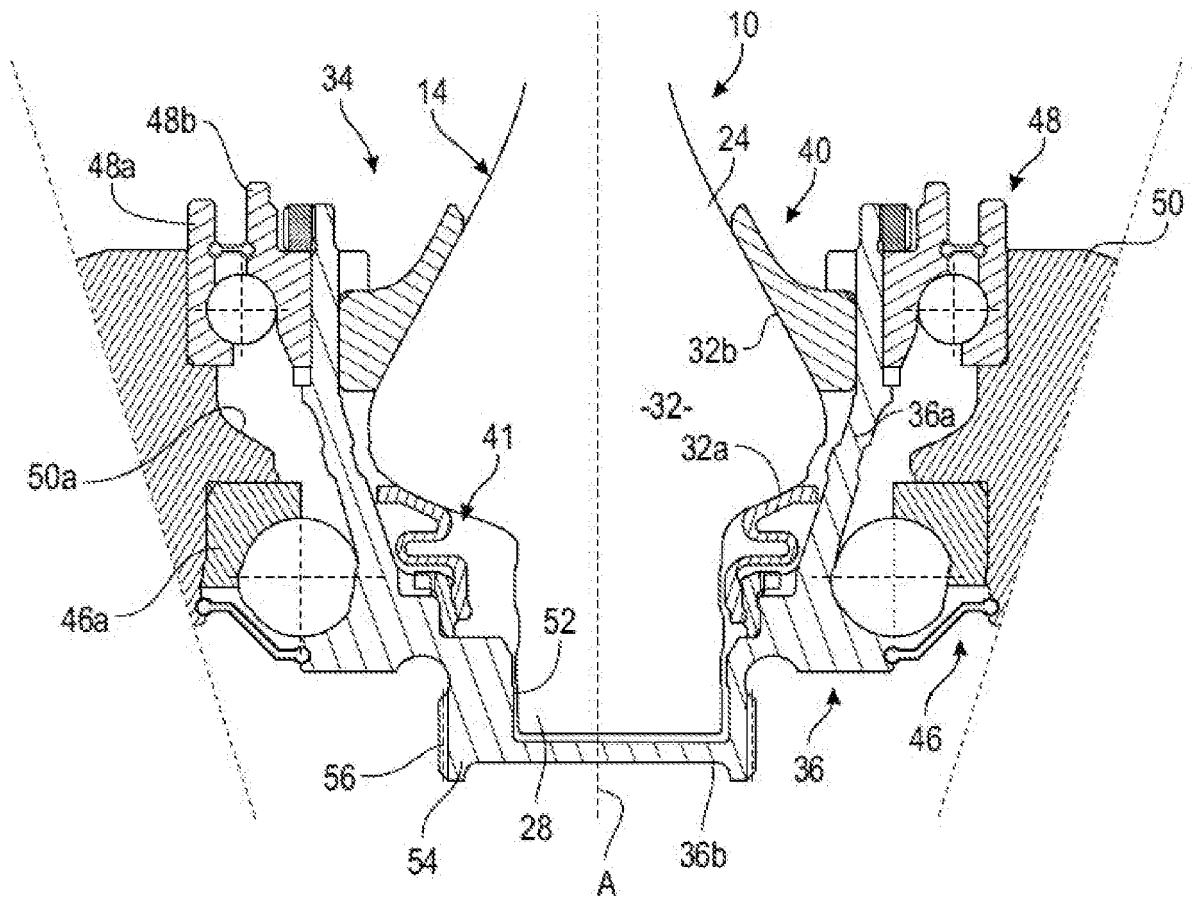
[Fig. 2]



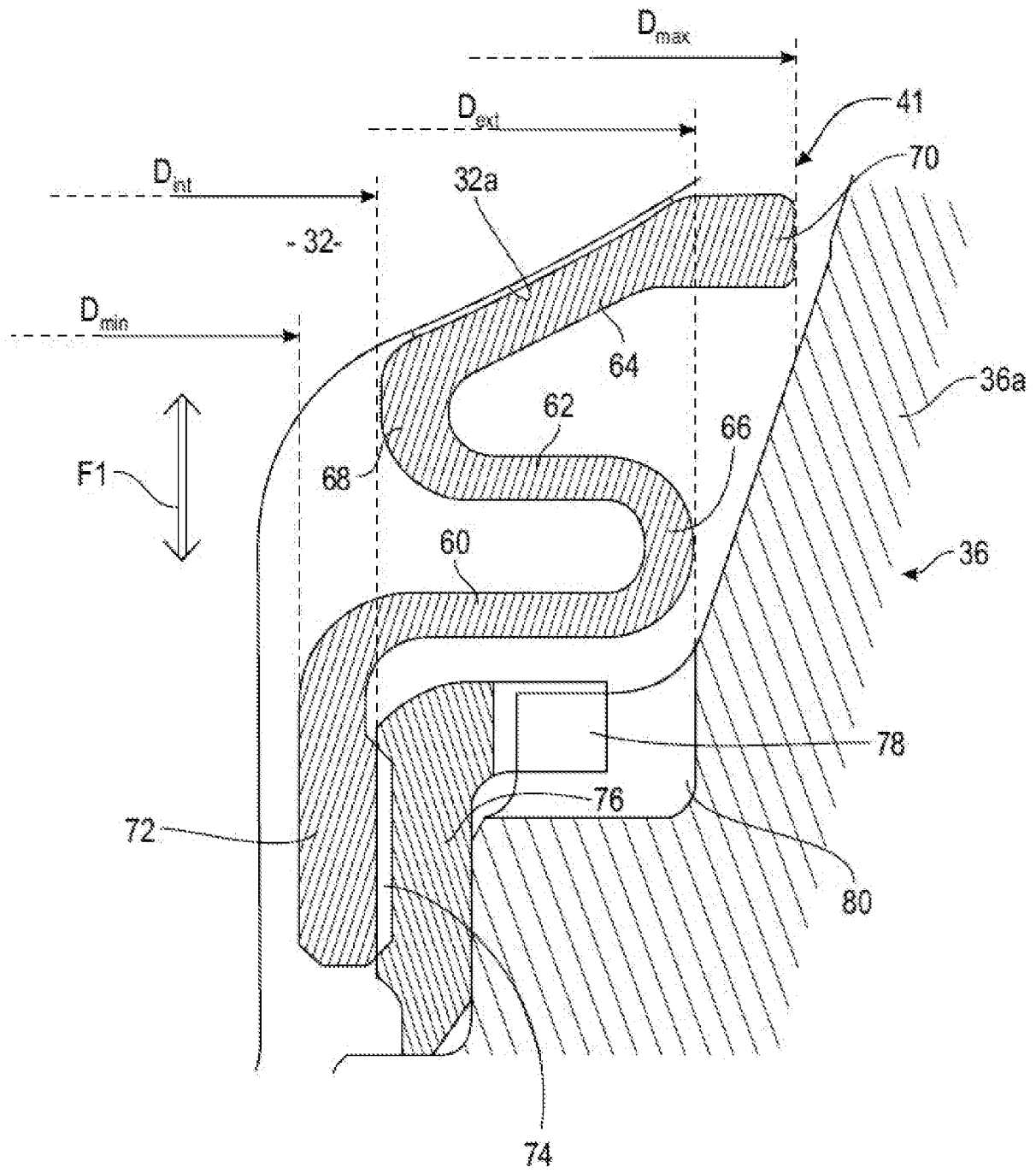
[Fig. 3]



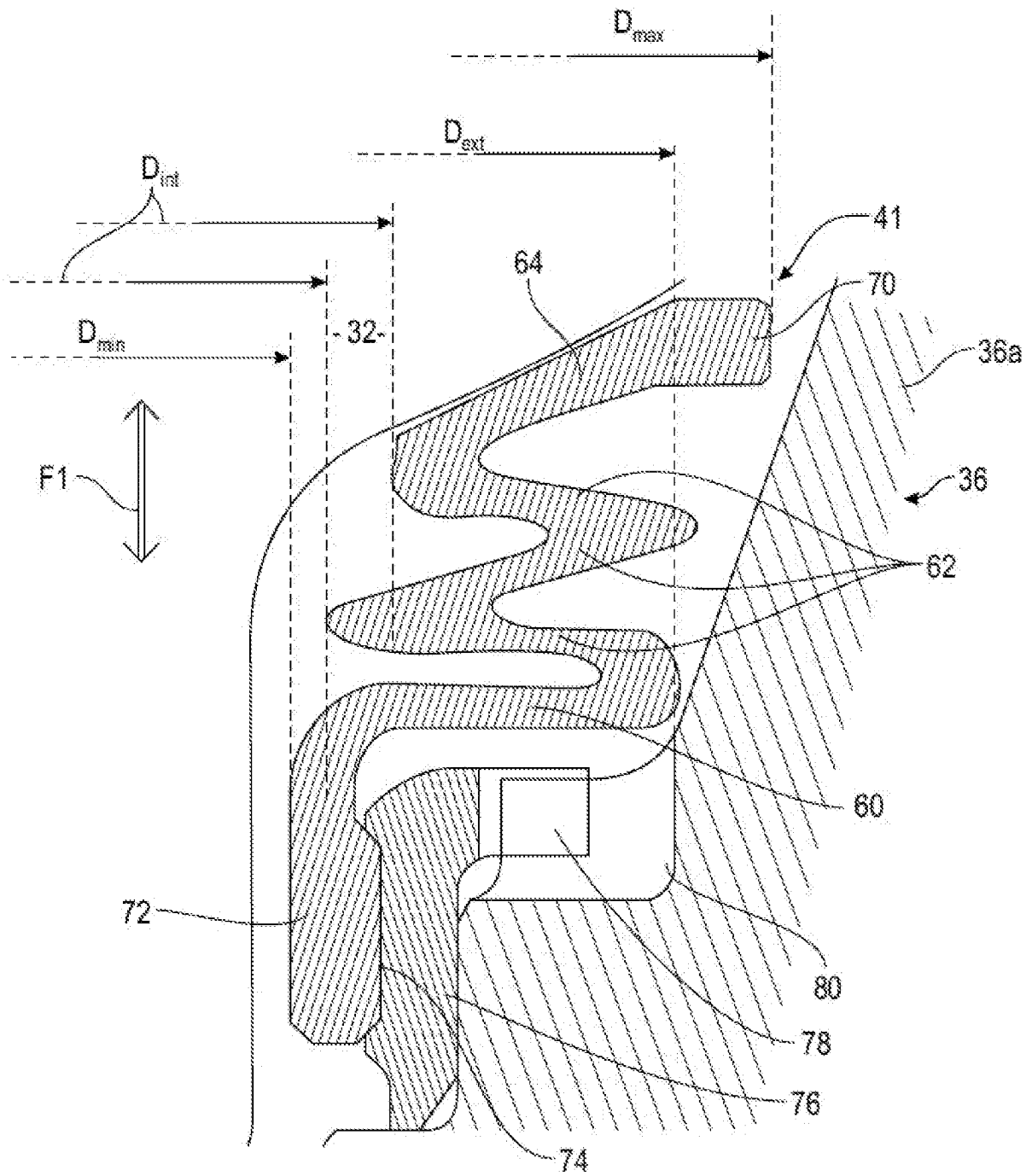
[Fig. 4]



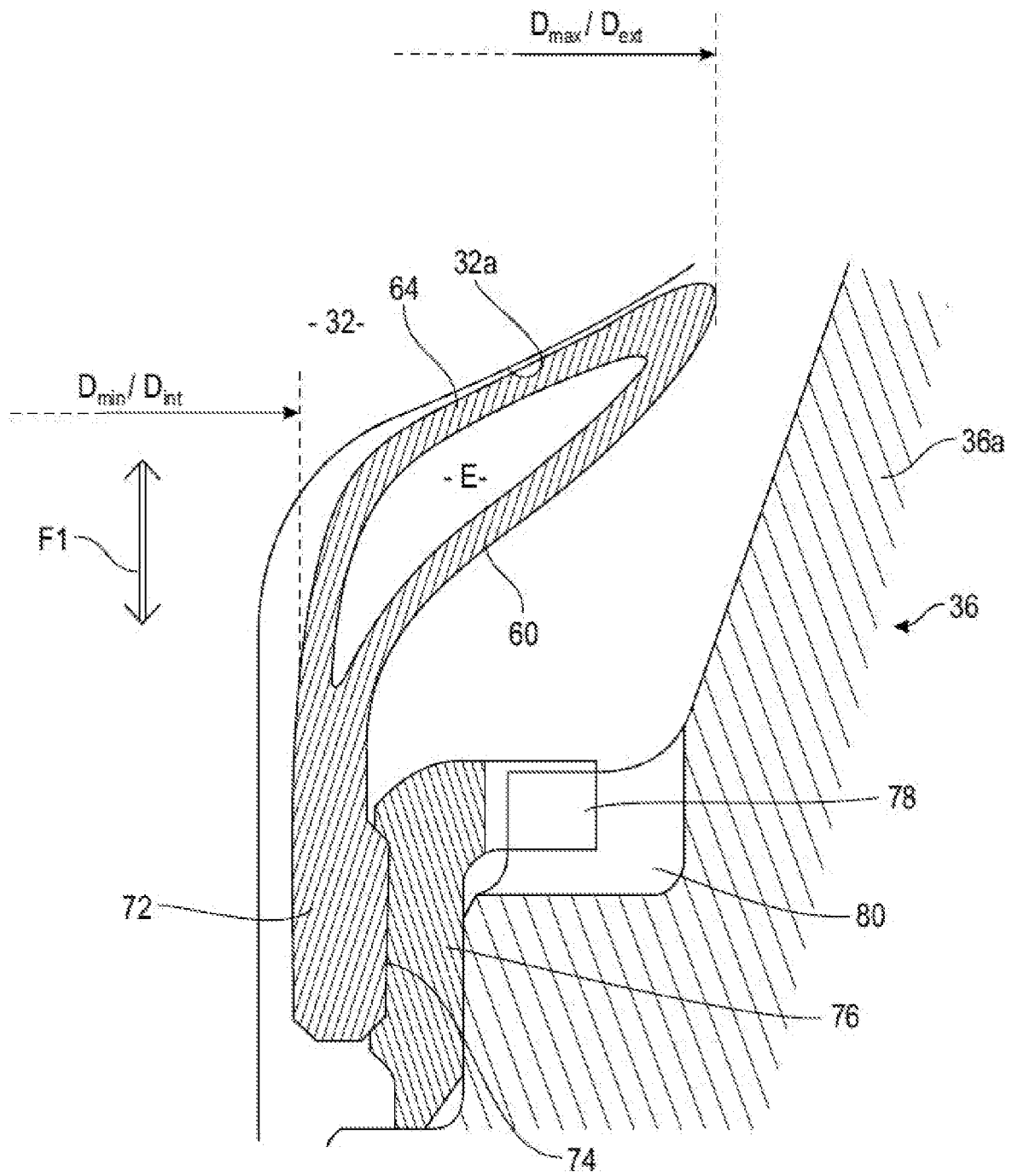
[Fig. 4a]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

**FA 903216**  
**FR 2200185**

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		
<b>A</b>	<b>FR 2 605 586 A1 (SNECMA [FR]) 29 avril 1988 (1988-04-29) * pages 3-5; figures 1-3 *</b> -----	<b>1-12</b>	<b>B64C11/06</b> <b>F04D29/36</b>  <b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)</b>  <b>B64C</b> <b>F04D</b> <b>F01D</b>
<b>A</b>	<b>WO 2012/156633 A1 (SNECMA [FR]; CHATENET LUC HENRI [FR]; LE QUELLEC JOHN [FR]) 22 novembre 2012 (2012-11-22) * abrégé; revendications 1-4; figures 1-3 *</b> -----	<b>1-12</b>	
<b>A</b>	<b>FR 3 107 724 A1 (SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR]) 3 septembre 2021 (2021-09-03) * abrégé; figures 5, 11-13 *</b> -----	<b>1-12</b>	
<b>A</b>	<b>KR 2020 0037669 A (DOOSAN HEAVY IND &amp; CONSTRUCTION CO LTD [KR]) 9 avril 2020 (2020-04-09) * abrégé; figures 1, 3, 4, 5, 6 *</b> -----	<b>1-12</b>	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
<b>26 juillet 2022</b>		<b>Lambert, Brice</b>	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p> <p>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                      .....                      &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2200185 FA 903216**

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 **26-07-2022**  
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	
<b>FR 2605586</b>	<b>A1</b>	<b>29-04-1988</b>	<b>EP 0267097 A1</b>	<b>11-05-1988</b>
			<b>FR 2605586 A1</b>	<b>29-04-1988</b>
			<b>US 4762466 A</b>	<b>09-08-1988</b>
-----				
<b>WO 2012156633</b>	<b>A1</b>	<b>22-11-2012</b>	<b>BR 112013026763 B1</b>	<b>15-06-2021</b>
			<b>CA 2833098 A1</b>	<b>22-11-2012</b>
			<b>CN 103534443 A</b>	<b>22-01-2014</b>
			<b>EP 2710229 A1</b>	<b>26-03-2014</b>
			<b>FR 2975428 A1</b>	<b>23-11-2012</b>
			<b>RU 2013155915 A</b>	<b>27-06-2015</b>
			<b>US 2014178202 A1</b>	<b>26-06-2014</b>
			<b>WO 2012156633 A1</b>	<b>22-11-2012</b>
-----				
<b>FR 3107724</b>	<b>A1</b>	<b>03-09-2021</b>	<b>FR 3107724 A1</b>	<b>03-09-2021</b>
			<b>WO 2021170780 A1</b>	<b>02-09-2021</b>
-----				
<b>KR 20200037669</b>	<b>A</b>	<b>09-04-2020</b>	<b>AUCUN</b>	
-----				