(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 133 367**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **22 02172**

(51) Int Cl[8] : ***B 64 C 11/04*** *(2022.01), B 64 C 11/48, B 64 D 27/02, B 64 D 27/26, F 01 D 25/28*

(12) **BREVET D'INVENTION** **B1**

(54) PROPULSEUR AERONAUTIQUE.

(22) **Date de dépôt :** 11.03.22.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 15.09.23 Bulletin 23/37.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 23.08.24 Bulletin 24/34.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :**

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 Société par actions simplifiée (SAS)* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** GEA AGUILERA Fernando, LEBEAULT Eva Julie, BINDER Anthony et LALLIA Mathieu Patrick Jean-Louis.

(73) **Titulaire(s) :** SAFRAN AIRCRAFT ENGINES Société par actions simplifiée (SAS).

(74) **Mandataire(s) :** Ernest GUTMANN - Yves PLASSERAUD SAS.

FR 3 133 367 - B1

Description

Titre de l'invention : PROPULSEUR AERONAUTIQUE

Domaine technique

[0001] La présente divulgation relève du domaine des propulseurs aéronautiques d'axe longitudinal comprenant (au moins) deux rangées annulaires de pales non carénées, l'une amont, l'autre aval, le long de l'axe longitudinal.

[0002] Le propulseur aéronautique peut comprendre (au moins) un moteur thermique, en particulier turbomachine, turbomoteur, turboréacteur, turbosoufflante, et/ou (au moins) un moteur électrique, et/ou (au moins) un moteur à hydrogène, et/ou (au moins) un moteur hybride : thermique et/ou électrique et/ou à hydrogène.

Technique antérieure

[0003] On ne se réfèrera ci-après qu'au cas des turbomachines, dès lors que le(s) type(s) de moteur que comprend le propulseur aéronautique n'est pas ici déterminant.

[0004] Une turbomachine à soufflante « non carénée » (ou turbopropulseur de type « Propfan » ou « Open rotor » ou « Counter-Rotating Open Rotor ») est un type de turbomachine dans laquelle la soufflante (ou hélice) s'étend en dehors du carter moteur (ou nacelle), contrairement aux turbomachines classiques (de type « Turbofan ») dans lesquelles la soufflante est carénée. Un exemple d'une telle turbomachine est représenté à la [Fig.1]. La turbomachine 10 comprend un moyeu 12, définissant le carter moteur, et sur lequel est montée une rangée annulaire de pales amont 14 non carénées et une rangée annulaire de pales aval 16 non carénées qui sont espacées l'une de l'autre suivant un axe longitudinal X de la turbomachine 10. La rangée annulaire de pales amont 14 et la rangée annulaire de pales aval 16 définissent respectivement une hélice amont et une hélice aval. Les qualificatifs d'orientation, tels que « longitudinal », « radial » ou « circonférentiel », sont définis par référence à l'axe longitudinal X de la turbomachine 10. Les qualificatifs relatifs « amont » et « aval » sont définis l'un par rapport à l'autre en référence à l'écoulement des gaz dans la turbomachine 10 le long de l'axe longitudinal X. Par ailleurs, la turbomachine 10 comporte, d'amont en aval à l'intérieur du carter moteur, un (ou des) compresseur(s) 2, au moins une chambre de combustion 4, une (ou des) turbine(s) 6 et au moins une tuyère d'échappement 8.

[0005] Parmi ces turbomachines à soufflante non carénée, on connait les turbomachines de type « Unducted Single (or Stator) Fan » (USF) dans chacune desquelles, comme illustré à la [Fig.1], la rangée annulaire de pales amont 14 non carénées est montée mobile en rotation autour de l'axe longitudinal X et la rangée annulaire de pales aval 16 non carénées est fixe. En d'autres termes, la rangée annulaire de pales amont 14 est de type rotorique et la rangée annulaire de pales aval 16 est de type statorique Le sens

de rotation des pales rotoriques amont 14 n'est pas déterminant. La rangée annulaire de pales statoriques aval 16 peut être centrée sur un axe coïncidant ou non avec l'axe longitudinal X. Comme illustrée à la [Fig.1], la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 est centrée sur l'axe longitudinal X. Une telle configuration de type USF permet de valoriser, à travers l'hélice aval 16, l'énergie de giration de l'écoulement d'air issu de l'hélice amont. Le rendement de la turbomachine 10 est ainsi amélioré, notamment vis-à-vis d'une turbomachine classique comprenant une unique hélice rotative. Les pales rotoriques amont 16 non carénées sont entraînées en rotation autour de l'axe longitudinal X par la (ou les) turbine(s) 6 qui entraîne(nt) elle(s)-même(s) le(ou les) compresseur(s) 2. La turbomachine 10 comprend généralement un boitier de réduction de vitesse (« gearbox » en anglais) afin de découpler la vitesse de rotation des turbines 6 par rapport à la vitesse de rotation de l'hélice amont. Par ailleurs, l'un des intérêts d'une turbomachine de type USF par rapport à une turbomachine type « Counter-Rotating Open Rotor » est de réduire le bruit tonal émis par la turbomachine du fait que les pales statoriques aval 16 non carénées ne sont pas entrainées en rotation autour de l'axe longitudinal X.

[0006] La turbomachine 10 peut avoir une configuration dite « pusher » dans laquelle la rangée annulaire de pales rotoriques amont 14 et la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 sont situées au niveau d'une portion d'extrémité aval de la turbomachine 10 (configuration représentée à la [Fig.1]), ou la turbomachine 10 peut avoir une configuration dite « puller » dans laquelle la rangée annulaire de pales rotoriques amont 14 et la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 sont situées au niveau d'une portion d'extrémité amont de la turbomachine 10.

[0007] Dans la configuration puller, la rangée annulaire de pales rotoriques amont 14 et la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 peuvent entourer une section du(des) compresseur(s) 2 de la turbomachine ou du boitier de réduction de vitesse. Dans la configuration pusher, la rangée annulaire de pales amont 14 et la rangée annulaire de pales statoriques aval 14 peuvent entourer une section de la(des) turbine(s) 6 de la turbomachine 10.

[0008] L'absence de carénage entraine une augmentation du niveau de bruit émis par la turbomachine 10. En effet, le bruit généré par les rangées annulaires de pales rotoriques amont 14 et de pales statoriques aval 16 non carénées se propage en champs libre. Une cause principale du bruit émis est liée d'une part à l'interaction du sillage des pales rotoriques amont 14 sur les pales statoriques aval 16, et d'autre part, à des structures tourbillonnaires générées dans l'écoulement d'air au niveau des extrémités radialement externes libres des pales rotoriques amont 14 qui impactent les pales statoriques aval 16.

[0009] Toutefois, un niveau de bruit trop important est préjudiciable au confort des

passagers de l'aéronef sur lequel est installée la turbomachine. De plus, les normes actuelles imposent un seuil maximum de bruit, notamment en zone proche du sol, c'est-à-dire lors des phases de décollage et d'atterrissage.

[0010] En outre, lorsque l'écoulement d'air amont perçu par la turbomachine 10 n'est pas parallèle à l'axe longitudinal X (notamment lors des phases d'atterrissage et de décollage), les efforts générés sur chaque pale rotorique amont 14 varient selon la position autour de l'axe longitudinal X de la pale rotorique amont 14 lors de sa rotation autour de l'axe longitudinal X. Ainsi la directivité du rayonnement acoustique en champ lointain n'est pas axisymétrique. Aussi, l'incidence de l'écoulement d'air perçu par la turbomachine 10 est modifiée par l'hélice amont de manière hétérogène autour de l'axe longitudinal X. En conséquence, la charge aérodynamique appliquée à chacune des pales statoriques aval 16 diffère selon la position autour de l'axe longitudinal X de la pale statorique aval 16, ce qui peut mener à une poussée fournie par l'hélice aval qui n'est pas satisfaisante lors des phases de fonctionnement en incidence de la turbomachine 10, notamment lors des phases d'atterrissage et de décollage.

[0011] Par ailleurs, en fonctionnement, la présence d'éléments de structure d'aéronef (mât, fuselage, aile, bec, volets, etc.) situés à proximité de l'hélice aval peut modifier les conditions d'écoulement d'air (pression, composante longitudinale de la vitesse d'écoulement, etc.), de manière locale autour de l'axe longitudinal X, au niveau de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16. Or un écoulement d'air hétérogène autour de l'axe longitudinal X au niveau de l'hélice aval présente également l'inconvénient de causer une charge aérodynamique appliquée à chacune des pales statoriques aval 16 qui diffère selon la position autour de l'axe longitudinal X de la pale statorique aval 16.

Résumé

[0012] Il est proposé un propulseur aéronautique d'axe longitudinal comprenant un moyeu, une rangée annulaire de pales rotoriques amont non carénées et une rangée annulaire de pales statoriques aval non carénées, la rangée annulaire de pales rotoriques amont et la rangée annulaire de pales statoriques aval étant espacées l'une de l'autre suivant l'axe longitudinal, chaque pale statorique aval étant à calage variable, et dans lequel au moins l'une des pales statoriques aval est dans une configuration à calage fermé relativement à une autre des pales statoriques aval en ce qu'elle présente un angle de calage inférieur à l'angle de calage de l'autre pale statorique aval.

[0013] Chaque pale statorique aval peut ainsi être tournée autour de son axe de calage pour changer l'angle d'incidence du flux d'air sur la pale statorique aval. Le réglage en rotation de chaque pale statorique aval autour de l'axe de calage respectif peut être effectué en fonction d'une phase de fonctionnement en incidence du propulseur aéronautique (par exemple phase d'atterrissage et/ou phase de décollage), et/ou en fonction

des conditions d'écoulement d'air prises localement au niveau de la pale statorique aval, celles-ci pouvant dépendre, selon la position de la pale statorique aval autour de l'axe longitudinal, du sillage des pales rotoriques amont et/ou de la présence d'éléments de structure d'un aéronef sur lequel est monté le propulseur aéronautique (mât, fuselage, aile, bec, volets, etc.). Cela permet, d'une part, de réduire le niveau de bruit émis par le propulseur aéronautique, et d'autre part, d'améliorer les performances aérodynamiques de la rangée annulaire de pales statoriques aval.

[0014] La rangée annulaire de pales rotoriques amont est mobile en rotation autour de l'axe longitudinal. La rangée annulaire de pales statoriques aval non carénées est bloquée en rotation autour de l'axe longitudinal. La rangée annulaire de pales statoriques aval est donc fixe autour de l'axe longitudinal. Autrement dit, les pales statoriques aval ne sont pas entrainées en rotation autour de l'axe longitudinal.

[0015] Le terme « non carénée » utilisé en référence aux pales rotoriques amont et aux pales statoriques aval indique que les pales rotoriques amont et les pales statoriques aval ne sont pas entourées par une nacelle, contrairement aux propulseurs aéronautiques classiques dans lesquelles la soufflante est carénée à l'intérieur d'une nacelle.

[0016] La rangée annulaire de pales rotoriques amont et la rangée annulaire de pales statoriques aval peuvent respectivement définir une hélice amont et une hélice aval. La rangée annulaire de pales statoriques aval peut être un redresseur.

[0017] Chaque pale (amont et/ou aval) peut s'étendre radialement. Chaque pale peut s'étendre entre une extrémité radialement interne, celle-ci étant située au niveau du (c'est-à-dire la plus proche du) moyeu du propulseur aéronautique, et une extrémité radialement externe. L'extrémité radialement interne peut être, longitudinalement, au niveau d'un bord d'attaque de la pale ou au niveau de l'axe de calage de la pale considérée. L'extrémité radialement interne est aussi appelée « pied » de la pale. Une position de chaque pale autour de l'axe longitudinal peut être repérée par la position autour de l'axe longitudinal de l'extrémité radialement interne de la pale respective. L'extrémité radialement externe de chaque pale est l'extrémité opposée de l'extrémité radialement interne de la pale. L'extrémité radialement externe peut être l'extrémité libre de la pale. L'extrémité radialement interne et l'extrémité radialement externe de chacune des pales peuvent être radialement alignées et/ou au niveau d'une même position longitudinale. Il n'est pas exclu que l'extrémité radialement interne et l'extrémité radialement externe de chacune des pales peuvent être longitudinalement et/ou circonférentiellement décalées l'une par rapport à l'autre.

[0018] La position de chacune des pales (amont et/ou aval) autour de l'axe longitudinal peut être exprimée selon une position angulaire autour de l'axe longitudinal. La position angulaire de chacune des pales (amont et/ou aval) peut être repérée par rapport à un cadran horaire (ici vu de l'amont par exemple) dont les positions angulaires à 12H, 3H,

6H et 9H sont positionnées de manière conventionnelle. La position angulaire à 12H est donc positionnée verticalement vers le haut par rapport à l'axe longitudinal. La position angulaire à 6H est positionnée verticalement vers le bas par rapport à l'axe longitudinal. La position angulaire à 3H est positionnée horizontalement vers la droite par rapport à l'axe longitudinal. La position angulaire à 6H est positionnée horizontalement vers la gauche par rapport à l'axe longitudinal. Un axe s'étendant radialement en passant par les positions angulaires à 12H et 6H est ainsi perpendiculaire à un axe s'étendant radialement en passant par les positions angulaires à 3H et 9H. Les qualificatifs de position absolue, tels que les termes « haut », « bas », « gauche », « droite », etc., ou de position relative, tels que les termes « dessus », « dessous », « supérieur », « inférieur », etc., et les qualificatifs d'orientation, tels que les termes « vertical » et « horizontal » peuvent être considérés dans un état opérationnel du propulseur aéronautique, typiquement lorsque celui-ci est installée sur un aéronef posé au sol. Dans cet état du propulseur aéronautique, l'axe passant par les positions angulaires à 12H et à 6H s'étend dans la direction du champ de pesanteur, soit verticalement.

[0019] La position angulaire de chaque pale (amont et/ou aval) peut être définie par un angle mesuré autour de l'axe longitudinal positivement dans le sens horaire par rapport à la position angulaire à 12H. L'angle peut être mesuré entre un axe perpendiculaire à l'axe longitudinal du propulseur aéronautique passant par l'extrémité radialement interne (ou l'extrémité radialement externe) de la pale statorique aval et l'axe passant par les positions angulaires à 12H et 6H Ainsi, la position angulaire d'une pale située à la position angulaire à 12H peut être définie par un angle égal à 0°, la position angulaire d'une pale située à la position angulaire à 3H peut être définie par un angle à égal 90°, la position angulaire d'une pale située à la position angulaire à 6H peut être définie par un angle égal à 180° (ou de manière équivalente à -180°) et la position angulaire d'une pale située à la position angulaire à 9H peut être définie par un angle égal à 270° (ou de manière équivalente à -90°).

[0020] Chaque pale présente un rayon radialement externe. Le rayon radialement externe d'une pale peut être considéré comme la distance radiale à l'axe longitudinal de l'extrémité radialement externe de la pale. En d'autres termes, il s'agit du rayon maximal de la pale. Le rayon radialement externe maximal parmi la rangée annulaire de pales rotoriques amont correspond au rayon radialement externe de l'hélice amont. Chaque pale rotorique amont peut présenter un rayon radialement externe identique. Dans ce cas, le rayon radialement externe de chaque pale rotorique amont correspond au rayon radialement externe de l'hélice amont. Le rayon radialement externe maximal parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval correspond au rayon radialement externe de l'hélice aval. Chaque pale statorique aval peut présenter un rayon radialement externe identique. Dans ce cas, le rayon radialement externe de chaque pale

statorique aval correspond au rayon radialement externe de l'hélice aval. La rangée annulaire de pales statoriques peut comprendre deux pales statoriques (possiblement circonférentiellement consécutives) qui présentent un rayon radialement externe différent l'une de l'autre. Indépendamment ou en combinaison, la rangée annulaire de pales statoriques peut comprendre deux pales statoriques (possiblement circonférentiellement consécutives) qui présentent un rayon radialement interne différent l'une de l'autre.

[0021] Chaque pale (amont et/ou aval) peut présenter un profil aérodynamique. A cet effet, chaque pale peut comprendre un empilement de sections selon la direction radiale. Pour chaque pale, il peut être défini une ligne d'empilage qui passe par le centre de gravité de chaque section de la pale. Il n'est pas exclu que la ligne d'empilage de l'une des pales ou de plusieurs pales forme une courbe non linéaire. Dans un cas particulier, la ligne d'empilage de l'une des pales ou de plusieurs pales peut s'étendre radialement de manière rectiligne. Chaque section s'étend dans un plan de section respectif qui est perpendiculaire à la direction radiale d'extension de la pale correspondante. Chaque section peut comprendre un bord d'attaque à l'amont et un bord de fuite à l'aval entre lesquels s'étendent une ligne d'intrados et une ligne d'extrados. Chaque section peut définir un profil aérodynamique. Chaque section peut comprendre une corde définie par une portion de droite reliant le bord d'attaque au bord de fuite. Lorsqu'il est fait référence au profil aérodynamique d'une section ou d'une pale, il est entendu la conformation bidimensionnelle de la section, ou respectivement tridimensionnelle de la pale, indépendamment de l'angle de calage de la pale ou de la position angulaire de la pale autour de l'axe longitudinal.

[0022] Le bord d'attaque et le bord de fuite de l'ensemble des sections de l'empilement de sections peuvent former respectivement, pour chaque pale, un bord d'attaque et un bord de fuite de la pale. De même, la ligne d'intrados et la ligne d'extrados de l'ensemble des sections de l'empilement de sections peuvent former respectivement, pour chaque pale, une face d'intrados et une face d'extrados de la pale statorique aval.

[0023] Chaque pale statorique présente un axe de calage respectif. L'axe de calage de chaque pale statorique aval peut être compris dans un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal. Autrement dit, l'axe de calage de chaque pale statorique aval peut s'étendre selon une direction dont une composante longitudinale est nulle. L'axe de calage de chaque pale statorique aval peut s'étendre radialement. Il n'est pas exclu que l'axe de calage comprend une composante radiale et/ou une composante longitudinale et/ou une composante circonférentielle.

[0024] L'angle de calage de chaque pale statorique aval peut correspondre à l'angle formé entre, d'une part, un premier axe qui est définit par l'intersection entre le plan de section d'une section de référence parmi l'empilement de sections de la pale et un plan

perpendiculaire à l'axe longitudinal (qui peut comprendre l'axe de calage de la pale statorique aval), et d'autre part, la corde de la section de référence de la pale statorique aval. L'angle peut être mesuré du côté amont du plan perpendiculaire à l'axe longitudinal. L'angle peut être mesuré positivement selon un sens allant du premier axe à la corde de la section de référence, et plus particulièrement dans un sens coïncidant avec le sens allant de la ligne d'intrados vers la ligne d'extrados.

[0025] L'une des pales statoriques aval peut être dite « à calage fermé » relativement à une autre des pales statoriques aval lorsqu'elle présente un angle de calage inférieur à l'angle de calage de l'autre pale statorique aval, de préférence d'au moins 0,1°, de préférence encore d'au moins 1°. L'une des pales statoriques aval peut être dite « à calage ouvert » relativement à une autre des pales statoriques aval lorsqu'elle présente un angle de calage supérieur à l'angle de calage de l'autre pale statorique aval, de préférence d'au moins 0,1°, de préférence encore d'au moins 1°.

[0026] Quelle que soit la configuration de calage de chacune des pales statoriques aval, la face d'intrados et la face d'extrados peuvent être, pour chacune des pales statoriques aval, positionnées l'une par rapport à l'autre selon un même sens dans la direction circonférentielle.

[0027] Chaque pale statorique aval peut être montée pivotante autour d'un axe de calage respectif qui s'étend selon une direction qui comprend au moins une composante radiale. Le propulseur aéronautique peut comprendre en outre des moyens pour entrainer indépendamment ou ensemble chacune des pales statoriques aval en rotation autour de l'axe de calage respectif. Par exemple, le propulseur aéronautique peut comprendre des moyens pour entrainer ensemble chacune des pales statoriques aval disposées dans un secteur angulaire autour de l'axe longitudinal en rotation autour de l'axe de calage respectif. En particulier, chaque pale statorique aval peut être reliée, à son extrémité radialement interne, à un bras de calage qui est adapté pour tourner autour de l'axe de calage de la pale statorique aval.

[0028] La section de référence de chaque pale statorique aval peut être située au niveau de l'extrémité radialement interne de la pale statorique aval. Alternativement, la section de référence de chaque pale statorique aval peut être située, sur la pale statorique aval correspondante, à une distance radiale à l'axe longitudinal qui correspond à 75% du rayon radialement externe de la pale statorique aval correspondante. Alternativement encore, la section de référence de chaque pale statorique aval peut être située, sur la pale statorique aval, à une distance radiale à l'axe longitudinal qui correspond à 75% du rayon radialement externe de la pale statorique aval qui présente le rayon radialement externe minimal parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval.

[0029] Deux pales statoriques aval peuvent présenter un angle de calage différent. La différence entre l'angle de calage de deux pales statoriques aval peut être inférieure à

120°, de préférence inférieure à 60°. En particulier, deux pales statoriques aval circonférentiellement consécutives peuvent présenter un angle de calage différent. La différence entre l'angle de calage de deux pales statoriques aval circonférentiellement consécutives peut être inférieure à 45°, de préférence inférieure à 20°.

[0030] L'angle de calage de chaque pale statorique aval peut être déterminé en fonction de la position angulaire de la pale statorique aval autour de l'axe longitudinal selon une loi linéaire, parabolique, logarithmique, sinusoïdale ou exponentielle.

[0031] Chaque pale statorique aval peut présenter un angle de calage différent de l'angle de calage de l'une (ou des) pale(s) statorique(s) aval circonférentiellement adjacente(s). Cela permet d'adapter localement l'incidence de l'écoulement perçue par chaque pale statorique aval, ainsi que de réduire la corrélation des sources de bruit et donc de réduire le niveau de bruit émis par le propulseur aéronautique. Chaque pale statorique aval peut présenter un angle de calage différent de l'angle de calage des autres pales statoriques aval.

[0032] Le propulseur aéronautique peut comprendre entre 2 et 25 pales rotoriques amont. Le propulseur peut comprendre entre 2 et 25 pales statoriques aval.

[0033] Le nombre de pales rotoriques amont peut être différent du nombre de pales statoriques aval. Cela permet de réduire le nombre de pales rotoriques amont qui sont simultanément positionnées circonférentiellement autour de l'axe longitudinal en regard longitudinalement de l'une des pales statoriques aval. Ainsi, cela réduit le nombre de sillages de pales rotoriques amont qui interagissent simultanément sur les pales statoriques aval. Le bruit émis par le propulseur est alors réduit. En particulier, le nombre de pales rotoriques amont peut être supérieur au nombre de pales statoriques aval. Chaque pale statorique aval constitue une source d'émission de bruit, ainsi un nombre réduit de pales statoriques aval permet de réduire encore plus le niveau de bruit émis par le propulseur.

[0034] La solidité de la rangée annulaire de pales statoriques aval, définie comme le rapport entre la corde, et l'espacement dans la direction circonférentielle entre deux pales statoriques aval circonférentiellement consécutives, peut être inférieure ou égale à 3 sur l'ensemble de la dimension de radiale de chaque pale statorique aval. En particulier, dans un mode de réalisation privilégié, la solidité est inférieure ou égale à 1 au niveau d'une extrémité radialement externe de chaque pale statorique aval.

[0035] De même, la solidité de la rangée annulaire de pales rotoriques amont, définie comme le rapport entre la corde, et l'espacement dans la direction circonférentielle entre deux pales rotoriques amont circonférentiellement consécutives, peut être inférieure ou égale à 3 sur l'ensemble de la dimension de radiale de chaque pale rotorique amont. En particulier, dans un mode de réalisation privilégié, la solidité est inférieure ou égale à 1 au niveau d'une extrémité radialement externe de chaque pale

rotorique amont.

[0036] Le rapport entre, d'une part, la distance dans la direction longitudinale séparant un plan médian de la rangée annulaire de pales rotoriques amont et un plan médian de la rangée annulaire de pales statoriques aval, et d'autre part, le diamètre du propulseur aéronautique peut varier entre 0.01 et 0.8, de préférence entre 0.1 et 0.5. Le plan médian de chaque rangée annulaire de pales peut être normal à l'axe longitudinal. Le plan médian de chaque rangée annulaire de pales peut être le plan contenant l'axe de calage de chacune des pales de la rangée annulaire correspondante. Alternativement, le plan médian de chaque rangée annulaire de pales peut être le plan contenant l'axe de calage d'au moins une des pales de la rangée annulaire correspondante. Le diamètre du propulseur aéronautique peut être défini comme étant le double du rayon radialement externe de l'hélice amont. Le bord de fuite de chacune des pales de la rangée annulaire amont est situé longitudinalement en amont d'un bord d'attaque de chacune des pales de la rangée annulaire aval. Ainsi, on limite, voire on évite, des interférences entre rangée annulaire de pales.

[0037] Le moyeu peut être axisymétrique autour de l'axe longitudinal.

[0038] Les pales statoriques aval parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval qui sont situées autour de l'axe longitudinal dans un premier secteur angulaire autour de l'axe longitudinal peuvent être chacune dans la configuration à calage fermé relativement à au moins une pale statorique aval parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval qui est située autour de l'axe longitudinal dans un deuxième secteur angulaire autour de l'axe longitudinal, le deuxième secteur angulaire étant distinct du premier secteur angulaire.

[0039] La rangée annulaire de pales statoriques aval peut comprendre au moins deux pales statoriques aval circonférentiellement consécutives dans chacun du premier secteur angulaire et du deuxième secteur angulaire. Cela permet d'avoir un effet de calage significatif sur au moins les deux pales circonférentiellement consécutives, qui vont interagir avec un écoulement présentant des caractéristiques (incidence, vitesse, ...) similaires.

[0040] Au moins deux pales statoriques aval disposées chacune dans le premier secteur peuvent présenter des caractéristiques dimensionnelles identiques. Autrement dit, au moins deux pales statoriques aval disposées chacune dans le premier secteur peuvent présenter un profil aérodynamique identique. Il est entendu que pour chaque section de l'une des deux pales statoriques aval, il existe une section correspondante de l'autre parmi les deux pales statoriques aval qui est disposée à la même distance radiale de l'axe longitudinal et qui présente le même profil aérodynamique.

[0041] Les pales statoriques aval parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval qui sont situées autour de l'axe longitudinal dans un premier secteur angulaire autour de l'axe

longitudinal peuvent être chacune dans la configuration à calage fermé relativement à chacune des pales statoriques aval parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval qui sont située autour de l'axe longitudinal dans le deuxième secteur angulaire autour de l'axe longitudinal.

[0042] Le premier secteur angulaire peut s'étendre sur une plage angulaire inférieure ou égale à 180°, de préférence inférieure ou égale à 120°, ou encore de préférence inférieure ou égale à 90°.

[0043] Le premier secteur angulaire peut être centré sur une position angulaire à 12H. Un tel agencement permet de faciliter le contournement de l'écoulement d'air autour d'un élément de structure d'un aéronef sur lequel est monté le propulseur aéronautique qui est située à proximité du propulseur aéronautique au niveau de la position angulaire à 12H (par exemple une aile de l'aéronef sur lequel est monté le propulseur aéronautique ou le mât dans une installation sous l'aile de l'aéronef). Cela permet également de réduire ainsi une remontée de distorsion de pression entre l'élément de structure et les pales statoriques aval, et d'éviter les décollements des couches limites et la formation de zones de recirculation sur les pales statoriques aval ce qui augmenterait les pertes aérodynamiques et les niveaux de bruit.

[0044] Le premier secteur angulaire peut être centré sur une position angulaire à 3H ou à 9H. Un tel agencement permet de faciliter le contournement de l'écoulement d'air autour d'un élément de structure d'un aéronef sur lequel est monté le propulseur aéronautique qui est située à proximité du propulseur aéronautique au niveau de la position angulaire à 3H, respectivement à 9H (par exemple, le fuselage de l'aéronef sur lequel est monté le propulseur aéronautique, la position angulaire à 3H ou à 9H dépendant du côté du fuselage de l'aéronef par rapport auquel est monté le propulseur aéronautique, ou le mât dans une installation du propulseur aéronautique à l'arrière de l'aéronef). Cela permet également de réduire ainsi une remontée de distorsion de pression entre l'élément de structure et les pales statoriques aval, et d'éviter les décollements des couches limites et la formation de zones de recirculation sur les pales statoriques aval ce qui augmenterait les pertes aérodynamiques et les niveaux de bruit.

[0045] Une telle configuration permet en outre de réduire le niveau de bruit émis par le propulseur aéronautique en direction d'une position angulaire à 6H (i.e. par exemple en direction du sol).

[0046] Le bruit issu de l'interaction entre le sillage des pales rotoriques amont et les pales statoriques aval produit un rayonnement acoustique de type « dipolaire » émis par les pales statoriques aval. Par conséquent, le bruit d'interaction rayonné par les pales statoriques aval n'est pas axisymétrique autour de l'axe longitudinal et dépend de la position circonférentielle des pales statoriques aval autour de l'axe longitudinal. Ainsi, la directivité du bruit émis par les pales statoriques aval situées dans le premier secteur

angulaire est différente à la directivité du bruit émis par les autres pales statoriques aval. Cela permet de réduire le bruit dans une direction de champ libre correspondant au premier secteur angulaire.

[0047] Le premier secteur angulaire peut être centré sur une position angulaire à 6H. Une telle configuration permet de réduire le niveau de bruit émis par le propulseur aéronautique en direction d'une position angulaire à 3H et d'une position angulaire à 9H (i.e. par exemple en direction de la cabine d'un aéronef sur lequel est monté le propulseur aéronautique).

[0048] Les pales statoriques aval parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval situées autour de l'axe longitudinal dans un premier sous-secteur angulaire du deuxième secteur angulaire autour de l'axe longitudinal peuvent être chacune dans la configuration à calage ouvert relativement aux pales statoriques aval situées autour de l'axe longitudinal dans un deuxième sous-secteur angulaire du deuxième secteur angulaire autour de l'axe longitudinal, le deuxième sous-secteur angulaire étant distinct du premier sous-secteur angulaire.

[0049] Le premier sous-secteur angulaire peut s'étendre sur une plage angulaire inférieure ou égale à 180°, de préférence inférieure ou égale à 120°, de préférence encore inférieure ou égale à 90°.

[0050] Le premier secteur angulaire peut être centré sur l'une parmi des positions angulaires à 3H et à 9H et le premier sous-secteur angulaire peut être centré sur l'autre parmi les positions angulaires à 3H et à 9H. Les pales rotoriques amont peuvent être entrainées dans un sens de rotation autour de l'axe longitudinal de sorte que les pales rotoriques amont qui sont situées dans le premier secteur angulaire sont entrainées en rotation autour de l'axe longitudinal dans un sens allant d'une position angulaire à 6H vers une position angulaire à 12H et les pales rotoriques amont qui sont situées dans le premier sous-secteur angulaire sont entrainées en rotation autour de l'axe longitudinal dans un sens allant de la position angulaire à 12H vers la position angulaire à 6H. Aussi, les pales rotoriques amont sont dites « montantes » lorsqu'elles sont situées dans le premier secteur angulaire en ce qu'elles sont entrainées vers la position angulaire à 12H et les pales rotoriques amont sont dites « descendantes » lorsqu'elles sont situées dans le premier sous-secteur angulaire en ce qu'elles sont entrainées vers la position angulaire à 6H

[0051] Une telle configuration de la rangée annulaire aval permet d'assurer que les pales statoriques avals situées respectivement dans le premier secteur angulaire et le premier sous-secteur angulaire soient soumises à une charge aérodynamique similaire malgré des sillages de pales rotoriques amont différents selon que les pales rotoriques amont se situent dans le premier secteur angulaire ou le premier sous-secteur angulaire, cela résultant d'efforts exercés sur les pales rotoriques amont qui dépendent de la position

autour de l'axe longitudinal de celles-ci lors de leur rotation autour de l'axe longitudinal, notamment lors des phases de fonctionnement en incidence du propulseur aéronautique, par exemple lors des phases d'atterrissage et de décollage.

[0052] Le premier secteur angulaire peut être centré sur une position angulaire sur l'une parmi les positions angulaires à 12H et à 6H et le premier sous-secteur angulaire peut être centré sur une position angulaire sur l'autre parmi les positions angulaires à 12H et à 6H. Une telle configuration de la rangée annulaire aval permet d'assurer que les pales statoriques aval situées respectivement dans le premier secteur angulaire et le premier sous-secteur angulaire soient soumises à une charge aérodynamique similaire lorsque flux d'air incident à la rangée annulaire de pales statoriques aval présente une incidence non nulle par rapport à l'axe longitudinal, par exemple en présence d'un vent de travers.

[0053] Les pales statoriques aval parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval situées autour de l'axe longitudinal dans un premier sous-secteur angulaire du deuxième secteur angulaire autour de l'axe longitudinal peuvent être chacune dans la configuration à calage fermé relativement aux pales statoriques aval situées autour de l'axe longitudinal dans un deuxième sous-secteur angulaire du deuxième secteur angulaire autour de l'axe longitudinal, le deuxième sous-secteur angulaire étant distinct du premier sous-secteur angulaire.

[0054] Le premier sous-secteur angulaire peut s'étendre sur une plage angulaire inférieure ou égale à 180°, de préférence inférieure ou égale à 120°, de préférence encore inférieure ou égale à 90°.

[0055] Le premier secteur angulaire peut être centré sur une position angulaire à 9H et le premier sous-secteur angulaire peut être centré sur une position angulaire à 3H. Une telle configuration permet en outre de réduire le niveau de bruit émis par le propulseur aéronautique en direction d'une position angulaire à 6H (i.e. par exemple en direction du sol).

[0056] Le premier secteur angulaire peut être centré sur une position angulaire sur l'une parmi les positions angulaires à 12H et à 6H et le premier sous-secteur angulaire peut être centré sur une position angulaire sur l'autre parmi les positions angulaires à 12H et à 6H. Une telle configuration permet de réduire le niveau de bruit émis par le propulseur aéronautique en direction d'une position angulaire à 3H et d'une position angulaire à 9H (i.e. par exemple en direction de la cabine d'un aéronef sur lequel est monté le propulseur aéronautique).

[0057] Chacune des pales statoriques aval situées autour de l'axe longitudinal dans le premier secteur angulaire ou dans le deuxième secteur angulaire, ou le cas échéant dans le premier sous-secteur angulaire du deuxième secteur angulaire ou dans le deuxième sous-secteur angulaire du deuxième secteur angulaire, peut présenter un

angle de calage identique à 1° près.

[0058] Au moins deux pales statoriques aval situées autour de l'axe longitudinal dans le premier secteur angulaire ou dans le deuxième secteur angulaire, ou le cas échéant dans le premier sous-secteur angulaire du deuxième secteur angulaire ou dans le deuxième sous-secteur angulaire du deuxième secteur angulaire, peuvent présenter des caractéristiques dimensionnelles identiques.

[0059] Au moins deux pales statoriques aval situées autour de l'axe longitudinal dans le premier secteur angulaire ou dans le deuxième secteur angulaire, ou le cas échéant dans le premier sous-secteur angulaire du deuxième secteur angulaire ou dans le deuxième sous-secteur angulaire du deuxième secteur angulaire, peuvent présenter des caractéristiques dimensionnelles différentes.

[0060] Pour chaque paire d'une première pale statorique aval et d'une deuxième pale statorique aval, chaque section de la première pale statorique aval peut présenter un profil aérodynamique identique à une section correspondante de la deuxième pale statorique aval sur une portion d'extrémité amont qui s'étend longitudinalement sur une longueur relative de corde comprise entre 5% et 50%, de préférence entre 10% et 30%, lesdites sections correspondantes de la première pale statorique aval et de la deuxième pale statorique aval étant chacune disposées à une même distance radiale de l'axe longitudinal.

[0061] Selon un autre aspect, il est proposé un ensemble propulsif comportant un propulseur aéronautique tel que décrit ci-avant et un pylône adapté pour fixer le propulseur aéronautique à un fuselage ou une voilure de l'aéronef, le pylône s'étendant selon une direction comprenant au moins une direction radiale depuis une extrémité radialement interne par laquelle celui-ci est relié au moyeu du propulseur, le pylône comprenant un bord d'attaque et un bord de fuite entre lesquels s'étendent de chaque côté dans la direction circonférentielle une face d'extrados et une face d'intrados, la face d'extrados et la face d'intrados du pylône étant, au moins sur une partie amont du pylône, disposées circonférentiellement de chaque côté d'un plan radial définit par l'axe longitudinal et un axe radial passant, au moins en partie, par le bord d'attaque du pylône, et dans lequel la rangée annulaire de pales statoriques aval du propulseur aéronautique peut comprendre :

- un premier groupe comprenant une ou plusieurs pale(s) aval qui présente(nt) chacune une extrémité aval située circonférentiellement du même côté que la face d'extrados du pylône par rapport au plan radial, le premier groupe comprenant au moins la pale statorique aval qui est la plus proche circonférentiellement du plan radial et dont l'extrémité aval est située circonférentiellement du même côté que la face d'extrados du pylône par rapport au plan radial,
- un second groupe comprenant une ou plusieurs pale(s) aval qui présente(nt)

chacune une extrémité aval située circonférentiellement du même côté que la face d'intrados du pylône par rapport au plan radial, le second groupe comprenant au moins la pale statorique aval qui est la plus proche circonférentiellement du plan radial et dont l'extrémité aval est située circonférentiellement du même côté que la face d'intrados du pylône par rapport au plan radial.

[0062] Chaque pale statorique aval du premier groupe peut être dans une configuration à calage fermé relativement à chaque pale statorique aval du second groupe.

[0063] Une telle configuration de la rangée annulaire aval permet d'assurer que les pales statoriques aval du premier groupe et les pales statoriques aval du second groupe soient soumises à une charge aérodynamique relativement similaire malgré des conditions d'écoulement d'air au niveau de la rangée annulaire de pales statoriques aval qui sont différentes de part et d'autre du plan radial en raison de la présence du pylône.

[0064] Un tel agencement permet de faciliter le contournement de l'écoulement autour du pylône, de réduire ainsi une remontée de distorsion de pression entre le pylône et les pales statoriques aval du premier type, et d'éviter les décollements des couches limites et la formation de zones de recirculation sur les pales statoriques aval du premier type ce qui augmenterait les pertes aérodynamiques et les niveaux de bruit.

[0065] Il est entendu par « face intrados » et « face extrados » du pylône, les faces d'extrémité du pylône dans la direction circonférentielle, celles-ci étant positionnées l'une par rapport à l'autre dans le même sens dans la direction circonférentielle que les faces d'intrados et d'extrados de chacune des pales statoriques aval. Le pylône peut présenter une forme qui ne présente pas un profil aérodynamique.

[0066] Autrement dit, chaque pale statorique aval du second groupe est dans une configuration à calage ouvert relativement à chaque pale statorique aval du premier groupe.

[0067] Le pylône peut être positionné autour de l'axe de rotation au niveau d'une position angulaire à 12H ou 6H autour de l'axe longitudinal du propulseur aéronautique. Une telle configuration permet la fixation du propulseur aéronautique sous ou sur la voilure de l'aéronef. Le pylône peut être positionné autour de l'axe de rotation au niveau d'une position angulaire à 3H ou 9H autour de l'axe longitudinal du propulseur aéronautique. Une telle configuration permet la fixation du propulseur aéronautique au niveau d'une partie arrière d'un fuselage de l'aéronef.

[0068] Le pylône peut être agencé longitudinalement, en tout ou partie, à l'aval de la rangée annulaire de pales statoriques aval. Le pylône peut être agencé circonférentiellement, en tout ou partie, entre deux pales statoriques aval du premier type circonférentiellement adjacentes.

[0069] Les pales statoriques aval du premier groupe peuvent être circonférentiellement consécutives deux à deux et/ou les pales statoriques aval du second groupe sont circonférentiellement consécutives deux à deux.

[0070] Selon un autre aspect, il est proposé un aéronef comportant un propulseur aéronautique tel que décrit ci-avant ou un ensemble propulsif tel que décrit ci-avant.

[0071] Selon un autre aspect, il est proposé un procédé d'utilisation du propulseur aéronautique tel que décrit ci-avant ou de l'ensemble propulsif tel que décrit ci-avant, le procédé comprenant le réglage de l'angle de calage de chaque pale statorique aval en fonction d'une phase de fonctionnement en incidence du propulseur aéronautique.

[0072] Une phase de fonctionnement en incidence peut être caractérisée par une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- un Mach d'avancement de l'ensemble propulsif entre 0 et 0,4 ;
- l'ensemble propulsif comprend un dispositif hypersustentateurs (bec, volet) dans un état au moins partiellement déployé ;
- l'altitude de l'ensemble propulsif est comprise est inférieure ou égale à 5000 m ;
- la pente de la trajectoire de l'ensemble propulsif est comprise entre -1° et -10° (phase d'incidence d'atterrissage) ou entre 1° et 20° (phase d'incidence au décollage) ;
- l'ensemble propulsif est fixé à un aéronef dont l'angle d'attaque (i.e. l'angle entre la vitesse d'avancement et l'axe principale d'un fuselage de l'aéronef) est compris entre 0° et 10° (phase d'incidence d'atterrissage) ou entre 0° et 15° (phase d'incidence au décollage).

[0073] Le procédé peut comprendre un relevé d'une ou plusieurs des caractéristiques précédentes et une transmission de la (les) caractéristique(s) sous forme de données à un système de régulation numérique (par exemple une interface entre un cockpit et le propulseur, appelée « Full Authority Digital Engine Control », aussi dénommée « FADEC »). La détermination de l'angle de calage de chaque pales statoriques aval du second type peut être réalisée par asservissement desdites données, notamment par le système de régulation numérique.

Brève description des dessins

[0074] D'autres caractéristiques, détails et avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-après, et à l'analyse des dessins annexés, sur lesquels :

[0075] [Fig.1] est une vue schématique partielle en coupe d'une turbomachine à soufflante non carénée selon la technique antérieure ;

[0076] [Fig.2] est une vue schématique partielle d'une turbomachine à soufflante non carénée selon la présente description ;

[0077] [Fig.3] comporte la figure 3a qui est une vue schématique d'une pale statorique aval de la turbomachine de la [Fig.2] et la figure 3b qui est une vue schématique de la pale statorique aval de la figure 3a dans le plan de coupe III-III ;

[0078] [Fig.4] est une vue schématique en coupe d'une rangée annulaire de pales statoriques aval de la turbomachine de la [Fig.2] selon une première configuration ;

[0079] [Fig.5] est une vue schématique en coupe d'une rangée annulaire de pales statoriques aval de la turbomachine de la [Fig.2] selon une deuxième configuration ;

[0080] [Fig.6] est une vue schématique en coupe d'une rangée annulaire de pales statoriques aval de la turbomachine de la [Fig.2] selon une troisième configuration ;

[0081] [Fig.7] comporte les figures 7a et 7b qui sont respectivement une vue schématique en coupe d'une rangée annulaire de pales statoriques aval de la turbomachine de la [Fig.2] selon une quatrième configuration et un graphique illustrant la quatrième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval ;

[0082] [Fig.8] comporte les figures 8a et 8b qui sont respectivement une vue schématique en coupe d'une rangée annulaire de pales statoriques aval de la turbomachine de la [Fig.2] selon une cinquième configuration et un graphique illustrant la cinquième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval ;

[0083] [Fig.9] comportent les figures 9a et 9b qui sont chacune une vue schématique en coupe d'une rangée annulaire de pales statoriques aval de la turbomachine de la [Fig.2] selon une variante respective d'une sixième configuration ;

[0084] [Fig.10] comporte les figures 10a et 10b qui sont chacune une vue schématique en coupe d'une rangée annulaire de pales statoriques aval de la turbomachine de la [Fig.2] selon une variante respective d'une septième configuration ;

[0085] [Fig.11] est une vue partielle schématique circonférentiellement étendue d'une huitième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval de la turbomachine de la [Fig.2].

Description des modes de réalisation

[0086] Il est maintenant fait référence à la [Fig.2]. La [Fig.2] représente un ensemble propulsif pour un aéronef qui comprend une turbomachine 10 d'axe longitudinal X et un pylône 18 adapté pour fixer la turbomachine 10 à l'aéronef, ici au niveau d'une aile de l'aéronef. Alternativement le pylône 18 peut être adapté pour fixer la turbomachine 10 au niveau d'un fuselage, notamment arrière, de l'aéronef. Comme précédemment, les qualificatifs d'orientation, tels que « longitudinal », « radial » ou « circonférentiel », sont définis en référence à l'axe longitudinal X de la turbomachine 10. Les qualificatifs relatifs « amont » et « aval » sont définis l'un par rapport à l'autre en référence à l'écoulement des gaz dans la turbomachine 10 le long de l'axe longitudinal X.

[0087] La turbomachine 10 comprend un moyeu 12. Le moyeu 12 est ici axisymétrique autour de l'axe longitudinal X. La turbomachine 10 machine comprend en outre une rangée annulaire de pales rotoriques amont 14 non carénées et une rangée annulaire de pales statoriques aval 16 non carénées. La rangée annulaire de pales rotoriques amont 14 et la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 sont espacées l'une de l'autre

suivant l'axe longitudinal X. Le terme « non carénée » utilisé en référence aux pales rotoriques amont 14 et aux pales statoriques aval 16 indique que les pales rotoriques amont 14 et les pales statoriques aval 16 ne sont pas entourées par une nacelle, contrairement aux turbomachines 10 classiques dans lesquelles la soufflante est carénée à l'intérieur d'une nacelle.

[0088] La rangée annulaire de pales rotoriques amont 14 est mobile en rotation autour de l'axe longitudinal X. La rangée annulaire de pales statoriques aval 16 non carénées est bloquée en rotation autour de l'axe longitudinal X. La rangée annulaire de pales statoriques aval 16 est donc fixe autour de l'axe longitudinal X. Autrement dit, les pales statoriques aval 16 ne sont pas entrainées en rotation autour de l'axe longitudinal X. La rangée annulaire de pales rotoriques amont 14 et la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 définissent respectivement une hélice amont et une hélice aval.

[0089] La [Fig.4] représente la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 selon une première configuration et la [Fig.3] représente l'une des pales statoriques aval 16 plus en détails. Chaque pale statorique aval s'étend radialement entre une extrémité radialement interne 20, celle-ci étant située au niveau du (c'est-à-dire la plus proche du) moyeu 12 de la turbomachine 10, et une extrémité radialement externe 21. Dans l'exemple représenté, l'extrémité radialement interne 20 est, longitudinalement, au niveau d'un bord d'attaque 22 de la pale. L'extrémité radialement interne 20 est aussi appelée « pied » de la pale. La position de chaque pale autour de l'axe longitudinal X telle que considérée par la suite est repérée par la position autour de l'axe longitudinal X de l'extrémité radialement interne 20 de la pale respective. L'extrémité radialement externe 21 de chaque pale statorique aval 16 est l'extrémité opposée de l'extrémité radialement interne 20 de la pale. L'extrémité radialement externe 21 est l'extrémité libre de la pale statorique aval 16.

[0090] La position de chacune des pales statoriques aval 16 autour de l'axe longitudinal X est exprimée selon une position angulaire autour de l'axe longitudinal X. La position angulaire de chacune des pales statoriques aval 16 est repérée par rapport à un cadran horaire (ici considéré vu de l'amont par exemple) dont les positions angulaires à 12H, 3H, 6H et 9H sont positionnées de manière conventionnelle. La position angulaire à 12H est donc positionnée verticalement vers le haut par rapport à l'axe longitudinal X. La position angulaire à 6H est positionnée verticalement vers le bas par rapport à l'axe longitudinal X. La position angulaire à 3H est positionnée horizontalement vers la droite par rapport à l'axe longitudinal X. La position angulaire à 9H est positionnée horizontalement vers la gauche par rapport à l'axe longitudinal X. Un axe s'étendant radialement en passant par les positions angulaires à 12H et 6H est ainsi perpendiculaire à un axe s'étendant radialement en passant par les positions angulaires à 3H et 9H. Les qualificatifs de position absolue, tels que les termes « haut », « bas », « gauche », «

droite », etc., ou de position relative, tels que les termes « dessus », « dessous », « supérieur », « inférieur », etc., et les qualificatifs d'orientation, tels que les termes « vertical » et « horizontal » peuvent être considérés dans un état opérationnel de la turbomachine 10, typiquement lorsque celui-ci est installée sur un aéronef posé au sol. Dans cet état de la turbomachine 10, l'axe passant par les positions angulaires à 12H et à 6H s'étend dans la direction du champ de pesanteur, soit verticalement.

[0091] La position angulaire de chaque pale statorique aval 16 est aussi définie par un angle θ mesuré autour de l'axe longitudinal X positivement dans le sens horaire par rapport à la position angulaire à 12H. Par exemple, pour chaque pale statorique aval 16, l'angle θ peut être mesuré entre un axe perpendiculaire à l'axe longitudinal X de la turbomachine 10 passant par l'extrémité radialement interne 20 (ou l'extrémité radialement externe 21) de la pale statorique aval 16 et l'axe passant par les positions angulaires à 12H et 6H. Ainsi, la position angulaire d'une pale statorique aval 16 située à la position angulaire à 12H est définie par un angle θ égal à 0°, la position angulaire d'une pale statorique aval 16 située à la position angulaire à 3H est définie par un angle θ à égal 90°, la position angulaire d'une pale statorique aval 16 située à la position angulaire à 6H est définie par un angle θ égal à 180° (ou de manière équivalente à -180°) et la position angulaire d'une pale statorique aval 16 située à la position angulaire à 9H est définie par un angle θ égal à 270° (ou de manière équivalente à -90°).

[0092] Chaque pale statorique aval 16 présente un rayon radialement externe. Le rayon radialement externe d'une pale est la distance radiale à l'axe longitudinal X de l'extrémité radialement externe 21 de la pale. En d'autres termes, il s'agit du rayon maximal de la pale. Dans l'exemple illustré, chaque pale statorique aval 16 présente un rayon radialement externe identique qui correspond ainsi au rayon radialement externe de l'hélice aval.

[0093] Chaque pale statorique aval 16 définit un profil aérodynamique. A cet effet, chaque pale statorique aval 16 comprend un empilement de sections 30 selon la direction radiale. L'une des sections 30 est représentée à la figure 3b. Chaque section 30 s'étend dans un plan de section respectif qui est perpendiculaire à la direction radiale d'extension de la pale statorique aval 16 correspondante. Chaque section 30 comprend un bord d'attaque 31 à l'amont et un bord de fuite 32 à l'aval entre lesquels s'étendent une ligne d'intrados 33 et une ligne d'extrados 34. Chaque section 30 définit un profil aérodynamique. Chaque section 30 comprend aussi une corde C définie par une portion de droite reliant le bord d'attaque 31 au bord de fuite 32.

[0094] Le bord d'attaque 31 et le bord de fuite 32 de l'ensemble des sections 30 de l'empilement de sections 30 forment respectivement, pour chaque pale statorique aval 16, un bord d'attaque 22 et un bord de fuite 23 de la pale. De même, la ligne d'intrados

33 et la ligne d'extrados 34 de l'ensemble des sections 30 de l'empilement de sections 30 forment respectivement, pour chaque pale statorique aval 16, une face d'intrados 24 (visible à la figure 3a) et une face d'extrados (non visible à la figure 3a) de la pale statorique aval 16.

[0095] Dans les exemples illustrés qui sont décrits ci-après, chaque pale statorique aval 16 présente des caractéristiques dimensionnelles identiques. Autrement dit, chaque pale statoriques aval 16 présente un profil aérodynamique identique. Il est donc entendu que pour chaque section 30 de l'une des pales statoriques aval 16, il existe une section 30 correspondante d'un autre parmi les pales statoriques aval 16 qui est disposée à la même distance radiale de l'axe longitudinal et qui présente le même profil aérodynamique. Selon une variante non représentée, au moins deux pales statoriques aval 16 peuvent présenter des caractéristiques dimensionnelles différentes. Autrement dit, au moins deux pales statoriques aval 16 peuvent présenter un profil aérodynamique différent l'une de l'autre.

[0096] Chaque pale statorique aval 16 présente un axe de calage AC respectif. Comme visible à la figure 3a, l'axe de calage AC de chaque pale statorique aval 16 est ici compris dans un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal X. En particulier, l'axe de calage AC de chaque pale statorique aval 16 s'étend radialement dans l'exemple illustré.

[0097] Tel que représentée à la figure 3b, L'angle de calage γ de chaque pale statorique aval 16 correspond à l'angle formé entre, d'une part, un premier axe A1 qui est définit par l'intersection entre le plan de section d'une section 30 de référence parmi l'empilement de sections 30 de la pale statorique aval 16 et un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal X qui comprend l'axe de calage AC de la pale statorique aval 16, et d'autre part, la corde C de la section 30 de référence de la pale statorique aval 16. L'angle de calage γ est mesuré du côté amont du plan perpendiculaire à l'axe longitudinal X qui comprend l'axe de calage AC de la pale statorique aval 16. L'angle de calage γ est mesuré positivement selon un sens allant du premier axe A1 à la corde C de la section 30 de référence, et plus particulièrement dans un sens coïncidant avec le sens allant de la ligne d'intrados 33 vers la ligne d'extrados 34.

[0098] La section 30 de référence de chaque pale statorique aval 16 est ici située, sur la pale statorique aval 16 correspondante, à une distance radiale à l'axe longitudinal X qui correspond à 75% du rayon radialement externe de la pale statorique aval 16 correspondante.

[0099] Dans la suite, une première pale statorique aval 16 est dite « à calage fermé » relativement à une seconde pale statorique aval 16 lorsqu'elle présente un angle de calage γ inférieur à l'angle de calage γ de la seconde pale statorique aval 16. A l'inverse, une première pale statorique aval 16 est dite « à calage ouvert » relativement à une seconde

pale statorique aval 16 lorsqu'elle présente un angle de calage γ supérieur à l'angle de calage γ de la seconde pale statorique aval 16.

[0100] Quelle que soit la configuration de calage de chacune des pales statoriques aval 16, la face d'intrados 24 et la face d'extrados sont, pour chacune des pales statoriques aval 16, positionnées l'une par rapport à l'autre selon un même sens dans la direction circonférentielle.

[0101] La solidité de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16, définie comme le rapport entre la corde C, et l'espacement dans la direction circonférentielle entre deux pales statoriques aval 16 circonférentiellement consécutives, peut être inférieure ou égale à 3 sur l'ensemble de la dimension de radiale de chaque pale statorique aval 16. En particulier, dans un mode de réalisation privilégié, la solidité est inférieure ou égale à 1 au niveau d'une extrémité radialement externe 21 de chaque pale statorique aval 16.

[0102] Le rapport entre, d'une part, la distance L dans la direction longitudinale séparant un plan médian PAM de la rangée annulaire de pales rotoriques amont 14 et un plan médian PAV de la rangée annulaire de pales statoriques aval, et d'autre part, le diamètre D de la turbomachine 10 peut varier entre 0.01 et 0.8, de préférence entre 0.1 et 0.5. Le plan médian PAM, PAV de chaque rangée annulaire de pales est ici normal à l'axe longitudinal X. Le plan médian PAM, PAV de chaque rangée annulaire de pales est le plan contenant l'axe de calage AC de chacune des pales de la rangée annulaire correspondante. Le diamètre D de la turbomachine 10 correspond ici au diamètre de l'hélice amont. Le bord de fuite de chacune des pales de la rangée annulaire amont 14 est situé longitudinalement en amont d'un bord d'attaque 22 de chacune des pales de la rangée annulaire aval 16. Ainsi, on limite, voire on évite, des interférences entre les rangées annulaires de pales.

[0103] Le pylône 18 présente une extrémité radialement interne 20 par laquelle il est relié au moyeu 12 de la turbomachine 10. Le pylône 18 s'étend globalement radialement en ce qu'il s'étend selon une direction comprenant au moins une composante radiale. Il n'est pas exclu que le pylône 18 s'étend selon une direction comprenant aussi une composante longitudinale et/ou une composante circonférentielle. Dans l'exemple de la [Fig.2], le pylône s'étend selon une direction comprenant une composante radiale et une composante longitudinale. Le pylône 18 comprend un bord d'attaque 41 et un bord de fuite 42 entre lesquels s'étendent de chaque côté dans la direction circonférentielle une face d'extrados 44 et une face d'intrados 43. La face d'extrados 44 et la face d'intrados 43 du pylône 18 sont, au moins sur une partie amont du pylône 18, disposées circonférentiellement de chaque côté d'un plan radial définit par l'axe longitudinal X et un axe radial passant par le bord d'attaque 41 de l'extrémité radialement interne du pylône 18. Dans l'exemple illustré, le pylône 18 présente un profil aéro-

dynamique.

[0104] Dans l'exemple de la [Fig.2], le pylône 18 est positionné autour de l'axe de rotation au niveau d'une position angulaire à 12H autour de l'axe longitudinal X de la turbomachine 10. Une telle configuration permet la fixation de la turbomachine 10 sous la voilure de l'aile l'aéronef. Aussi, le pylône 18 est agencé longitudinalement à l'aval de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16.

[0105] Chaque pale statorique aval 16 est à calage variable. Chaque pale statorique aval 16 peut ainsi être tournée autour de son axe de calage AC pour changer l'angle d'incidence du flux d'air sur la pale statorique aval 16. En outre, au moins l'une des pales statoriques aval 16 est dans une configuration à calage fermé relativement à une autre des pales statoriques aval 16. Le réglage en rotation de chaque pale statorique aval 16 autour de l'axe de calage AC respectif peut alors être effectué en fonction de l'incidence de la turbomachine 10 qui varie selon la phase de fonctionnement en incidence (par exemple phase d'atterrissage et/ou phase de décollage), et/ou en fonction des conditions d'écoulement d'air prises localement au niveau de la pale statorique aval 16, celles-ci pouvant dépendre, selon la position de la pale statorique aval 16 autour de l'axe longitudinal X, du sillage des pales rotoriques amont 14 et/ou de la présence d'éléments de structure d'un aéronef sur lequel est monté la turbomachine 10 (mât, fuselage, aile, bec, volets, empennage, etc.). Cela permet, d'une part, de réduire le niveau de bruit émis par la turbomachine 10, et d'autre part, d'améliorer les performances aérodynamiques de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16.

[0106] Pour ce faire, chaque pale statorique aval 16 peut être montée pivotante autour d'un axe de calage AC respectif, qui s'étend ici selon une direction radiale, pour changer l'angle d'incidence du flux d'air sur chaque pale statorique aval 16. La turbomachine 10 peut comprendre en outre des moyens pour entrainer indépendamment ou ensemble chacune des pales statoriques aval 16 en rotation autour de l'axe de calage AC respectif. Par exemple, la turbomachine 10 peut comprendre des moyens pour entrainer ensemble chacune des pales statoriques aval 16 disposés dans un secteur angulaire autour de l'axe longitudinal X en rotation autour de l'axe de calage AC respectif. Ces moyens peuvent être agencés radialement à l'intérieur du moyeu 12. En particulier, chaque pale statorique aval 16 peut être reliée, à son extrémité radialement interne, à un bras de calage qui est adapté pour tourner autour de l'axe de calage AC de la pale statorique aval 16.

[0107] Selon la première configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16, les pales statoriques aval 16 parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 qui sont situées autour de l'axe longitudinal X dans un premier secteur angulaire S1 autour de l'axe longitudinal X sont chacune tournée autour de l'axe de calage AC respectif de

sorte à être dans la configuration à calage fermé relativement à au moins une pale statorique aval 16 parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 qui est située autour de l'axe longitudinal X dans un deuxième secteur angulaire S2 autour de l'axe longitudinal X. Le deuxième secteur angulaire S2 est distinct du premier secteur angulaire S1. Ici le premier secteur angulaire S1 et le deuxième secteur angulaire sont complémentaires en ce qu'ils s'étendent sur des plages angulaires dont la somme est égale à 360°.

[0108] En particulier, dans la première configuration, les pales statoriques aval 16 parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 qui sont situées dans le premier secteur angulaire S1 autour de l'axe longitudinal X sont chacune dans la configuration à calage fermé relativement à chacune des pales statoriques aval 16 parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 qui sont situées autour de l'axe longitudinal X dans le deuxième secteur angulaire S2 autour de l'axe longitudinal X.

[0109] Selon la première configuration, le premier secteur angulaire S1 s'étend sur une plage angulaire égale à 180°. Le premier secteur angulaire S1 est avantageusement centré sur la position angulaire à 12H. Un tel agencement permet de faciliter le contournement de l'écoulement d'air autour d'un élément de structure d'un aéronef sur lequel est monté la turbomachine 10 qui est située à proximité de la turbomachine 10 au niveau de la position angulaire à 12H (par exemple une aile de l'aéronef sur lequel est monté la turbomachine 10). Cela permet de de réduire l'interaction avec l'écoulement d'air autour d'un élément de structure d'un aéronef sur lequel est monté la turbomachine 10 qui est située à proximité de la turbomachine 10 au niveau de la position angulaire à 12H. Cela permet également de réduire ainsi une remontée de distorsion de pression entre l'élément de structure et les pales statoriques aval 16, et d'éviter les décollements des couches limites et la formation de zones de recirculation sur les pales statoriques aval 16 ce qui augmenterait les pertes aérodynamiques et les niveaux de bruit.

[0110] La [Fig.5] représente une deuxième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16. La deuxième configuration diffère de la première configuration en ce que le premier secteur angulaire S1 est avantageusement centré sur la position angulaire à 9H. Un tel agencement permet de faciliter le contournement de l'écoulement d'air autour d'un élément de structure d'un aéronef sur lequel est monté la turbomachine 10 qui est située à proximité de la turbomachine 10 au niveau de la position angulaire à 9H (par exemple le fuselage de l'aéronef sur lequel est monté la turbomachine 10). Cela permet également de réduire ainsi une remontée de distorsion de pression entre l'élément de structure et les pales statoriques aval 16, et d'éviter les décollements des couches limites et la formation de zones de recirculation sur les pales statoriques aval 16 ce qui augmenterait les pertes aérodynamiques et les niveaux de

bruit. Une telle configuration permet en outre de réduire le niveau de bruit émis par la turbomachine 10 en direction de la position angulaire à 6H (i.e. en direction du sol) en ce qu'il a été constaté qu'une configuration à calage fermé permet de réduire le niveau de bruit émis par la pale.

[0111] Selon une variante non représentée, le premier secteur peut être centré sur la position angulaire à 3H pour obtenir un effet similaire lorsque l'élément de structure de l'aéronef (notamment le fuselage) est situé à proximité de la turbomachine 10 au niveau de la position angulaire à 9H (la position angulaire à 3H ou à 9H dépendant du côté du fuselage de l'aéronef par rapport auquel est monté la turbomachine 10).

[0112] La [Fig.6] représente une troisième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16. La troisième configuration diffère de la première configuration et de la deuxième configuration en ce que le premier secteur angulaire S1 est avantageusement centré sur la position angulaire à 6H. Une telle configuration permet de réduire le niveau de bruit émis par la turbomachine 10 en direction de la position angulaire à 3H et de la position angulaire à 9H (i.e. en direction de la cabine d'un aéronef sur lequel est monté la turbomachine 10) en ce qu'il a été constaté qu'une configuration à calage fermé permet de réduire le niveau de bruit émis par la pale.

[0113] La figure 7a représente une quatrième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16. La figure 7b est un graphique qui illustre la quatrième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16. Le graphique représente l'angle de calage γ de chacune des pales statoriques aval 16 en fonction de l'angle θ associé à la position angulaire de la pale. Selon la quatrième configuration, le premier secteur angulaire S1 est centré sur la position angulaire à 9H et s'étend sur une plage angulaire inférieure à 90°. Le deuxième secteur angulaire S2 est centré sur la position angulaire à 3H.

[0114] Par ailleurs, les pales statoriques aval 16 parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 qui sont situées autour de l'axe longitudinal X dans un premier sous-secteur $S2_1$ angulaire du deuxième secteur angulaire S2 autour de l'axe longitudinal X sont chacune tournées autour de l'axe de calage AC respectif de sorte à être dans la configuration à calage ouvert relativement aux pales statoriques aval 16 situées autour de l'axe longitudinal X dans un deuxième sous-secteur angulaire $S2_2$ du deuxième secteur angulaire S2 autour de l'axe longitudinal X. Le deuxième sous-secteur angulaire $S2_2$ est distinct du premier sous-secteur $S2_1$ angulaire.

[0115] Les pales statoriques aval 16 parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 qui sont situées autour de l'axe longitudinal X dans le premier sous-secteur $S2_1$ angulaire sont aussi chacune tournées autour de l'axe de calage AC respectif de sorte à être dans la configuration à calage ouvert relativement aux pales statoriques aval 16 situées autour de l'axe longitudinal X dans un troisième sous-secteur $S2_3$ angulaire du

deuxième secteur angulaire S2 autour de l'axe longitudinal X. Le troisième sous-secteur angulaire $S2_3$ est distinct du premier sous-secteur angulaire $S2_1$ et du deuxième sous-secteur angulaire $S2_2$.

[0116] Le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ s'étend sur une plage angulaire inférieure à 90°. Le deuxième sous-secteur angulaire $S2_2$ et le troisième sous-secteur angulaire $S2_3$ s'étendent chacun sur une plage angulaire supérieure à 90°.

[0117] Le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ est avantageusement centré sur l'autre parmi les positions angulaires à 3H. Par ailleurs, comme représenté à la figure 7a, les pales rotoriques amont 14 parmi la rangée annulaire de pales rotoriques amont 14 sont entrainées dans un sens de rotation R1 autour de l'axe longitudinal X de sorte que les pales rotoriques amont 14 qui sont situées dans le premier secteur angulaire S1 sont entrainées en rotation autour de l'axe longitudinal X dans un sens allant de la position angulaire à 6H vers la position angulaire à 12H et les pales rotoriques amont 14 parmi la rangée annulaire de pales rotoriques amont 14 qui sont situées dans le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ sont entrainées en rotation autour de l'axe longitudinal X dans un sens allant de la position angulaire à 12H vers la position angulaire à 6H. Une telle configuration de la rangée annulaire aval permet d'assurer que les pales statoriques aval 16 situées respectivement dans le premier secteur angulaire S1 et le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ soient soumises à une charge aérodynamique similaire malgré des sillages de pales rotoriques amont 14 différents selon que les pales rotoriques amont 14 se situent dans le premier secteur angulaire S1 ou le premier sous-secteur angulaire $S2_1$, cela résultant d'efforts exercés sur les pales rotoriques amont 14 qui dépendent de la position autour de l'axe longitudinal X de celles-ci lors de leur rotation autour de l'axe longitudinal X et pendant une phase d'incidence.

[0118] Le deuxième sous-secteur angulaire $S2_2$ et le troisième sous-secteur angulaire $S2_3$ sont respectivement centrés sur les positions angulaires à 12H et 6H.

[0119] La différence entre l'angle de calage γ de deux pales statoriques aval 16 est inférieure à 120°, de préférence inférieure à 60°. En particulier, deux pales statoriques aval 16 circonférentiellement consécutives peuvent présenter un angle de calage γ différent. La différence entre l'angle de calage γ de deux pales statoriques aval 16 circonférentiellement consécutives est inférieure à 45°, de préférence inférieure à 20°

[0120] La figure 8a représente une cinquième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16. La figure 8b est un graphique qui illustre la cinquième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16. Le graphique représente l'angle de calage γ de chacune des pales statoriques aval en fonction de l'angle θ associé à la position angulaire de la pale La cinquième configuration diffère de la quatrième configuration en ce que le premier secteur angulaire S1 est avantageusement centré sur une position angulaire à 12H et le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ est

avantageusement centré sur une position angulaire à 6H. Une telle configuration de la rangée annulaire aval permet d'assurer que les pales statoriques aval 16 situées respectivement dans le premier secteur angulaire S1 et le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ soient soumises à une même charge aérodynamique lorsque flux d'air incident à la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 présente une incidence non nulle par rapport à l'axe longitudinal X, par exemple en présence d'un vent de travers.

[0121] La figure 9a représente une première variante d'une sixième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16. Selon la première variante de la sixième configuration, le premier secteur angulaire S1 est centré sur la position angulaire à 9H et s'étend sur une plage angulaire inférieure à 90°. Le deuxième secteur angulaire S2 est centré sur la position angulaire à 3H.

[0122] Par ailleurs, les pales statoriques aval 16 parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 qui sont situées autour de l'axe longitudinal X dans un premier sous-secteur angulaire $S2_1$ du deuxième secteur angulaire S2 autour de l'axe longitudinal X sont chacune tournées autour de l'axe de calage AC respectif de sorte à être dans la configuration à calage fermé relativement aux pales statoriques aval 16 situées autour de l'axe longitudinal X dans un deuxième sous-secteur angulaire $S2_2$ du deuxième secteur angulaire S2 autour de l'axe longitudinal X.

[0123] Les pales statoriques aval 16 parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 qui sont situées autour de l'axe longitudinal X dans le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ sont aussi chacune tournées autour de l'axe de calage AC respectif de sorte à être dans la configuration à calage fermé relativement aux pales statoriques aval 16 situées autour de l'axe longitudinal X dans un troisième sous-secteur angulaire $S2_3$ du deuxième secteur angulaire S2 autour de l'axe longitudinal X. Le troisième sous-secteur angulaire $S2_3$ est distinct du premier sous-secteur angulaire $S2_1$ et du deuxième secteur angulaire S2.

[0124] Le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ s'étend sur une plage angulaire inférieure à 90°. Le deuxième sous-secteur angulaire $S2_2$ et le troisième sous-secteur angulaire $S2_3$ s'étendent chacun sur une plage angulaire supérieure à 90°.

[0125] Le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ est avantageusement centré sur la position angulaire à 3H. Une telle configuration permet en outre de réduire davantage le niveau de bruit émis par la turbomachine 10 en direction d'une position angulaire à 6H (i.e. en direction du sol), notamment par rapport à la deuxième configuration.

[0126] Le deuxième sous-secteur angulaire $S2_2$ et le troisième sous-secteur angulaire $S2_3$ sont respectivement centrés sur les positions angulaires à 6H et 12H.

[0127] La figure 9b représente une deuxième variante de la sixième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16. Selon la deuxième variante de la sixième configuration diffère de la première variante en ce que le premier secteur angulaire S1

et le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ s'étendent chacun sur une plage angulaire supérieure à 90° et le deuxième sous-secteur angulaire $S2_2$ et le troisième sous-secteur angulaire $S2_3$ s'étendent chacun sur une plage angulaire inférieure à 90°.

[0128] La [Fig.10] représente une septième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16. La septième configuration diffère de la quatrième configuration en ce que le premier secteur angulaire S1 est avantageusement centré sur une position angulaire à 12H et le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ est avantageusement centré sur une position angulaire à 6H. Une telle configuration permet de réduire le niveau de bruit émis par la turbomachine 10 en direction d'une position angulaire à 3H et d'une position angulaire à 9H (i.e. en direction de la cabine d'un aéronef sur lequel est monté la turbomachine 10, quel que soit le côté du fuselage e l'aéronef par rapport auquel est monté la turbomachine 10).

[0129] Le deuxième sous-secteur angulaire $S2_2$ et le troisième sous-secteur angulaire $S2_3$ sont respectivement centrés sur les positions angulaires à 3H et 9H.

[0130] Selon une première variante de la septième configuration représenté à la figure 10a, le premier secteur angulaire S1 et le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ s'étendent chacun sur une plage angulaire inférieure à 90° et le deuxième sous-secteur angulaire $S2_2$ et le troisième sous-secteur angulaire $S2_3$ s'étendent chacun sur une plage angulaire supérieure à 90°. Selon une deuxième variante de la septième configuration représentée à la figure 10b, le premier secteur angulaire S1 et le premier sous-secteur angulaire $S2_1$ s'étendent chacun sur une plage angulaire supérieure à 90° et le deuxième sous-secteur $S2_2$ angulaire et le troisième sous-secteur angulaire $S2_3$ s'étendent chacun sur une plage angulaire inférieure à 90°.

[0131] La [Fig.11] représente une huitième configuration de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16. Dans la huitième configuration, la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 de la turbomachine 10 comprend :

- un premier groupe G1 comprenant deux pales aval circonférentiellement adjacentes qui présentent chacune une extrémité aval située circonférentiellement du même côté que la face d'extrados 44 du pylône 18 par rapport au plan radial, le premier groupe G1 comprenant au moins la pale statorique aval 16 qui est la plus proche circonférentiellement du plan radial et dont l'extrémité aval est située circonférentiellement du même côté que la face d'extrados 44 du pylône 18 par rapport au plan radial,
- un second groupe G2 comprenant deux pales aval circonférentiellement adjacentes qui présentent chacune une extrémité aval située circonférentiellement du même côté que la face d'intrados 43 du pylône 18 par rapport au plan radial, le second groupe G2 comprenant au moins la pale statorique aval 16 qui est la plus proche circonférentiellement du plan radial et dont l'extrémité aval est située circonférentiellement du même côté que la face d'intrados 43 du pylône 18 par rapport au plan radial.

[0132] Chaque pale statorique aval 16 du premier groupe G1 est dans une configuration à calage fermé relativement à chaque pale statorique aval 16 du second groupe G2. Autrement dit, chaque pale statorique aval 16 du second groupe G2 est dans une configuration à calage ouvert relativement à chaque pale statorique aval 16 du premier groupe G1.

[0133] Une telle configuration de la rangée annulaire aval permet d'assurer que les pales statoriques aval 16 du premier groupe G1 et les pales statoriques aval 16 du second groupe G2 soient soumises à une charge aérodynamique relativement similaire malgré des conditions d'écoulement d'air au niveau de la rangée annulaire de pales statoriques aval 16 qui sont différentes de part et d'autre du plan radial en raison de la présence du pylône 18.

[0134] Un tel agencement permet de faciliter le contournement de l'écoulement autour du pylône 18, de réduire ainsi une remontée de distorsion de pression entre le pylône 18 et les pales statoriques aval 16 du premier type, et d'éviter les décollements des couches limites et la formation de zones de recirculation sur les pales statoriques aval 16 du premier type ce qui augmenterait les pertes aérodynamiques et les niveaux de bruit.

Revendications

[Revendication 1] Propulseur aéronautique (10) d'axe longitudinal (X) comprenant un moyeu (12), une rangée annulaire de pales rotoriques amont (14) non carénées et une rangée annulaire de pales statoriques aval (16) non carénées, chaque pale statorique aval (16) étant à calage variable, et dans lequel au moins l'une des pales statoriques aval (16) est dans une configuration à calage fermé relativement à une autre des pales statoriques aval (16) en ce qu'elle présente un angle de calage (γ) inférieur à l'angle de calage (γ) de l'autre pale statorique aval (16),
dans lequel la différence entre l'angle de calage de deux pales statoriques aval (16) circonférentiellement consécutives est inférieure à 45°, de préférence inférieure à 20°.

[Revendication 2] Propulseur aéronautique (10) selon la revendication précédente, dans lequel la différence entre l'angle de calage de deux pales statoriques aval (16) est inférieure à 120°, de préférence inférieure à 60°.

[Revendication 3] Propulseur aéronautique (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les pales statoriques aval (16) parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval (16) qui sont situées autour de l'axe longitudinal (X) dans un premier secteur angulaire (S1) autour de l'axe longitudinal (X) sont chacune dans la configuration à calage fermé relativement à au moins une pale statorique aval (16) parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval (16) qui est située autour de l'axe longitudinal (X) dans un deuxième secteur angulaire (S2) autour de l'axe longitudinal (X), le deuxième secteur angulaire (S2) étant distinct du premier secteur angulaire (S1).

[Revendication 4] Propulseur aéronautique (10) selon la revendication précédente, dans lequel la rangée annulaire de pales statoriques aval (16) comprend au moins deux pales statoriques aval (16) circonférentiellement consécutives dans chacun du premier secteur angulaire (S1) et du deuxième secteur angulaire (S2).

[Revendication 5] Propulseur aéronautique (10) selon la revendication 3 ou 4, dans lequel le premier secteur angulaire (S1) s'étend sur une plage angulaire inférieure ou égale à 180°, de préférence inférieure ou égale à 120°, ou encore de préférence inférieure ou égale à 90°.

[Revendication 6] Propulseur aéronautique (10) selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, dans lequel le premier secteur angulaire (S1) est centré sur une position angulaire choisie parmi une position angulaire à 12H, une

position angulaire à 3H, une position angulaire à 6H et une position angulaire à 9H.

[Revendication 7] Propulseur aéronautique (10) selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, dans lequel les pales statoriques aval (16) parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval (16) qui sont situées autour de l'axe longitudinal dans un premier sous-secteur angulaire ($S2_1$) du deuxième secteur angulaire (S2) autour de l'axe longitudinal sont chacune dans la configuration à calage ouvert relativement aux pales statoriques aval (16) situées autour de l'axe longitudinal (X) dans un deuxième sous-secteur angulaire ($S2_2$) du deuxième secteur angulaire (S2) autour de l'axe longitudinal (X), le deuxième sous-secteur angulaire ($S2_2$) étant distinct du premier sous-secteur angulaire ($S2_1$).

[Revendication 8] Propulseur aéronautique (10) selon la revendication précédente, dans lequel le premier secteur angulaire (S1) est centré sur l'une parmi des positions angulaires à 3H et à 9H et le premier sous-secteur angulaire ($S2_1$) est centré sur l'autre parmi les positions angulaires à 3H et à 9H, et dans lequel les pales rotoriques amont (14) sont entrainées dans un sens de rotation (R1) autour de l'axe longitudinal (X) de sorte que les pales rotoriques amont (14) qui sont situées dans le premier secteur angulaire (S1) sont entrainées en rotation autour de l'axe longitudinal (X) dans un sens allant d'une position angulaire à 6H vers une position angulaire à 12H et les pales rotoriques amont (14) qui sont situées dans le premier sous-secteur angulaire ($S2_1$) sont entrainées en rotation autour de l'axe longitudinal (X) dans un sens allant de la position angulaire à 12H vers la position angulaire à 6H.

[Revendication 9] Propulseur aéronautique (10) selon la revendication 7, dans lequel le premier secteur angulaire (S1) est centré sur une position angulaire à 12H et le premier sous-secteur angulaire ($S2_1$) est centré sur une position angulaire à 6H.

[Revendication 10] Propulseur aéronautique (10) selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, dans lequel les pales statoriques aval (16) parmi la rangée annulaire de pales statoriques aval (16) qui sont situées autour de l'axe longitudinal (X) dans un premier sous-secteur angulaire ($S2_1$) du deuxième secteur angulaire (S2) autour de l'axe longitudinal (X) sont chacune dans la configuration à calage fermé relativement aux pales statoriques aval (16) situées autour de l'axe longitudinal (X) dans un deuxième sous-secteur angulaire ($S2_2$) du deuxième secteur angulaire (S2) autour de l'axe longitudinal (X), le deuxième sous-secteur

angulaire ($S2_2$) étant distinct du premier sous-secteur angulaire ($S2_1$).

[Revendication 11] Propulseur aéronautique (10) selon la revendication précédente, dans lequel le premier secteur angulaire (S1) est centré sur une position angulaire à 9H et le premier sous-secteur angulaire ($S2_1$) est centré sur une position angulaire à 3H.

[Revendication 12] Propulseur aéronautique (10) selon la revendication 10, dans lequel le premier secteur angulaire (S1) est centré sur une position angulaire à 12H et le premier sous-secteur angulaire ($S2_1$) est centré sur une position angulaire à 6H.

[Revendication 13] Propulseur aéronautique (10) selon l'une quelconque des revendications 7 à 12, dans lequel le premier sous-secteur angulaire ($S2_1$) s'étend sur une plage angulaire inférieure ou égale à 180°, de préférence inférieure ou égale à 120°, de préférence encore inférieure ou égale à 90°.

[Revendication 14] Propulseur aéronautique (10) selon l'une quelconque des revendications 3 à 13, dans lequel chacune des pales statoriques aval (16) situées autour de l'axe longitudinal (X) dans le premier secteur angulaire (S1) ou dans le deuxième secteur angulaire (S2), ou le cas échéant dans le premier sous-secteur angulaire ($S2_1$) du deuxième secteur angulaire (S2) ou dans le deuxième sous-secteur angulaire ($S2_2$) du deuxième secteur angulaire (S2), présente un angle de calage (γ) identique à 1° près.

[Revendication 15] Propulseur aéronautique (10) selon l'une quelconque des revendications 3 à 14, dans lequel au moins deux pales statoriques aval (16) situées autour de l'axe longitudinal (X) dans le premier secteur angulaire (S1) ou dans le deuxième secteur angulaire (S2), ou le cas échéant dans le premier sous-secteur angulaire ($S2_1$) du deuxième secteur angulaire (S2) ou dans le deuxième sous-secteur angulaire ($S2_2$) du deuxième secteur angulaire (S2), présentent des caractéristiques dimensionnelles identiques.

[Revendication 16] Propulseur aéronautique (10) selon l'une quelconque des revendications3 à 14, dans lequel au moins deux pales statoriques aval (16) situées autour de l'axe longitudinal (X) dans le premier secteur angulaire (S1) ou dans le deuxième secteur angulaire (S2), ou le cas échéant dans le premier sous-secteur angulaire ($S2_1$) du deuxième secteur angulaire (S2) ou dans le deuxième sous-secteur angulaire ($S2_2$) du deuxième secteur angulaire (S2), présentent des caractéristiques dimensionnelles différentes.

[Revendication 17] Ensemble propulsif pour un aéronef, l'ensemble propulsif comportant un propulseur aéronautique (10) selon l'une quelconque des reven-

dications précédentes et un pylône (18) adapté pour fixer le propulseur aéronautique à un fuselage ou une voilure de l'aéronef, le pylône s'étendant selon une direction comprenant au moins une direction radiale depuis une extrémité radialement interne par laquelle celui-ci est relié au moyeu (12) du propulseur aéronautique (10), le pylône (18) comprenant un bord d'attaque (41) et un bord de fuite (42) entre lesquels s'étendent de chaque côté dans la direction circonférentielle une face d'extrados (44) et une face d'intrados (43), la face d'extrados (44) et la face d'intrados (43) du pylône (18) étant, au moins sur une partie amont du pylône (18), disposées circonférentiellement de chaque côté d'un plan radial définit par l'axe longitudinal (X) et un axe radial passant, au moins en partie, par le bord d'attaque (41) du pylône (18), et dans lequel la rangée annulaire de pales statoriques aval (16) du propulseur aéronautique (10) comprend :

- un premier groupe (G1) comprenant une ou plusieurs pale(s) aval (16) qui présente(nt) chacune une extrémité aval située circonférentiellement du même côté que la face d'extrados (44) du pylône (18) par rapport au plan radial, le premier groupe (G1) comprenant au moins la pale statorique aval (16) qui est la plus proche circonférentiellement du plan radial et dont l'extrémité aval est située circonférentiellement du même côté que la face d'extrados (44) du pylône (18) par rapport au plan radial,
- un second groupe (G2) comprenant une ou plusieurs pale(s) aval (16) qui présente(nt) chacune une extrémité aval située circonférentiellement du même côté que la face d'intrados (43) du pylône (18) par rapport au plan radial, le second groupe (G2) comprenant au moins la pale statorique aval (16) qui est la plus proche circonférentiellement du plan radial et dont l'extrémité aval est située circonférentiellement du même côté que la face d'intrados (43) du pylône (18) par rapport au plan radial,

et dans lequel chaque pale statorique aval (16) du premier groupe (G1) est dans une configuration à calage fermé relativement à chaque pale statorique aval (16) du second groupe (G2).

[Revendication 18] Ensemble propulsif selon la revendication précédente, dans lequel les pales statoriques aval (16) du premier groupe (G1) sont circonférentiellement consécutives deux à deux et/ou les pales statoriques aval (16) du second groupe (G2) sont circonférentiellement consécutives deux à deux.

[Revendication 19] Procédé d'utilisation du propulseur aéronautique selon l'une quelconque des revendications 1 à 16 ou de l'ensemble propulsif selon la revendication 17 ou 18, le procédé comprenant le réglage de l'angle de calage (γ) de chaque pale statorique aval (16) en fonction d'une phase de fonctionnement en incidence du propulseur aéronautique (10).

[Fig. 1]

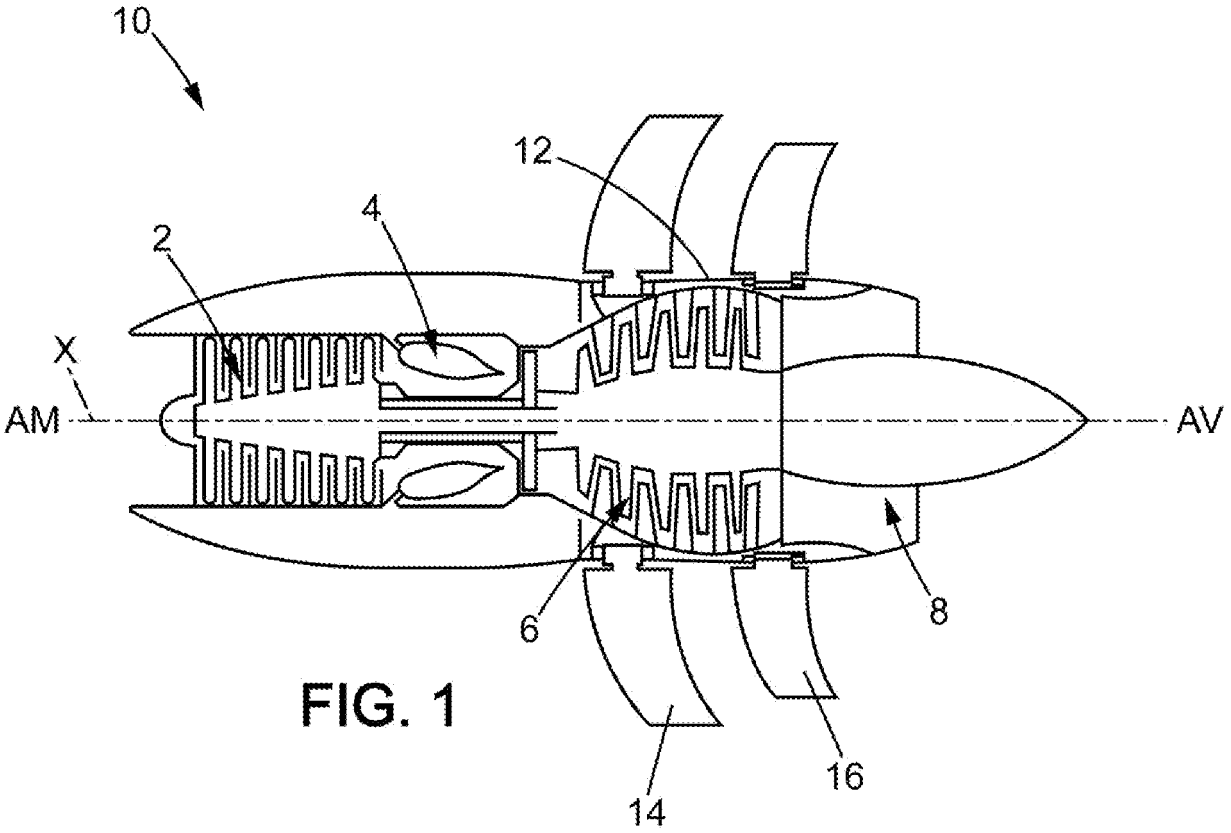


FIG. 1

[Fig. 2]

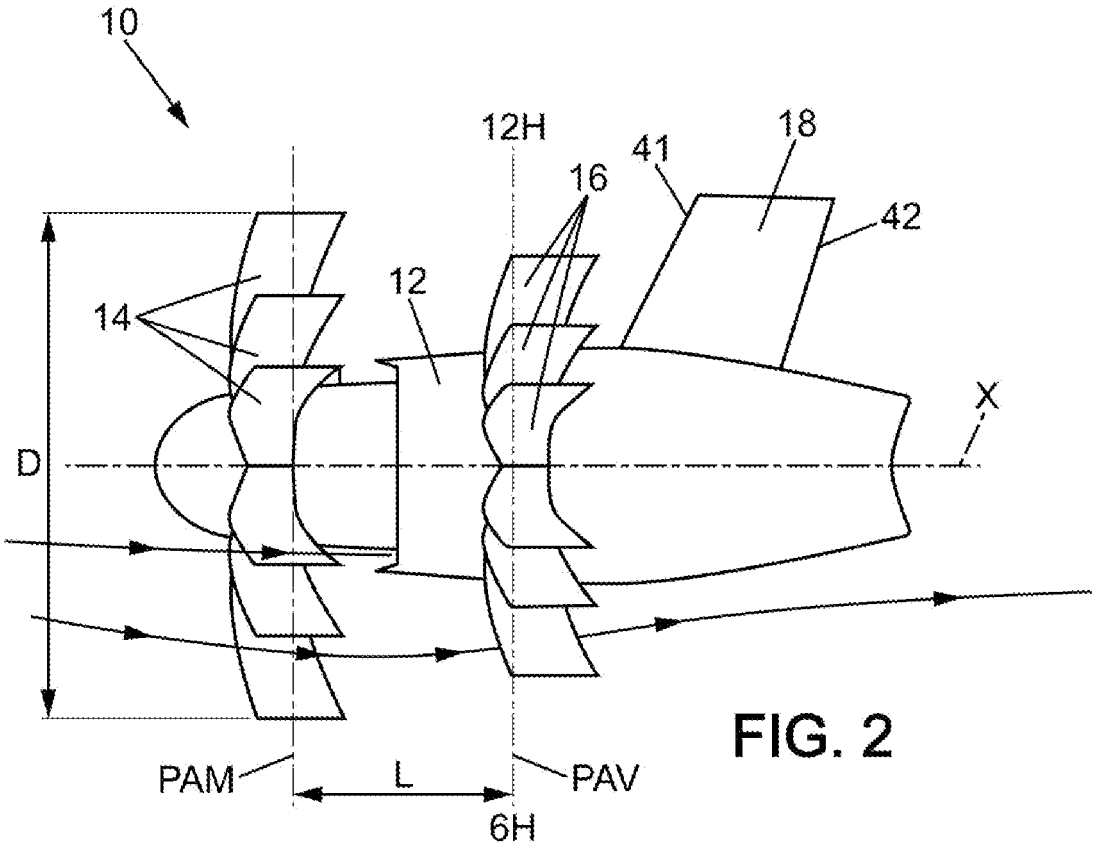
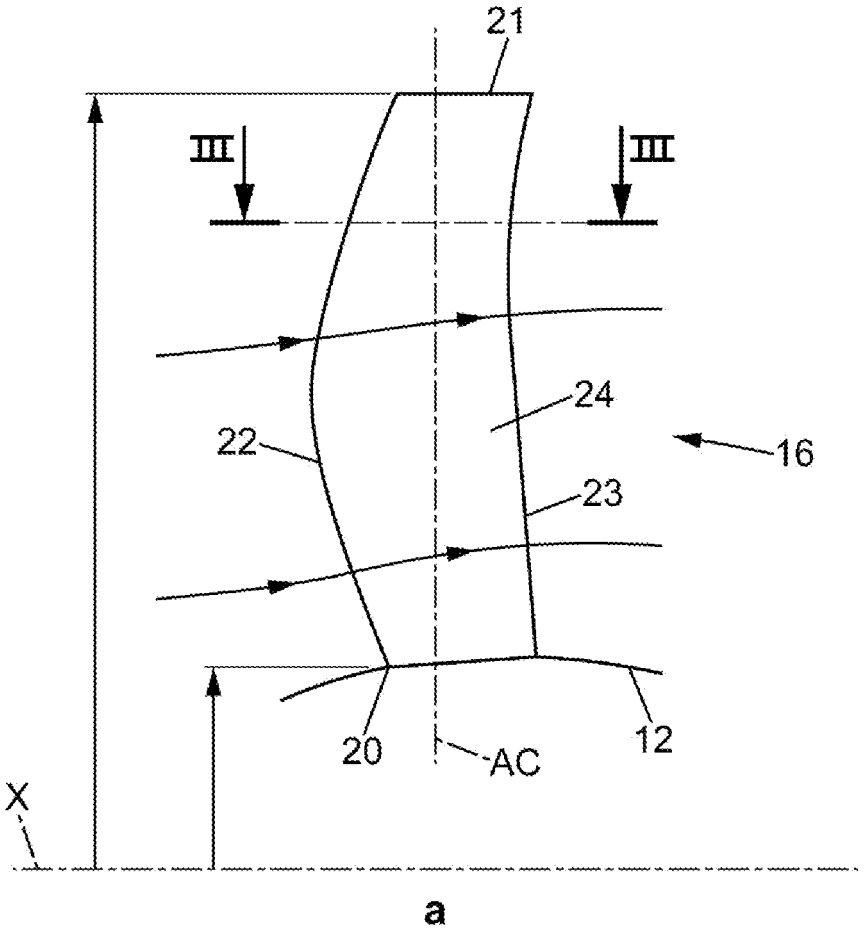


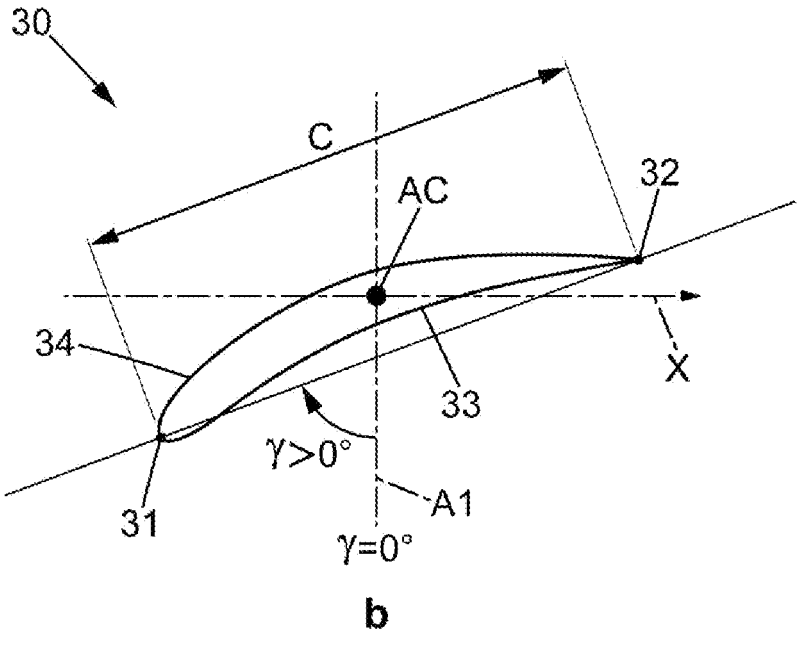
FIG. 2

[Fig. 3]



a

FIG. 3



b

[Fig. 4]

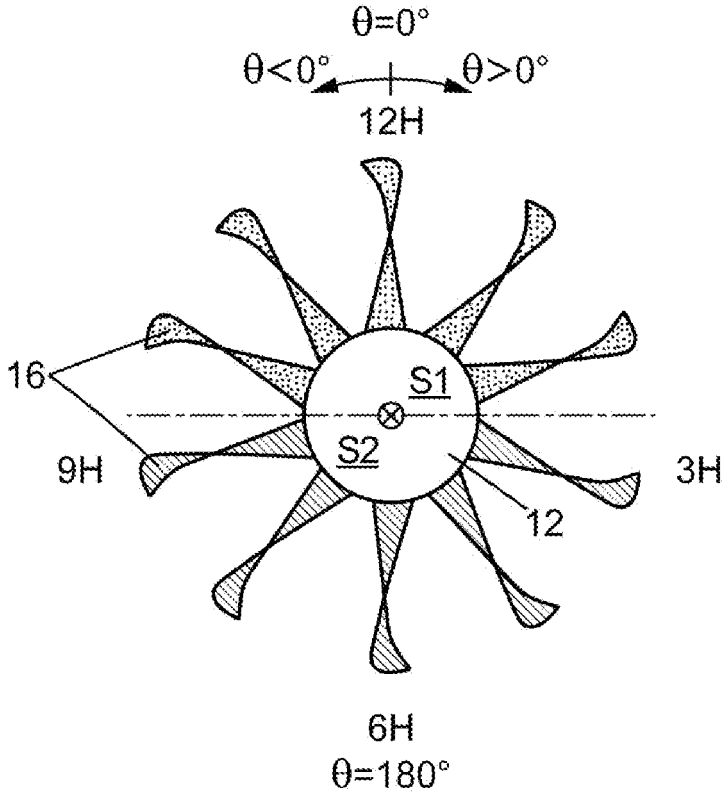


FIG. 4

[Fig. 5]

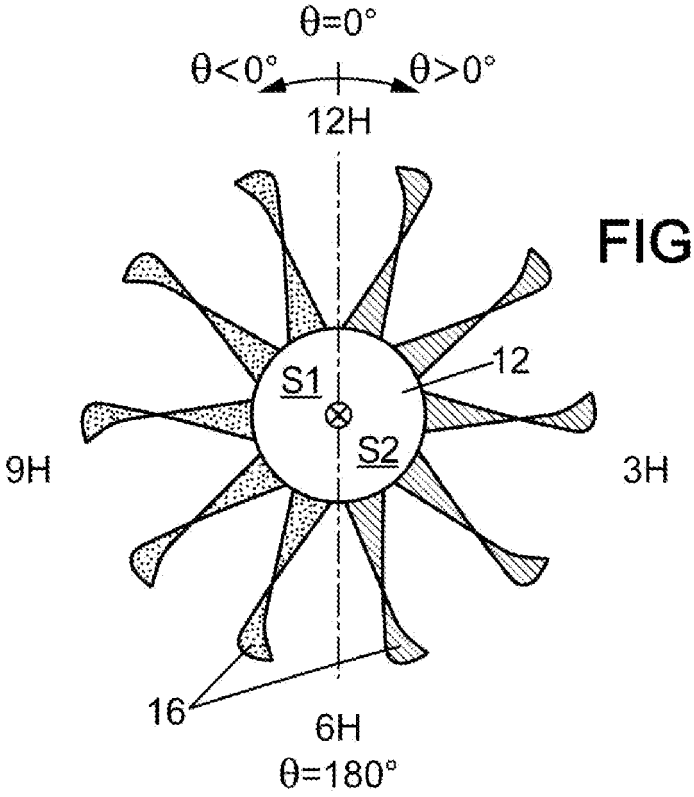


FIG. 5

[Fig. 6]

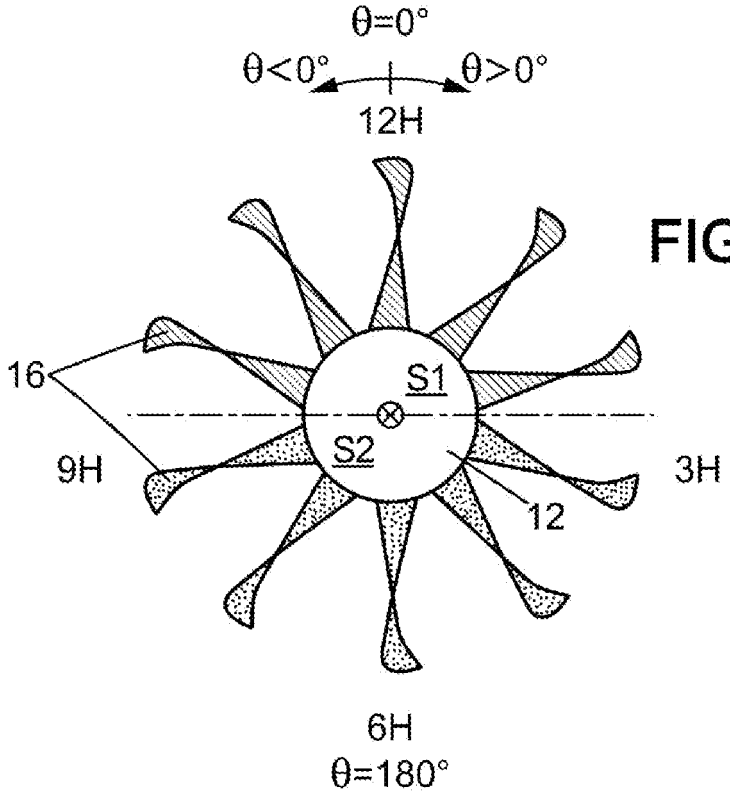


FIG. 6

[Fig. 7]

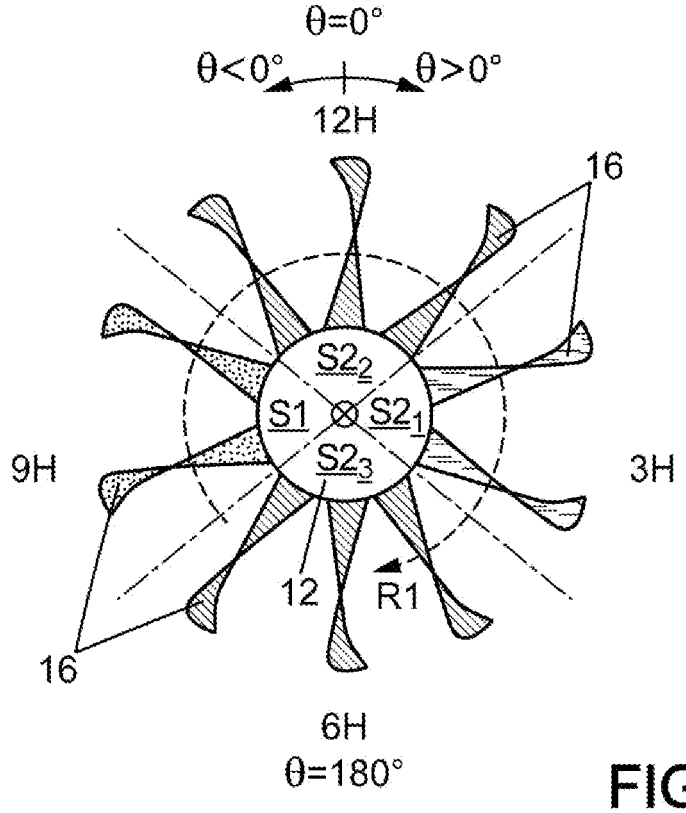
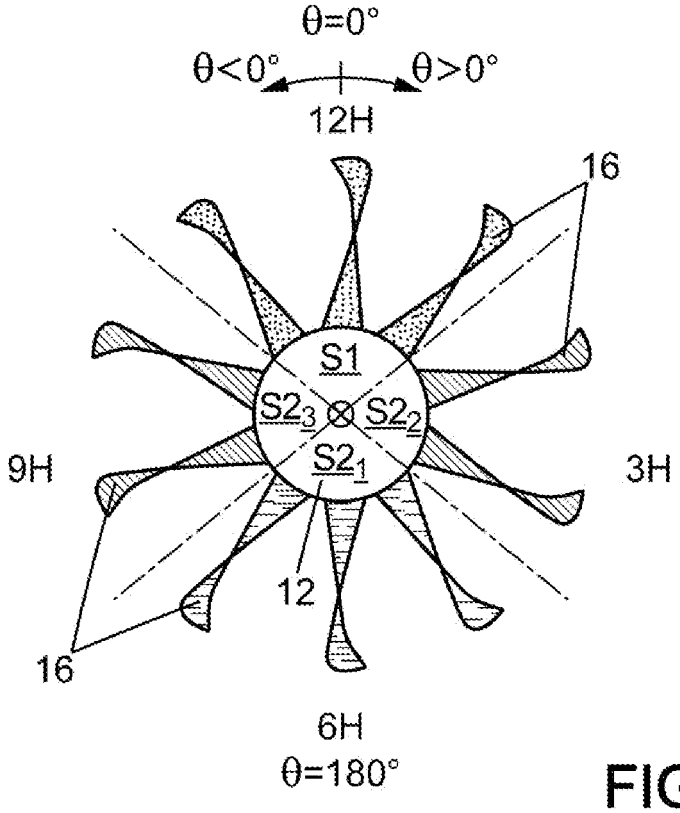

θ=0°
θ<0°
θ>0°
12H
16
S2₂
S1
S2₁
S2₃
9H
3H
12
R1
16
6H
θ=180°
a
γ
S2₁
S2₃
S2₂
Δγmax<120°
S1
Δγ<20°
S2₃
θ=-180°
θ=0°
θ=180°
θ
b

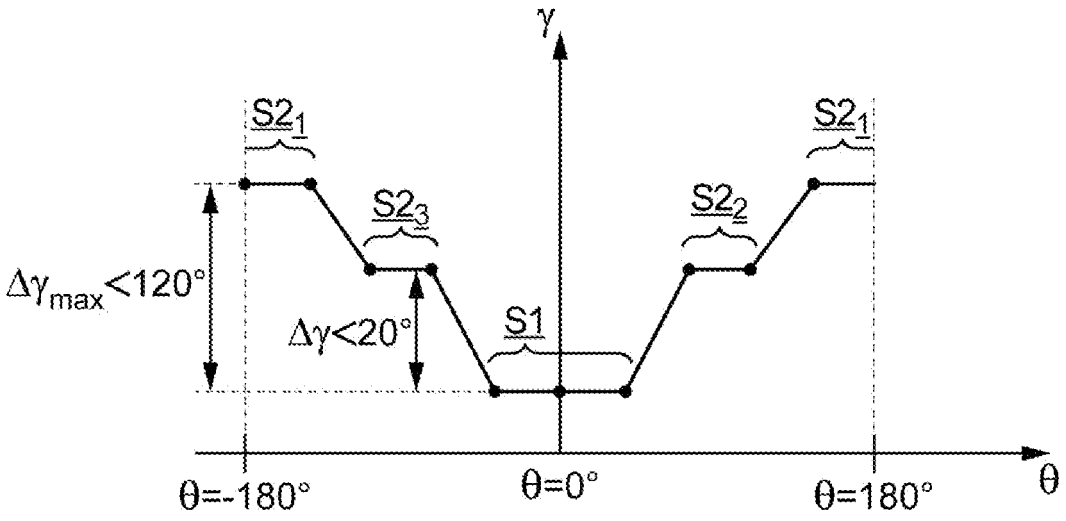
FIG. 7

[Fig. 8]


θ=0°
θ<0°
θ>0°
12H
16
S1
S2₃
S2₂
S2₁
9H
3H
12
16
6H
θ=180°

a

FIG. 8


γ
S2₁
S2₃
S2₂
S2₁
Δγmax<120°
Δγ<20°
S1
θ=-180°
θ=0°
θ=180°
θ

b

[Fig. 9]

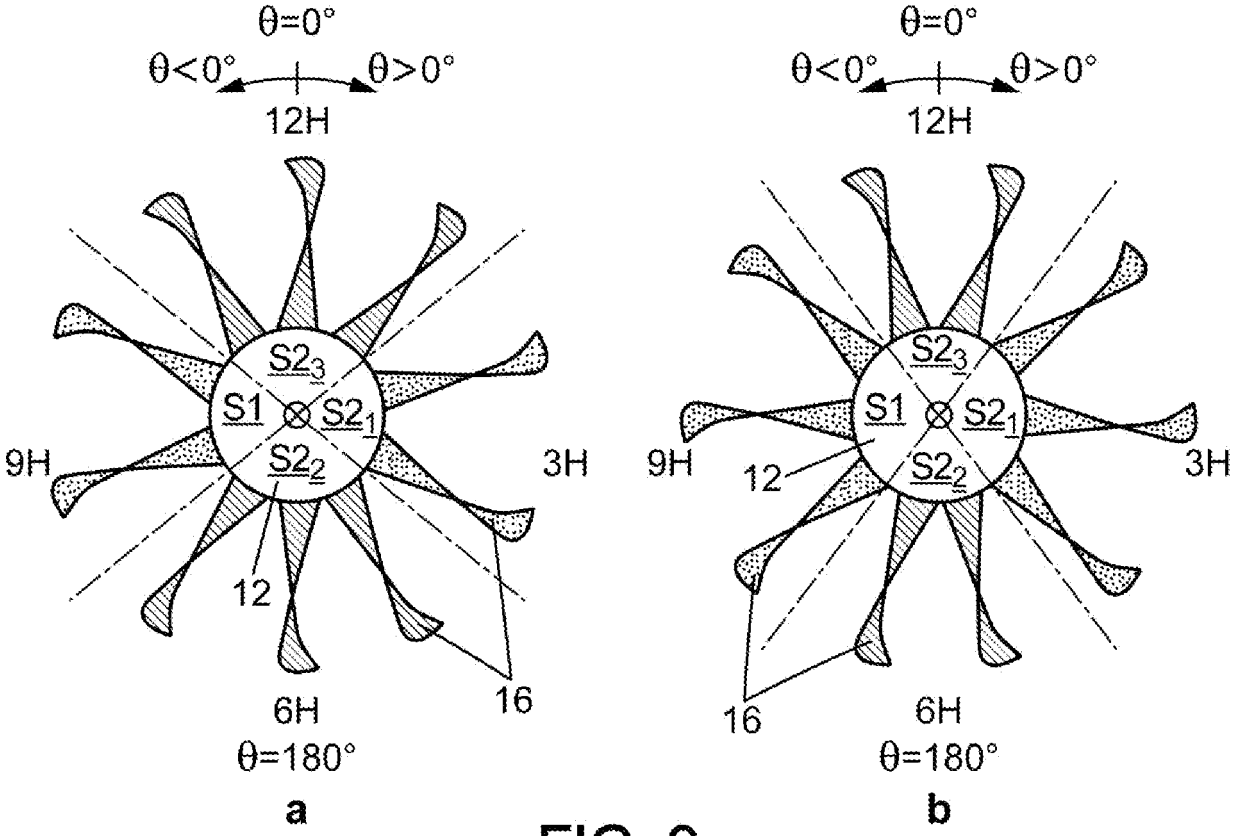


FIG. 9

[Fig. 10]

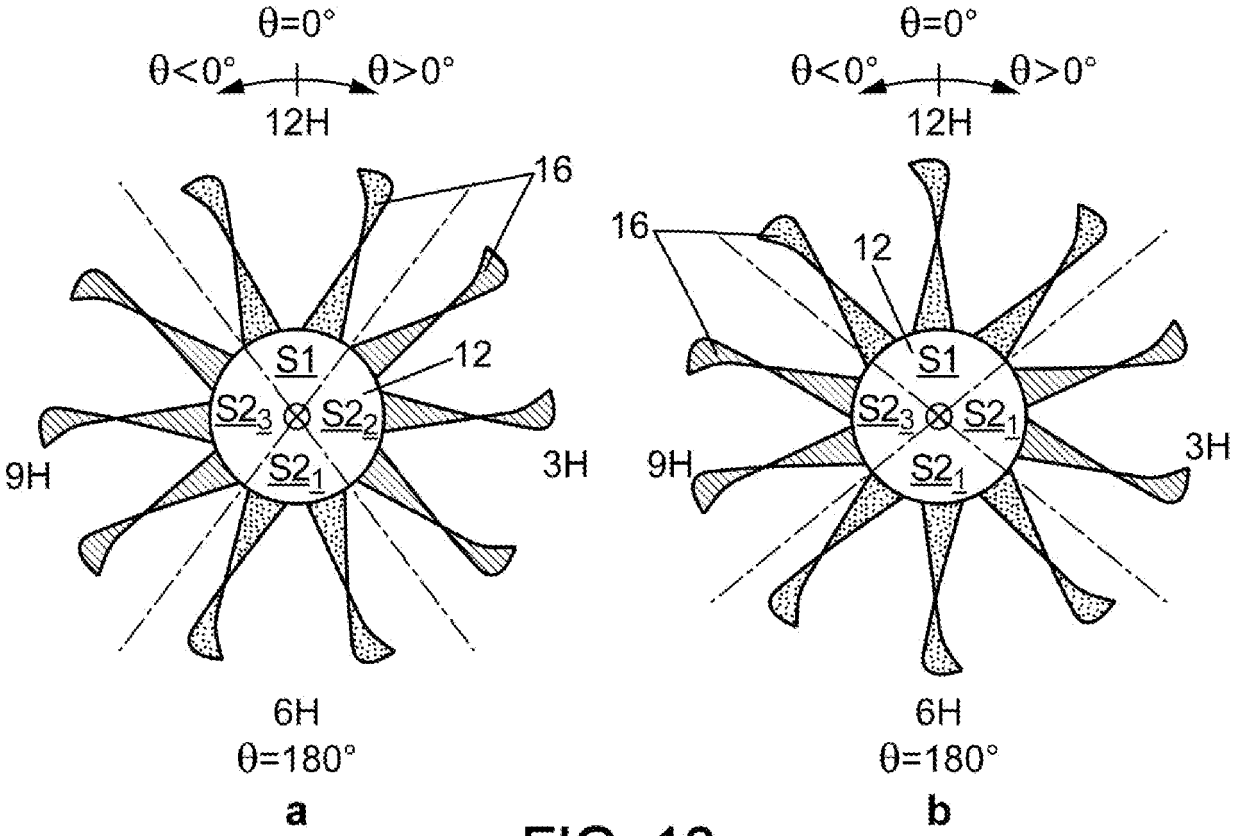


FIG. 10

[Fig. 11]

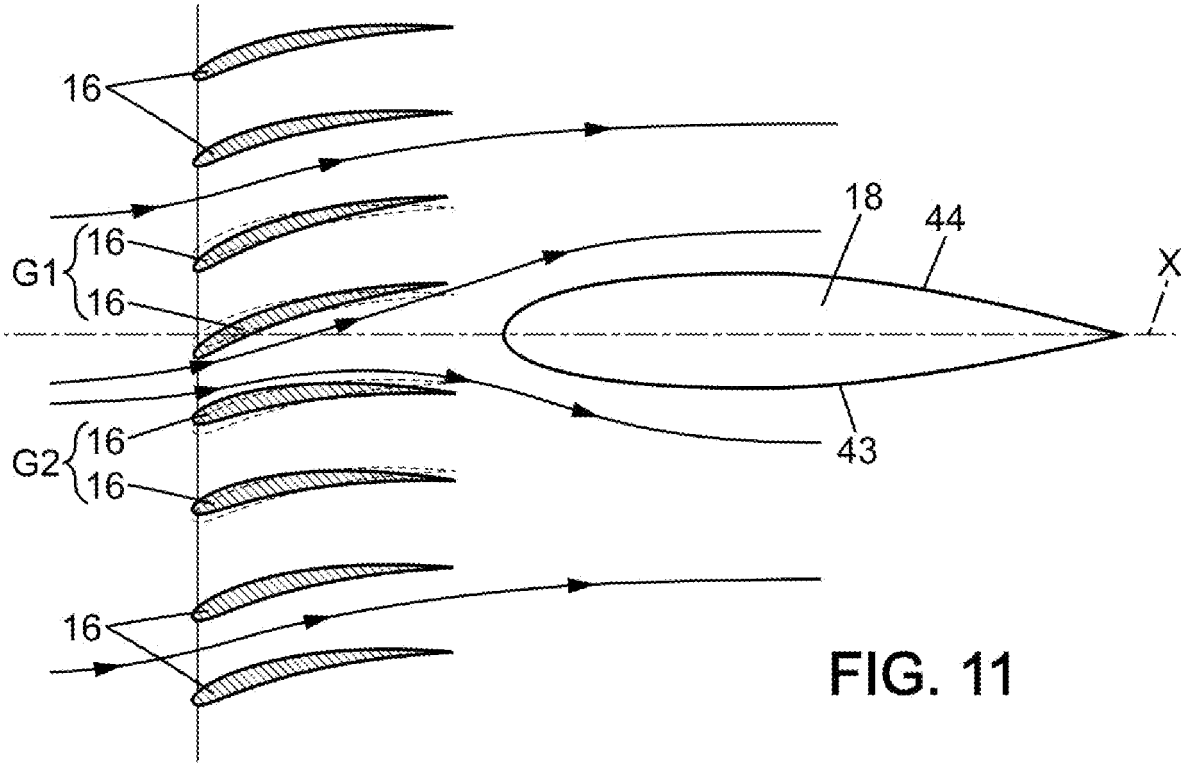


FIG. 11

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.
Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

[x] Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

[x] Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

[x] Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

[x] Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

EP 3 093 443 A1 (GEN ELECTRIC [US])
16 novembre 2016 (2016-11-16)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

US 2021/108597 A1 (OSTDIEK DAVID MARION [US] ET AL) 15 avril 2021 (2021-04-15)

WO 2010/130893 A1 (SNECMA [FR]; BELMONTE OLIVIER [FR]; BOSCO FRANCK EMMANUEL [FR])
18 novembre 2010 (2010-11-18)

FR 3 082 230 A1 (SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR]) 13 décembre 2019 (2019-12-13)

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

NEANT