

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 149 047

21 N° d'enregistrement national : 23 05295

51 Int Cl⁸ : F 02 K 3/00 (2023.01), F 02 C 7/36, B 64 D 27/00

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 26.05.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 29.11.24 Bulletin 24/48.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : Safran Aircraft Engines Société par actions simplifiée (SAS) — FR.

72 Inventeur(s) : LEVISSE Paul Ghislain Albert.

73 Titulaire(s) : Safran Aircraft Engines Société par actions simplifiée (SAS).

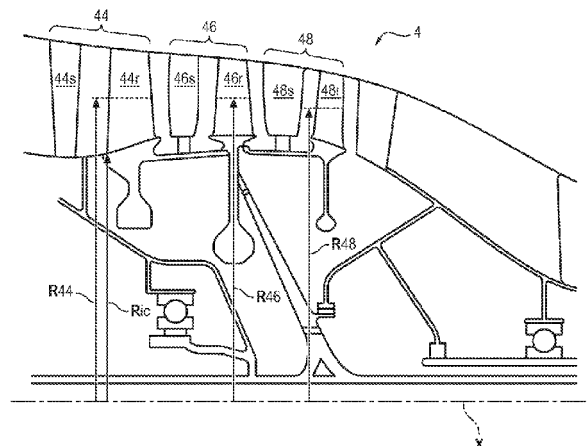
74 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

54 système propulsif aeronautique a rendement propulsif ameliore.

57 L'invention concerne un système propulsif aéronautique (1) comprenant :- un arbre de soufflante (20) ;- une section de soufflante (2) comprenant un rotor de soufflante (22) entraîné en rotation par l'arbre de soufflante ;- un corps primaire (3) comprenant une section de compresseur (29) comprenant un compresseur basse pression (4) et un compresseur haute pression (5), une chambre de combustion (6) et une section de turbine (30) comprenant une turbine haute pression (7) entraînant en rotation le compresseur haute pression (5) au moyen d'un arbre haute pression (10) et une turbine basse pression (8) entraînant en rotation le compresseur basse pression (4) au moyen d'un arbre basse pression (11) ;- un mécanisme de réduction (19) couplant l'arbre basse pression (8) et l'arbre de soufflante (20) afin d'entraîner l'arbre de soufflante (20) à une vitesse inférieure à la vitesse de rotation de l'arbre basse pression (8) ; le compresseur basse pression (4) comprenant un premier étage (44) et au moins un autre étage (46, 48), chaque étage comportant successivement dans le sens d'écoulement du gaz un rotor (44r, 46r, 48r) et un stator (44s, 46s, 48s), le compresseur basse pression (4) possédant un régime maximum ayant une valeur allant de 10700 tours par minute (rpm) à 13000 tours par minute (rpm), et une valeur du rapport entre un rayon moyen (Rmoy) du compresseur basse pression et

un rayon interne du rotor (Ric) du premier étage allant de 1,1 à 1,4.

Figure pour l'abrégié : Fig. 7



FR 3 149 047 - A1



Description

Titre de l'invention : système propulsif aeronautique a rendement propulsif ameliore

Domaine de l'invention

[0001] La présente invention concerne de manière générale le domaine des systèmes propulsifs, et plus particulièrement des systèmes propulsifs aéronautiques comprenant une soufflante carénée ou non carénée et présentant un taux de dilution élevé, voire très élevé.

Arrière-plan technologique

[0002] Un système propulsif aéronautique comporte généralement, d'amont en aval dans le sens de l'écoulement des gaz, une section de soufflante, une section de compresseur pouvant comprendre un compresseur basse pression et un compresseur haute pression, une chambre de combustion et une section de turbine pouvant comprendre une turbine haute pression et une turbine basse pression.

[0003] Lorsque le système propulsif est en fonctionnement, le compresseur haute pression est entraîné en rotation par la turbine haute pression par l'intermédiaire d'un arbre haute pression. La soufflante et, le cas échéant, le compresseur basse pression sont entraînés en rotation par la turbine basse pression par l'intermédiaire d'un arbre basse pression.

[0004] Un des objectifs de recherche technologique est d'améliorer les performances environnementales des aéronefs. C'est pourquoi, dans toutes les phases de conception et de développement, les facteurs pertinents sont pris en compte pour obtenir des composants et des produits aéronautiques moins énergivores, plus respectueux de l'environnement et dont l'intégration et l'utilisation dans l'aviation civile ont des conséquences environnementales modérées, et ce dans un but d'amélioration de l'efficacité énergétique des aéronefs.

[0005] Ainsi, afin d'améliorer le rendement propulsif du système propulsif et de réduire sa consommation spécifique ainsi que le bruit émis par la section de soufflante, il a été proposé des systèmes propulsifs présentant un taux de dilution BPR (bypass ratio en anglais, correspondant au rapport entre le débit du flux d'air secondaire et le débit du flux d'air primaire) qui soit élevé. Pour atteindre de tels taux de dilution, la section de soufflante peut être découplée de la turbine basse pression, permettant ainsi d'optimiser indépendamment leur vitesse de rotation respective. Généralement, le découplage est réalisé à l'aide d'un mécanisme de réduction placé entre l'extrémité amont de l'arbre basse pression et un rotor de la section de soufflante. Le rotor de la section de soufflante est alors entraîné par l'arbre basse pression par l'intermédiaire du

mécanisme de réduction à une vitesse de rotation inférieure à celle de l'arbre basse pression.

[0006] Toutefois, dans un tel système, la performance globale du compresseur basse pression peut être limitée en raison de contraintes dimensionnelles pouvant résulter notamment de l'encombrement de montage de roulements situés dans une enceinte entre l'arbre basse pression et les roues mobiles du compresseur basse pression. Les volumes occupés dans cette enceinte peuvent dépendre en particulier du choix de la vitesse de rotation dudit compresseur et de la puissance qu'il est choisi d'obtenir via les compresseurs, la chambre de combustion et les turbines. L'encombrement du mécanisme de réduction peut aussi influencer les contraintes dimensionnelles agissant sur l'efficacité du compresseur basse pression à l'intérieur de la veine et du côté amont de l'enceinte. De plus, les contraintes dimensionnelles vont dépendre également de l'espace disponible pour intégrer le compresseur dans son environnement, en considérant alors le volume de la veine d'air dans le compresseur basse pression, ce volume de veine étant compris entre une paroi intérieure de veine et une paroi extérieure de veine. Les performances du compresseur basse pression dépendent ainsi à la fois de l'aérodynamisme et de l'encombrement autour du compresseur.

Exposé de l'invention

[0007] Un but de la présente invention est d'optimiser les performances du système propulsif et notamment d'améliorer le rendement du compresseur basse pression tout en maintenant un taux de dilution élevé.

[0008] Il est à cet effet proposé, selon un premier aspect, un système propulsif aéronautique comprenant :

- un arbre de soufflante ;
- une section de soufflante comprenant un rotor de soufflante entraîné en rotation par l'arbre de soufflante ;
- un corps primaire comprenant une section de compresseur comprenant un compresseur basse pression et un compresseur haute pression, une chambre de combustion et une section de turbine comprenant une turbine haute pression entraînant en rotation le compresseur haute pression au moyen d'un arbre haute pression et une turbine basse pression entraînant en rotation le compresseur basse pression au moyen d'un arbre basse pression ;
- un mécanisme de réduction couplant l'arbre basse pression et l'arbre de soufflante afin d'entraîner l'arbre de soufflante à une vitesse inférieure à la vitesse de rotation de l'arbre basse pression ;

le compresseur basse pression comprenant un premier étage et au moins un autre étage, chaque étage comportant successivement dans le sens d'écoulement du gaz un

rotor et un stator,

le compresseur basse pression possédant un régime maximum ayant une valeur allant de 10700 tours par minute (rpm) à 13000 tours par minute (rpm), et une valeur du rapport entre un rayon moyen R_{moy} du compresseur basse pression et un rayon interne du rotor du premier étage allant de 1,1 à 1,4.

[0009] Le compresseur basse pression possède ainsi des performances, et notamment un rendement, qui sont optimisés.

[0010] Le rayon moyen (R_{moy}) du compresseur est défini comme étant la moyenne des rayons de chaque rotor, le rayon correspondant à la distance entre l'axe de rotation du système propulsif et un point pris à la mi-hauteur et à mi-distance entre un bord d'attaque et un bord de fuite du rotor. Le rayon interne R_{ic} correspond au rayon du premier rotor, c'est-à-dire le rotor le plus en amont, le rayon interne étant la distance entre l'axe de rotation du système propulsif et un point pris en pied d'aube au bord d'attaque du rotor du premier étage.

[0011] En particulier, afin que le compresseur basse pression (ou compresseur BP) ait un rendement optimisé, sa charge ou charge aérodynamique peut être de préférence inférieure ou égale à 0,33, la charge du compresseur étant définie par la formule suivante :

$$\text{Charge du compresseur} = \frac{\Delta H}{N1 \times U_{moy}^2}$$

[0012] dans laquelle

ΔH représente la différence d'enthalpie de l'air entre la sortie et l'entrée du compresseur BP et est exprimé en Joules par kilogramme (J/Kg), $N1$ représente le nombre d'étages du compresseur BP et U_{moy} est la vitesse tangentielle moyenne du flux d'air à 50% de la hauteur des rotors du compresseur BP et est exprimée en mètres par secondes (m/s), U_{moy} pouvant être calculé selon la formule ci-dessous

$$U_{moy} = R_{moy} \times R_{comp} \times \left(\frac{\pi}{30}\right)$$

[0013] dans laquelle R_{moy} correspond au rayon moyen des rotors à 50% de la hauteur et R_{comp} est le régime du compresseur en tours par minute (tr/min).

[0014] La charge aérodynamique (ou charge) du compresseur correspond à la charge aérodynamique des étages rotor du compresseur et correspond à un ratio entre un travail demandé (compression de l'air) et les caractéristiques/conditions de fonctionnement du compresseur. A géométrie équivalente et conditions de fonctionnement identiques, plus la valeur de la charge est élevée, plus la compression sera élevée mais accompagnée d'un rendement moins bon et d'une opérabilité du compresseur plus difficile. C'est pourquoi il est préférable que la charge d'un compresseur ait une valeur n'allant pas au-delà de 0,33.

[0015] La différence d'enthalpie de l'air entre la sortie et l'entrée du compresseur basse

pression correspond à la différence d'enthalpie entre le bord d'attaque du premier rotor et le bord de fuite du redresseur (ou stator) positionné en aval du dernier rotor.

- [0016] La vitesse tangentielle du flux d'air (U_{moy}) est définie comme étant la moyenne des vitesses tangentielles à 50% de hauteur pour chaque étage du compresseur basse pression.
- [0017] Par ailleurs, le nombre de Mach en pied du bord d'attaque du rotor du premier étage du compresseur BP peut avoir de préférence une valeur de $1 \pm 10\%$ de façon à éviter les ondes de chocs transsoniques.
- [0018] Certaines caractéristiques préférées mais non limitatives du système propulsif selon le premier aspect sont les suivantes, prises individuellement ou en combinaison :
- le rotor de soufflante possède un diamètre (D) ayant une valeur allant de 1,270 mètres (m) à 4,300 m ; le diamètre est mesuré au niveau du bord d'attaque de chaque aube du rotor de soufflante ; ce diamètre permet au système propulsif de s'intégrer à un aéronef conventionnel sans avoir à modifier ledit aéronef, notamment sans avoir à modifier les dimensions du train d'atterrissage ou des ailes et sans avoir à renforcer les ailes ;
 - la section de soufflante n'est pas carénée et le rotor de soufflante présente un diamètre (D) ayant une valeur allant de 1,980 m à 4,300 m ; le diamètre est mesuré au niveau du bord d'attaque de chaque aube de l'hélice ;
 - la section de soufflante est carénée et le rotor de soufflante présente un diamètre ayant une valeur allant de 1,270 m à 3,048 m ; le diamètre est mesuré au niveau du bord d'attaque de chaque aube de l'hélice ; le diamètre peut par exemple avoir une valeur de 2,286 m ;
 - le compresseur basse pression est un compresseur tri-étages et présente un taux de compression défini comme étant un rapport entre une pression de gaz en sortie du compresseur basse pression et une pression de gaz en entrée du compresseur basse pression, ledit taux de compression ayant une valeur allant de 2,8 à 4,8 ; un tel taux de compression du compresseur BP permet d'obtenir un taux de compression par étage allant de 1,4 à 1,7 de manière que le compresseur fonctionne avec un rendement optimisé ; le taux de compression par étage étant défini comme étant le taux de compression du compresseur à la puissance ($1/n$) ; le taux de compression est notamment mesuré par des peignes dans des moteurs de test, en particulier en mesurant la vitesse d'écoulement et la pression en condition de montée à 35000 pieds, à Mach 0,8 et en ISA+15 ;
- [0019] - le compresseur basse pression est un compresseur bi-étages et présente un taux de compression défini comme un rapport entre une pression de gaz en sortie du compresseur basse pression et une pression de gaz en entrée du compresseur basse pression, ayant une valeur allant de 1,7 à 2,5 ; un tel taux de compression du com-

presseur BP permet d'obtenir un taux de compression par étage allant de 1,4 à 1,7 de manière que le compresseur fonctionne avec un rendement optimisé ;

- le système propulsif présente un taux de dilution défini comme un rapport entre un débit massique de flux d'air secondaire (F2) s'écoulant à travers la section de soufflante autour du corps primaire et un débit massique de flux d'air primaire (F1) s'écoulant à travers le corps primaire, ayant une valeur allant de 12 à 16 ; cette valeur s'applique de préférence à une hélice carénée ;
- le rayon interne du rotor du premier étage présente une valeur allant de 250 millimètres (mm) à 350 mm ; cette gamme de valeur du rayon est notamment valable pour les moteurs ayant une gamme de poussée SMR (Short Medium Range), allant notamment de 100 000 à 175 000 Newton, ces valeurs étant mesurées lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer ;
- le mécanisme de réduction présente un rapport de réduction ayant une valeur allant de 2,5 à 11, de préférence allant de 2,7 à 6,0 et de manière encore plus préférée allant de 2,7 à 3,6 ; le rapport de réduction peut par exemple avoir une valeur de 3,0 ;
- la vitesse périphérique au sommet des aubes du rotor de soufflante, lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer, présente une valeur allant de 270 m/s à 380 m/s ; la section de soufflante est de préférence carénée ;
- un rapport moyeu-tête du rotor de soufflante, défini comme un rapport entre un rayon interne (Ri) du rotor de soufflante et un rayon externe (Re) du rotor de soufflante, présente une valeur allant de 0,22 à 0,32, de préférence allant de 0,235 à 0,300, et par exemple d'environ 0,27 ;
- un rapport entre la valeur d'une première corde mesurée au sommet de l'aube du rotor de soufflante et la valeur d'une deuxième corde mesurée en pied d'aube du rotor de soufflante présente une valeur allant de 0,56 à 0,80 ;
- le rotor de soufflante présente une solidité en sommet d'aube du rotor de soufflante ayant une valeur allant de 1,0 à 1,3, la solidité étant définie comme un rapport entre la valeur d'une première corde mesurée au sommet de l'aube et la valeur d'un pas inter-aube ;
- le rotor de soufflante comprend un nombre d'aubes allant de 16 à 24, et par exemple égal à 22 ; ce nombre d'aubes de soufflante est notamment optimisé en tenant compte des valeurs de diamètre de soufflante, de solidité en sommet d'aube du rotor de soufflante et de vitesse périphérique au sommet des aubes du rotor de soufflante, notamment les valeurs précédemment décrites ;
- la section de soufflante comprend un stator de soufflante comportant un nombre d'aubes fixes allant de 36 à 52, de préférence allant de 38 à 44, et par exemple égal à

40 ; ce nombre d'aubes de stator de soufflante est notamment optimisé en tenant compte des valeurs de diamètre de soufflante, de solidité en sommet d'aube du rotor de soufflante et de vitesse périphérique au sommet des aubes du rotor de soufflante, notamment les valeurs précédemment décrites ;

- la turbine basse pression comprend un nombre d'étage allant de 3 à 5 ; ce nombre d'étages permet d'assurer une charge aérodynamique sur la turbine basse pression qui soit optimisée et qui permet d'éviter une masse et/ou un encombrement trop important de la turbine ;

- la turbine haute pression comprend deux étages ;

- le compresseur haute pression comprend un nombre d'étages allant de 8 à 11 étages ;

- le compresseur basse pression présente une densité de puissance ayant une valeur allant de 0,64 à 0,97, la densité de puissance du compresseur étant définie par la formule suivante :

$$\text{Densité de puissance du compresseur} = \frac{D^2}{BPR+1} * \frac{Um^2 * n_{et}}{R_{ext_{moy}}^2} * 10^{-6}$$

[0020] et où : BPR est le taux de dilution du système propulsif et est mesuré lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer ; n_{et} est le nombre d'étages du compresseur ; Um est la vitesse périphérique moyenne du rotor du compresseur mesurée lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer et est exprimée en livres de poussée et est exprimée en mètres par seconde (m/s) ; et R_{ext_moy} est le rayon externe moyen du compresseur, qui est égal à une moyenne arithmétique des rayons externes des rotors du compresseur basse pression, le rayon externe correspondant à une distance entre un sommet du rotor et l'axe de rotation, à mi-distance au sommet entre un bord d'attaque et un bord de fuite du rotor, et est exprimé en mètres (m).

[0021] D'une manière générale, le nombre d'étages décrits pour les turbines haute et basse pression ainsi que pour les compresseurs haute et basse pression permet aux turbines et aux compresseurs d'avoir suffisamment d'étages pour remplir leur fonction et que ce nombre d'étages ne soit pas trop important de manière que les turbines ou les compresseurs ne soient pas trop lourds ni trop encombrants. Les dimensions des pales et le nombre de pales sont également des paramètres importants pour les mêmes raisons.

[0022] Il est également proposé, selon un deuxième aspect, un aéronef comprenant un système propulsif selon le premier aspect.

[0023] Il est aussi proposé, selon un troisième aspect, un procédé de dimensionnement ou un procédé de fabrication d'un système propulsif selon le premier aspect, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- choisir, pour le compresseur basse pression, un régime maximum ayant une valeur

allant de 10700 tours par minute (rpm) à 13000 tours par minute (rpm), et
 - choisir un rayon moyen (Rmoy) du compresseur basse pression et un rayon interne du rotor (Ric) de sorte qu'une valeur du rapport entre le rayon moyen (Rmoy) du compresseur basse pression et le rayon interne du rotor (Ric) du premier étage est compris dans une gamme allant de 1,1 à 1,4.

[0024] Le procédé de dimensionnement s'applique également au système propulsif comprenant les caractéristiques préférées précédemment décrites.

[0025] Le procédé de dimensionnement peut comprendre notamment une étape selon laquelle on choisit, pour le compresseur basse pression (4), une densité de puissance ayant une valeur allant de 0,64 à 0,97, la densité de puissance du compresseur étant définie par la formule suivante :

$$\text{Densité de puissance du compresseur} = \frac{D^2}{BPR+1} * \frac{Um^2 * n_{et}}{R_{ext_moy}^2} * 10^{-6} \quad \text{et où : BPR}$$

est le taux de dilution du système propulsif et est mesuré lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer ; n_{et} est le nombre d'étages du compresseur ; Um est la vitesse périphérique moyenne du rotor du compresseur mesurée lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer et est exprimée en mètres par seconde (m/s) ; et R_{ext_moy} est le rayon externe moyen du compresseur, qui est égal à une moyenne arithmétique des rayons externes des rotors du compresseur basse pression, le rayon externe correspondant à une distance entre un sommet du rotor et l'axe de rotation, à mi-distance au sommet entre un bord d'attaque et un bord de fuite du rotor, et est exprimé en mètres (m).

Brève description des Figures

[0026] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés, dans lesquels :

[0027] [Fig.1] La [Fig.1] représente de manière schématique un aéronef comprenant des systèmes propulsifs ;

[0028] [Fig.2] La [Fig.2] représente de manière schématique, en vue partielle et en coupe, un exemple de système propulsif dans lequel la section de soufflante est carénée ;

[0029] [Fig.3] La [Fig.3] représente de manière schématique, en vue partielle et en coupe, un exemple de système propulsif dans lequel la section de soufflante est non-carénée ;

[0030] [Fig.4] La [Fig.4] représente de manière schématique un premier exemple de mécanisme de réduction planétaire à porte satellite fixe ;

[0031] [Fig.5] La [Fig.5] représente de manière schématique un premier exemple de mécanisme de réduction épicycloïdal à porte satellite tournant ;

[0032] [Fig.6] La [Fig.6] représente de manière schématique une vue partielle en perspective

et de dessus d'un rotor de soufflante ; et

[0033] [Fig.7] La [Fig.7] représente de manière schématique, en vue partielle et en coupe, un exemple de compresseur basse pression.

Description détaillée d'un exemple de réalisation

[0034] Dans l'exemple illustré sur la [Fig.1], l'aéronef est un avion 100 comprenant un fuselage 101 et deux ailes 102. Dans cet exemple, l'aéronef comprend deux systèmes propulsifs 1, chaque système propulsif 1 étant fixé à une aile 102 respective de l'avion 100 par l'intermédiaire d'un pylône. Dans un autre mode de réalisation, l'aéronef pourrait comprendre un ou plusieurs système propulsif(s) fixé(s) au fuselage 101.

[0035] La [Fig.2] représente de manière schématique, en vue partielle et en coupe, un premier exemple d'un système propulsif 1.

[0036] Dans cet exemple, le système propulsif 1 est un moteur à turbine à gaz à double corps et à soufflante carénée.

[0037] Sur la [Fig.2], le système propulsif 1 présente une direction principale s'étendant selon un axe longitudinal X. Le système propulsif 1 comprend une section de soufflante 2 et un corps primaire 3, souvent appelé « générateur de gaz ».

[0038] La section de soufflante 2 comprend une soufflante 22 et un carter de soufflante 12. La soufflante 22 comprend un rotor de soufflante 9. Le carter de soufflante 12 entoure le rotor de soufflante 9. Le rotor de soufflante 9 est monté rotatif par rapport au carter de soufflante 12.

[0039] Le rotor de soufflante 9 comprend un moyeu de soufflante 13 et des aubes de soufflante 14 s'étendant radialement à partir du moyeu 13. Les aubes de soufflante 14 peuvent être fixes par rapport au moyeu de soufflante 13 ou présenter un calage variable. Dans ce dernier cas, chacune des aubes de soufflante 14 est montée pivotante par rapport au moyeu de soufflante 13 suivant un axe de calage et est reliée à un mécanisme de changement de pas monté dans le système propulsif 1. Le mécanisme de changement de pas permet d'ajuster l'angle de calage des aubes de soufflante 14 en fonction des phases de vol.

[0040] Le rotor de soufflante 9 comprend au moins quatorze aubes de soufflante 14 et au plus vingt-quatre aubes de soufflante 14, de préférence au moins seize aubes de soufflante 14 et au plus vingt-quatre aubes de soufflante 14, et par exemple vingt-deux aubes de soufflante.

[0041] De plus, dans cet exemple, la section de soufflante 2 comprend également un stator de soufflante 16 monté fixe sur le carter de soufflante 12. Le stator de soufflante 16 comprend des aubes fixes 17 généralement dénommées « aubes de sortie » (ou « OGV », pour « Outlet Guide Vane » en anglais). Cet ensemble d'aubes fixes a pour fonction de redresser et de réguler le flux d'air qui s'écoule en aval du rotor de soufflante 9 pour contribuer à la poussée du moteur. Cet ensemble d'aubes fixes joue

aussi un rôle de réducteur de bruit.

- [0042] Alternativement, les aubes de sortie 17 pourraient présenter un calage variable. Le cas échéant, et de manière similaire aux aubes de soufflante 14 du rotor de soufflante 9, le pied des aubes de sortie 17 est monté pivotant suivant un axe de calage et est relié à un mécanisme de changement de pas (non-représenté), le calage étant ajusté en fonction des phases de vol par le mécanisme de changement de pas.
- [0043] Le nombre d'aubes de sortie 17 dépend des critères acoustiques définis pour le système propulsif 1 et est au moins égal au nombre d'aubes de soufflante 14. Le nombre d'aubes de sortie 17 peut aller de 36 à 52, de préférence de 38 à 44, et est par exemple égal à 40.
- [0044] La [Fig.3] représente de manière schématique, en vue partielle et en coupe, un deuxième exemple de système propulsif 1.
- [0045] Sur la [Fig.3], les composants identiques ou similaires à ceux du système propulsif de la [Fig.2] sont désignés par des références identiques.
- [0046] Dans l'exemple illustré sur la [Fig.3], le système propulsif 1 est un moteur à turbine à gaz à double corps et à soufflante non-carénée. Il peut s'agir d'un moteur à turbine à gaz de type « Open Rotor » ou « Unducted Single Fan ».
- [0047] Contrairement au premier exemple de la [Fig.2], le rotor de soufflante 9, qui peut également être désignée par le terme « hélice », n'est pas entouré par un carter de soufflante.
- [0048] La section de soufflante 2 étant non carénée, les aubes de soufflante 14 présentent un calage variable.
- [0049] Alternativement, le système propulsif 1 pourrait comprendre deux rotors de soufflante 9 non carénés et contrarotatifs. Un tel système propulsif 1 est connu, dans la terminologie anglo-saxonne, sous l'acronyme « CROR » pour « Contra-Rotating Open Rotor » ou « UDF » pour « Unducted Double Fan ». Les rotors de soufflante 9 peuvent être placés à l'arrière du corps primaire 3 de sorte à être du type pousseur (« pusher » en anglais) ou à l'avant du corps primaire 3 de sorte à être du type tracteur (« puller » en anglais).
- [0050] L'absence de carénage autour du rotor de soufflante 9 permet d'augmenter le taux de dilution de façon importante sans que le système propulsif 1 ne soit pénalisé par la masse des carter 12 ou nacelles destinés à entourer la section de soufflante 2. Le taux de dilution du système propulsif 1 comprenant une section de soufflante 2 non carénée est ainsi supérieur ou égal à 40, par exemple compris entre 40 et 80 inclus.
- [0051] La suite la description concerne le premier exemple de système propulsif illustré sur la [Fig.2] mais s'applique également au deuxième exemple de système propulsif.
- [0052] Le corps primaire 3 comprend une section de compresseur 29, une chambre de combustion 6 et une section de turbine 30.

- [0053] La section de compresseur 29 comprend un compresseur basse pression 4 et un compresseur haute pression 5.
- [0054] Le compresseur basse pression 4 comprend un rotor 41 propre à être entraîné en rotation par rapport au carter 31 du système propulsif 1 et un stator 42 monté fixe sur le carter 31.
- [0055] Le rotor 41 du compresseur basse pression 4 comprend des roues mobiles 4a et le stator 42 du compresseur basse pression 4 comprend des roues fixes 4b. Les roues mobiles 4a sont disposées en alternance avec les roues fixes 4b, formant ainsi une succession d'étages de compresseur basse pression.
- [0056] De même, le compresseur haute pression 5 comprend un rotor 51 propre à être entraîné en rotation par rapport au carter 31 du système propulsif 1 et un stator 52 monté fixe sur le carter 31.
- [0057] Le rotor 51 du compresseur haute pression 5 comprend des roues mobiles 5a et le stator 52 du compresseur haute pression 5 comprend des roues fixes 5b. Les roues mobiles 5a sont disposées en alternance avec les roues fixes 5b, formant ainsi une succession d'étages de compresseur haute pression.
- [0058] La section de turbine 30 comprend une turbine haute pression 7 et une turbine basse pression 8.
- [0059] La turbine haute pression 7 comprend un rotor 71 propre à être entraîné en rotation par rapport au carter 31 du système propulsif 1 et un stator 72 monté fixe sur le carter 31.
- [0060] Le rotor 71 de la turbine haute pression 7 comprend des roues mobiles 7a et le stator 72 de la turbine haute pression 7 comprend des roues fixes 7b. Les roues mobiles 7a sont disposées en alternance avec les roues fixes 7b, formant ainsi une succession d'étages de turbine haute pression.
- [0061] De même, la turbine basse pression 8 comprend un rotor 81 propre à être entraîné en rotation par rapport au carter 31 du système propulsif 1 et un stator 82 monté fixe sur le carter 31.
- [0062] Le rotor 81 de la turbine basse pression 8 comprend des roues mobiles 8a et le stator 82 de la turbine basse pression 8 comprend des roues fixes 8b. Les roues mobiles 8a sont disposées en alternance avec les roues fixes 8b, formant ainsi une succession d'étages de turbine basse pression.
- [0063] Le système propulsif 1 comprend un arbre basse pression 11 reliant le rotor 41 de la turbine basse pression 4 au rotor 81 du compresseur basse pression 8, l'arbre basse pression 11 étant monté rotatif par rapport au carter 31 autour de l'axe longitudinal X.
- [0064] Lorsque le système propulsif 1 est en fonctionnement, le rotor 81 de la turbine basse pression 8 entraîne en rotation le rotor 41 du compresseur basse pression 4 par le biais de l'arbre basse pression 11.

- [0065] Le système propulsif 1 comprend en outre un arbre de soufflante 20 et un mécanisme de réduction 19. Le rotor de soufflante 9 est monté fixe sur l'arbre de soufflante 20. Le mécanisme de réduction 19 présente une entrée et une sortie. L'entrée du mécanisme de réduction 19 est raccordée à l'arbre basse pression 11 et la sortie du mécanisme de réduction 19 est raccordée à l'arbre de soufflante 20. Ainsi, lorsque le système propulsif 1 est en fonctionnement, le rotor 81 de la turbine basse pression 8 entraîne en rotation non seulement le rotor 41 du compresseur basse pression 4, mais également le rotor de soufflante 9, par le biais de l'arbre basse pression 11, du mécanisme de réduction 19 et de l'arbre de soufflante 20.
- [0066] Le mécanisme de réduction 19 peut comprendre un mécanisme de réduction épicycloïdal ou planétaire, monoétage ou biétage.
- [0067] Par exemple, la [Fig.4] illustre un mécanisme de réduction 19 du type planétaire (ou « star » en anglais). Le mécanisme de réduction 19 comprend un pignon solaire 19a (entrée du mécanisme de réduction 19), centré sur un axe de rotation du mécanisme de réduction 19 généralement confondu avec l'axe longitudinal X et configuré pour être entraîné en rotation par l'arbre basse pression 11, une couronne 19b (sortie du mécanisme de réduction 19) coaxiale avec le pignon solaire 19a et configurée pour entraîner en rotation l'arbre de soufflante 20 autour de son axe X de rotation, et une série de satellites 19c répartis de manière circonférentielle autour de l'axe X de rotation du rotor 9 de la section de soufflante 2, entre le pignon solaire 19a et la couronne 19b, chaque satellite 19c étant engrené intérieurement avec le pignon solaire 19a et extérieurement avec la couronne 19b. La série de satellites 19c est montée sur un porte-satellites 19d qui est fixe par rapport à une partie stator 19e du système propulsif 1, par exemple par rapport à un carter de la section de compresseur 4, 5.
- [0068] Dans un autre exemple, la [Fig.5] illustre un mécanisme de réduction 19 de type épicycloïdal (ou « planetary » en anglais), auquel cas la couronne 19b est montée fixement sur la partie stator 19e du système propulsif 1 et l'arbre de soufflante 20 est entraîné en rotation par le porte-satellites 19d.
- [0069] Quelle que soit la configuration du mécanisme de réduction 19, le diamètre de la couronne 19b et du porte satellites 19d sont supérieurs au diamètre du pignon solaire 19a, de sorte que la vitesse de rotation du rotor 9 de la section de soufflante 2 est inférieure à la vitesse de rotation de l'arbre basse pression 11.
- [0070] Le rapport de réduction du mécanisme de réduction 19 a une valeur allant de 2,5 à 11, de préférence allant de 2,7 à 6,0, de manière encore plus préférée allant de 2,7 à 3,6, et par exemple une valeur d'environ 3,0.
- [0071] Le mécanisme de réduction 19 permet ainsi de maîtriser de manière indépendante la vitesse de rotation de la soufflante 22 et la vitesse de rotation de la turbine basse pression 8 et du compresseur basse pression 4.

- [0072] La turbine basse pression 8, l'arbre basse pression 11, le compresseur basse pression 4, l'arbre de soufflante 20, le mécanisme de réduction 19 et la soufflante 22 forment ensemble le « corps basse pression » du système propulsif 1.
- [0073] Le système propulsif 1 comprend en outre un arbre haute pression 10 reliant le rotor 51 de la turbine haute pression 5 au rotor 71 du compresseur haute pression 7, l'arbre haute pression 10 étant monté rotatif par rapport au carter 31 autour de l'axe longitudinal X. L'arbre haute pression 10 est coaxial avec l'arbre basse pression 11 et s'étend autour de l'arbre basse pression 11.
- [0074] Lorsque le système propulsif 1 est en fonctionnement, le rotor 71 de la turbine haute pression 7 entraîne en rotation le rotor 51 du compresseur basse pression 5 par le biais de l'arbre basse pression 11.
- [0075] La turbine haute pression 7, l'arbre haute pression 10 et le compresseur haute pression 4 forment ensemble le « corps haute pression » du système propulsif 1.
- [0076] L'arbre basse pression 11 et l'arbre haute pression 10 peuvent être corotatifs, c'est-à-dire être entraînés dans le même sens de rotation autour de l'axe longitudinal X. En variante, l'arbre basse pression 11 et l'arbre haute-pression 10 peuvent être contra-rotatifs, c'est-à-dire être entraînés dans des sens de rotation opposés autour de l'axe longitudinal X.
- [0077] Le système propulsif 1 à double corps peut notamment comprendre une turbine haute pression 7 monoétage, c'est-à-dire comprenant exactement un étage (comme illustré dans l'exemple de la [Fig.3]), ou une turbine haute pression 7 biétage, c'est-à-dire comprenant exactement deux étages (comme illustré dans l'exemple de la [Fig.2]). De préférence, la turbine haute pression 7 est biétage.
- [0078] Le compresseur haute pression 5 comprend au moins huit étages (comme illustré dans l'exemple de la [Fig.2]) et au plus onze étages.
- [0079] La turbine basse pression 8 comprend au moins trois étages (comme illustré dans l'exemple de la [Fig.2]) et au plus sept étages. De préférence, la turbine basse pression 8 comprend au moins trois étages et au plus 5 étages.
- [0080] Le compresseur basse pression 4 comprend au moins deux étages et au plus quatre étages. De préférence, le compresseur basse pression 4 comprends deux ou trois étages.
- [0081] Lorsque le système propulsif est en fonctionnement, un flux d'air F entrant dans le système propulsif 1 traverse la soufflante 22 puis est divisé entre un flux d'air primaire F1 et un flux d'air secondaire F2, qui circulent d'amont en aval dans le système propulsif 1.
- [0082] Le flux d'air secondaire F2, appelé également « flux d'air de dérivation », s'écoule dans la veine secondaire, autour du corps primaire 3. Le flux d'air secondaire F2 permet de refroidir la périphérie du corps primaire 3 et sert à générer la majeure partie

de la poussée fournie par le système propulsif 1.

- [0083] Le flux d'air primaire F1 s'écoule dans une veine primaire 29 à l'intérieur du corps primaire 3, en passant successivement à travers la section de compresseur 29 (compresseur basse pression 4 et compresseur haute pression 5), la chambre de combustion 6 où il est mélangé avec du carburant pour servir de comburant, et la section de turbine 30 (turbine haute pression 7 et turbine basse pression 8). Le passage du flux d'air primaire F1 à travers la section de turbine 30 recevant de l'énergie de la chambre de combustion 6 provoque une rotation des roues mobiles 7a, 8a de la section de turbine 30, qui entraînent à leur tour en rotation les roues mobiles 4a, 5a de la section de compresseur 29 ainsi que le rotor de soufflante 9.
- [0084] Afin d'améliorer le rendement propulsif du système propulsif 1 et de réduire sa consommation spécifique ainsi que le bruit émis par la section de soufflante 2, le système propulsif 1 présente un taux de dilution (ou « bypass ratio » en anglais) élevé. Par taux de dilution « élevé », il est signifié un taux de dilution supérieur ou égal à 10, par exemple compris allant de 10 à 80, de préférence compris allant de 10 à 35, de préférence allant de 12 à 16. Le taux de dilution est défini comme un rapport entre le débit massique du flux d'air secondaire F2 et le débit massique du flux d'air primaire F1, ces débits massiques étant mesurés lorsque le système propulsif 1 est stationnaire, non-installé, en régime de décollage dans une atmosphère standard (telle que définie par le manuel de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), Doc 7488/3, 3e édition) et au niveau de la mer. Par « non installé », il est signifié que les mesures sont effectuées lorsque le système propulsif 1 est sur un banc d'essai (et non installé sur un aéronef), les mesures étant alors plus simples à réaliser.
- [0085] On notera que, dans la présente demande, certains paramètres sont déterminés en conditions de croisière, c'est-à-dire à 10668 m d'altitude (35000 pieds), 0,8 Mach et en conditions ISA (acronyme anglais de International Standard Atmosphere, pour atmosphère standard internationale) définies par la norme ISO2533/édition 1975/addendum 1985. De plus, les distances (longueur, rayon, diamètre, etc.) sont mesurées à température ambiante (environ 20°C) lorsque le système propulsif 1 est à froid, c'est-à-dire lorsque le système propulsif 1 est à l'arrêt depuis une période suffisante pour que les pièces du système propulsif soient à température ambiante, étant entendu que ces dimensions varient peu par rapport aux conditions dans lesquelles le système propulsif 1 est en régime de décollage.
- [0086] Dans un système propulsif incluant un mécanisme de réduction 19 tel que celui qui est illustré sur la [Fig.2], le découplage entre la vitesse de rotation de la soufflante 22 et la vitesse de rotation de la turbine basse pression 8 permet de réduire la vitesse de rotation et le rapport de pression du rotor de soufflante 9 tout en augmentant la puissance extraite par la turbine basse pression 8. En effet, l'efficacité globale du

système propulsif 1 est conditionnée au premier ordre par le rendement propulsif, qui est favorablement influencé par une minimisation de la variation d'énergie cinétique de l'air à la traversée du système propulsif 1. Dans un système propulsif à taux de dilution élevé, l'essentiel du débit générant l'effort propulsif est constitué par le flux d'air secondaire F2 du système propulsif 1, l'énergie cinétique du flux d'air secondaire F2 étant majoritairement affectée par la compression que subit le flux d'air secondaire F2 lors de la traversée de la section de soufflante 2. Le rendement propulsif et le rapport de pression de la section de soufflante 2 sont donc liés : plus le rapport de pression de la section de soufflante 2 est faible, meilleur sera le rendement propulsif. Afin d'améliorer le rendement propulsif du système propulsif 1, le rapport de pression de la soufflante, qui correspond au rapport entre la pression moyenne en sortie du stator de soufflante 16 (ou, en l'absence de stator 16, du rotor de soufflante 9) et la pression moyenne en entrée du rotor de soufflante 9, est inférieur ou égal à 1,70, de préférence inférieur ou égal à 1,50, par exemple compris entre 1,05 et 1,30. Les pressions moyennes sont mesurées ici sur la hauteur d'au moins une des aubes de soufflante 14, c'est-à-dire de la surface qui délimite radialement à l'intérieur la veine d'écoulement d'air en entrée du rotor de soufflante 9 au sommet 21 d'aube de soufflante 14.

- [0087] Le système propulsif 1 est configuré pour fournir une poussée comprise entre 18 000 lbf (80068 N) et 51 000 lbf (222411 N), par exemple entre 20 000 lbf (88964 N) et 35 000 lbf (155688 N), lorsque le système propulsif 1 est stationnaire, non-installé, en régime de décollage dans une atmosphère standard (telle que définie par le manuel de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), Doc 7488/3, 3e édition) et au niveau de la mer.
- [0088] La vitesse périphérique au sommet des aubes du rotor de soufflante, lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer, présente une valeur allant de 270 m/s à 380 m/s.
- [0089] Le diamètre D du rotor de soufflante peut avoir une valeur allant de 1,270 m à 4,300m. Un tel diamètre permet au système propulsif de s'intégrer à un aéronef de manière conventionnelle, en particulier sous l'aile de l'aéronef 1. Dans le cas où la section de soufflante n'est pas carénée, le diamètre D peut avoir de préférence une valeur allant de 1,980 m à 4,300 m. Dans le cas où la section de soufflante est carénée, le diamètre D peut avoir de préférence une valeur allant de 1,270 m à 3,048 m.
- [0090] Le rotor de soufflante 22 présente par ailleurs un rapport tête-moyeu compris allant de 0,22 à 0,32, de préférence allant de 0,235 à 0,300, et par exemple d'environ 0,27. Le rapport tête-moyeu correspond au rapport entre le rayon interne R_i et le rayon externe R_e du rotor de soufflante 22. Le rayon interne R_i correspond à la distance entre l'axe de rotation X et le point d'intersection entre le bord d'attaque 14' et la surface qui délimite radialement à l'intérieur la veine d'écoulement en entrée du rotor de

soufflante 22 (et correspond au point de raccordement du bord d'attaque 14' avec la surface aérodynamique d'une plateforme du rotor de soufflante 22). Le rayon externe R_e correspond à la distance entre l'axe de rotation X et le point d'intersection entre le bord d'attaque 40 et le sommet 42 des aubes de soufflante 14 (et correspondant à la moitié du diamètre D de soufflante). Plus le rapport tête-moyeu est faible, plus le rotor de soufflante 22 est performant. Toutefois, la diminution du rapport moyeu-tête du rotor de soufflante 22 implique une augmentation de la charge mécanique du moyeu 13 du rotor de soufflante 22.

- [0091] Un rapport entre une première corde C1 mesurée au sommet de l'aube du rotor de soufflante et une deuxième corde C2 mesurée en pied d'aube du rotor de soufflante possède une valeur allant de 0,56 à 0,80. Comme illustré sur la [Fig.6], une corde correspond à une ligne droite allant du bord d'attaque au bord de fuite dans une direction perpendiculaire à l'axe radial de l'aube.
- [0092] En outre, le rotor de soufflante 22 présente une solidité en sommet d'aube 42 du rotor de soufflante 22 ayant une valeur allant de 0,9 à 1,3, la solidité étant définie comme un rapport entre la valeur de la première corde C1 mesurée au sommet de l'aube et la valeur d'un pas inter-aube P. Le pas inter-aube P correspond à la distance entre deux aubes mesurée en pieds d'aube, par exemple entre le bord d'attaque de deux aubes successives.
- [0093] Afin d'optimiser les performances du système propulsif et notamment le rendement du compresseur basse pression, ce dernier possède un régime maximum ayant une valeur allant de 10700 rpm à 13000 rpm, et une valeur du rapport entre un rayon moyen du compresseur basse pression et un rayon interne du rotor du premier étage allant de 1,1 à 1,4, le premier étage du compresseur basse pression étant l'étage le plus en amont du compresseur.
- [0094] Sur un mode de réalisation représenté sur la [Fig.7], le compresseur basse pression comporte un premier étage 44 comprenant un rotor 44r et un stator 44s, un deuxième étage 46 comprenant un rotor 46r et un stator 46s, et un troisième étage 48 comprenant un rotor 48r et un stator 48s.
- [0095] Le rayon moyen R_{moy} du compresseur est défini comme étant la moyenne des rayons de chaque rotor R_{44} , R_{46} et R_{48} , le rayon correspondant à la distance entre, d'une part, l'axe de rotation X du système propulsif et, d'autre part, un point pris à la mi-hauteur et à mi-distance entre un bord d'attaque et un bord de fuite des pales d'aubes du rotor. Le rayon interne R_{ic} correspond au rayon du premier rotor 44r, qui est la distance entre l'axe de rotation X et un point pris en pied d'aube 44r à mi-distance entre un bord d'attaque et un bord de fuite du rotor. Ce rayon interne R_{ic} présente une valeur allant de 250 mm à 350 mm.
- [0096] En particulier, afin que le compresseur basse pression 4 ait un rendement optimisé, sa

charge thermodynamique ou charge peut être de préférence inférieure ou égale à 0,33, la charge du compresseur étant définie par la formule suivante :

$$\text{Charge du compresseur} = \frac{\Delta H}{N1 \times Umoy^2}$$

[0097] dans laquelle

ΔH représente la différence d'enthalpie de l'air entre la sortie et l'entrée du compresseur BP et est exprimé en Joules par kilogramme (J/Kg), N1 représente le nombre d'étages du compresseur BP et Umoy est la vitesse tangentielle moyenne à 50% de la hauteur des rotors du compresseur BP et est exprimée en mètres par secondes (m/s), Umoy pouvant être calculé selon la formule ci-dessous

$$Umoy = Rmoy \times Rcomp \times \left(\frac{\pi}{30}\right)$$

[0098] dans laquelle Rmoy correspond au rayon moyen précédemment défini et Rcomp est le régime du compresseur en tours par minute (tr/min).

[0099] Par ailleurs, le nombre de Mach en pied du bord d'attaque du rotor du premier étage du compresseur BP peut avoir de préférence une valeur de $1 \pm 10\%$ de façon à éviter les ondes de chocs transsoniques.

[0100] Lorsque le compresseur basse pression 4 comporte trois étages comme sur la [Fig.6], le taux de compression par étage a une valeur allant de 2,8 à 4,8. Un tel taux de compression du compresseur BP permet d'obtenir un taux de compression par étage allant de 1,4 à 1,7. Selon un autre mode de réalisation non représenté dans lequel le compresseur basse pression 4 comporte deux étages, le taux de compression par étage a une valeur allant de 1,7 à 2,5. Un tel taux de compression du compresseur BP permet d'obtenir un taux de compression par étage allant de 1,4 à 1,7.

[0101] Le compresseur fonctionne ainsi avec un rendement optimisé quel que soit son nombre d'étages.

[0102] Par ailleurs, le compresseur basse pression 4 présente une densité de puissance ayant une valeur allant de 0,64 à 0,97, la densité de puissance du compresseur étant définie par la formule suivante :

$$\text{Densité de puissance du compresseur} = \frac{D^2}{BPR+1} * \frac{Um^2 * n_{et}}{Rext_{moy}^2} * 10^{-6}$$

[0103] et où : BPR est le taux de dilution du système propulsif et est mesuré lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer et est exprimée en livres de poussée ; n_{et} est le nombre d'étages du compresseur ; Um est la vitesse périphérique moyenne du rotor du compresseur mesurée lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer et est exprimée en livres de poussée et est exprimée en mètres par seconde (m/s) ; et Rext_moy est le rayon externe moyen du compresseur, qui est égal à une moyenne arithmétique des rayons externes

des rotors du compresseur basse pression, le rayon externe correspondant à une distance entre un sommet du rotor et l'axe de rotation, à mi-distance au sommet entre un bord d'attaque et un bord de fuite du rotor, et est exprimé en mètres (m).

[0104] L'invention comporte également un procédé de dimensionnement du système propulsif précédemment, comprenant notamment :

- un arbre de soufflante ;
- une section de soufflante comprenant un rotor de soufflante entraîné en rotation par l'arbre de soufflante ;
- un corps primaire comprenant une section de compresseur comprenant un compresseur basse pression et un compresseur haute pression, une chambre de combustion et une section de turbine comprenant une turbine haute pression entraînant en rotation le compresseur haute pression au moyen d'un arbre haute pression et une turbine basse pression entraînant en rotation le compresseur basse pression au moyen d'un arbre basse pression ;
- un mécanisme de réduction couplant l'arbre basse pression et l'arbre de soufflante afin d'entraîner l'arbre de soufflante à une vitesse inférieure à la vitesse de rotation de l'arbre basse pression ;

le compresseur basse pression comprenant un premier étage et au moins un autre étage, chaque étage comportant successivement dans le sens d'écoulement du gaz un rotor et un stator,

ledit procédé de dimensionnement comprenant les étapes suivantes

- choisir, pour le compresseur basse pression, un régime maximum ayant une valeur allant de 10700 tours par minute (rpm) à 13000 tours par minute (rpm), et
- choisir un rayon moyen (Rmoy) du compresseur basse pression et un rayon interne du rotor (Ric) de sorte qu'une valeur du rapport entre le rayon moyen (Rmoy) du compresseur basse pression et le rayon interne du rotor (Ric) du premier étage est compris dans une gamme allant de 1,1 à 1,4.

[0105] Le procédé de dimensionnement s'applique au système propulsif comprenant les caractéristiques additionnelles précédemment décrites pouvant être prises individuellement ou en combinaison.

[0106] Le procédé de dimensionnement peut notamment comprendre une étape selon laquelle on choisit, pour le compresseur basse pression (4), une densité de puissance ayant une valeur allant de 0,64 à 0,97, la densité de puissance du compresseur étant définie par la formule suivante :

$$\text{Densité de puissance du compresseur} = \frac{D^2}{BPR+1} * \frac{Um^2 * n_{gr}}{Re_{ext}^2 * r_{moy}} * 10^{-6} \quad \text{et où : BPR}$$

est le taux de dilution du système propulsif et est mesuré lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de

la mer ; n_{et} est le nombre d'étages du compresseur ; U_m est la vitesse périphérique moyenne du rotor du compresseur mesurée lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer et est exprimée en mètres par seconde (m/s) ; et R_{ext_moy} est le rayon externe moyen du compresseur, qui est égal à une moyenne arithmétique des rayons externes des rotors du compresseur basse pression, le rayon externe correspondant à une distance entre un sommet du rotor et l'axe de rotation, à mi-distance au sommet entre un bord d'attaque et un bord de fuite du rotor, et est exprimé en mètres (m).

Revendications

- [Revendication 1] Système propulsif aéronautique (1) comprenant :
- un arbre de soufflante (20) ;
 - une section de soufflante (2) comprenant un rotor de soufflante (22) entraîné en rotation par l'arbre de soufflante ;
 - un corps primaire (3) comprenant une section de compresseur (29) comprenant un compresseur basse pression (4) et un compresseur haute pression (5), une chambre de combustion (6) et une section de turbine (30) comprenant une turbine haute pression (7) entraînant en rotation le compresseur haute pression (5) au moyen d'un arbre haute pression (10) et une turbine basse pression (8) entraînant en rotation le compresseur basse pression (4) au moyen d'un arbre basse pression (11) ;
 - un mécanisme de réduction (19) couplant l'arbre basse pression (8) et l'arbre de soufflante (20) afin d'entraîner l'arbre de soufflante (20) à une vitesse inférieure à la vitesse de rotation de l'arbre basse pression (8) ; le compresseur basse pression (4) comprenant un premier étage (44) et au moins un autre étage (46, 48), chaque étage comportant successivement dans le sens d'écoulement du gaz un rotor (44r, 46r, 48r) et un stator (44s, 46s, 48s), le compresseur basse pression (4) possédant un régime maximum ayant une valeur allant de 10700 tours par minute (rpm) à 13000 tours par minute (rpm), et une valeur du rapport entre un rayon moyen (R_{moy}) du compresseur basse pression et un rayon interne du rotor (R_{ic}) du premier étage allant de 1,1 à 1,4.
- [Revendication 2] Système propulsif selon la revendication 1, dans lequel le rotor de soufflante (22) possède un diamètre (D) ayant une valeur allant de 1,270 mètres à 4,300 mètres.
- [Revendication 3] Système propulsif selon la revendication 2, dans lequel la section de soufflante (20) n'est pas carénée et le rotor de soufflante (22) présente un diamètre ayant une valeur allant de 1,980 mètres à 4,300 mètres.
- [Revendication 4] Système propulsif selon la revendication 2, dans lequel la section de soufflante (20) est carénée et le rotor de soufflante (22) présente un diamètre ayant une valeur allant de 1,270 mètres à 3,048 mètres.
- [Revendication 5] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le compresseur basse pression (4) est un compresseur tri-étages (44, 46, 48) et présente un taux de compression défini comme un rapport

- entre une pression de gaz en sortie du compresseur basse pression et une pression de gaz en entrée du compresseur basse pression, ayant une valeur allant de 2,8 à 4,8.
- [Revendication 6] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le compresseur basse pression (4) est un compresseur bi-étages (44, 46) et présente un taux de compression défini comme un rapport entre une pression de gaz en sortie du compresseur basse pression et une pression de gaz en entrée du compresseur basse pression, ayant une valeur allant de 1,7 à 2,5.
- [Revendication 7] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, présentant un taux de dilution défini comme un rapport entre un débit massique de flux d'air secondaire (F2) s'écoulant à travers la section de soufflante autour du corps primaire et un débit massique de flux d'air primaire (F1) s'écoulant à travers le corps primaire, ayant une valeur allant de 12 à 16.
- [Revendication 8] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le rayon interne (Ric) du rotor (44r) du premier étage (44) possède une valeur allant de 250 à 350 millimètres.
- [Revendication 9] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le mécanisme de réduction (19) présente un rapport de réduction ayant une valeur allant de 2,5 à 11.
- [Revendication 10] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la vitesse périphérique au sommet des aubes (14) du rotor de soufflante (22) présente une valeur allant de 270 mètres/seconde à 380 mètres/seconde.
- [Revendication 11] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un rapport moyeu-tête du rotor de soufflante (22), défini comme un rapport entre un rayon interne (Ri) du rotor de soufflante et un rayon externe (Re) du rotor de soufflante, présente une valeur allant de 0,22 à 0,32.
- [Revendication 12] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un rapport entre une première corde (C1) mesurée au sommet de l'aube (14) du rotor de soufflante (22) et une deuxième corde (C2) mesurée en pied d'aube (14) du rotor de soufflante (22) présente une valeur allant de 0,56 à 0,80.
- [Revendication 13] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le rotor de soufflante (22) présente une solidité en sommet d'aube (14) du rotor de soufflante (22) ayant une valeur allant

de 1,0 à 1,3, la solidité étant définie comme un rapport entre la valeur d'une première corde (C1) mesurée au sommet de l'aube (14) et la valeur d'un pas inter-aube (P).

[Revendication 14] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le rotor de soufflante (22) comprend un nombre d'aubes allant de 16 à 24.

[Revendication 15] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la section de soufflante (20) comprend un stator de soufflante (16) comportant un nombre d'aubes fixes (17) allant de 36 à 52.

[Revendication 16] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la turbine basse pression (8) comprend un nombre d'étage allant de 3 à 5.

[Revendication 17] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la turbine haute pression (7) comprend deux étages.

[Revendication 18] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le compresseur haute pression (5) comprend un nombre d'étages allant de 8 à 11 étages.

[Revendication 19] Système propulsif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le compresseur basse pression (4) présente une densité de puissance ayant une valeur allant de 0,64 à 0,97, la densité de puissance du compresseur étant définie par la formule suivante :

$$\text{Densité de puissance du compresseur} = \frac{D^2}{BPR+1} * \frac{Um^2 * n_{et}}{Rext_{moy}^2} * 10^{-6} \quad \text{et}$$

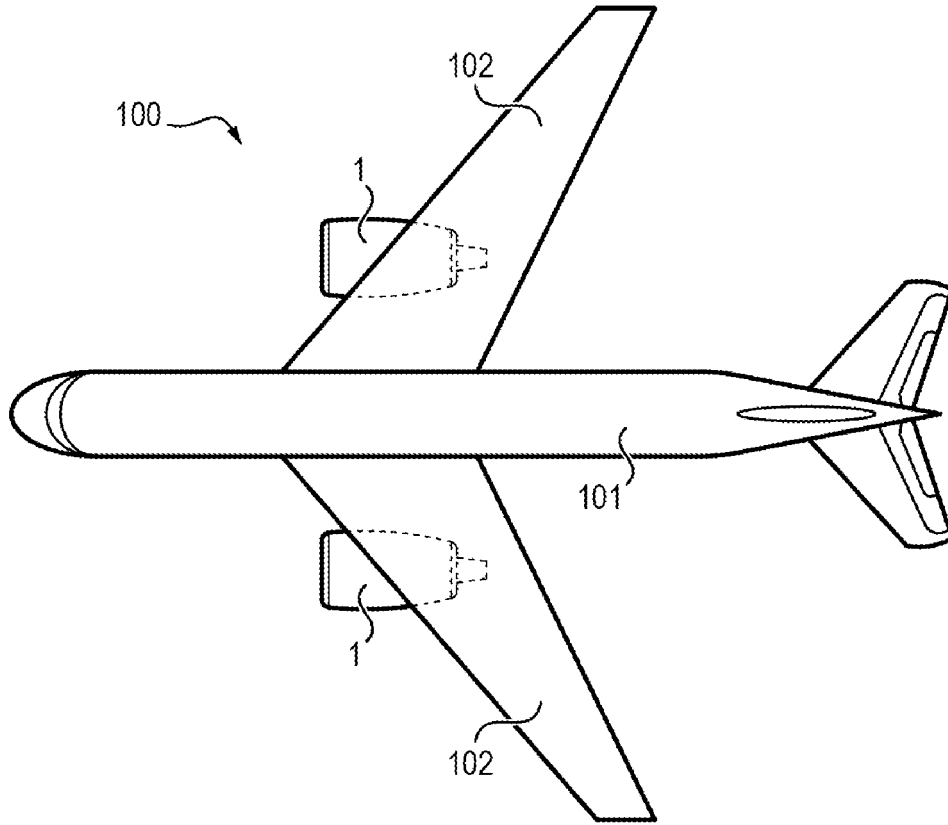
où : BPR est le taux de dilution du système propulsif et est mesuré lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer ; n_{et} est le nombre d'étages du compresseur ; Um est la vitesse périphérique moyenne du rotor du compresseur mesurée lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer et est exprimée en mètres par seconde (m/s) ; et $Rext_{moy}$ est le rayon externe moyen du compresseur, qui est égal à une moyenne arithmétique des rayons externes des rotors du compresseur basse pression, le rayon externe correspondant à une distance entre un sommet du rotor et l'axe de rotation, à mi-distance au sommet entre un bord d'attaque et un bord de fuite du rotor, et est exprimé en mètres (m).

- [Revendication 20] Aéronef (100) comprenant un système propulsif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes.
- [Revendication 21] Procédé de dimensionnement d'un système propulsif (1), ledit système propulsif comprenant :
- un arbre de soufflante ;
 - une section de soufflante comprenant un rotor de soufflante entraîné en rotation par l'arbre de soufflante ;
 - un corps primaire comprenant une section de compresseur comprenant un compresseur basse pression et un compresseur haute pression, une chambre de combustion et une section de turbine comprenant une turbine haute pression entraînant en rotation le compresseur haute pression au moyen d'un arbre haute pression et une turbine basse pression entraînant en rotation le compresseur basse pression au moyen d'un arbre basse pression ;
 - un mécanisme de réduction couplant l'arbre basse pression et l'arbre de soufflante afin d'entraîner l'arbre de soufflante à une vitesse inférieure à la vitesse de rotation de l'arbre basse pression ;
- le compresseur basse pression comprenant un premier étage et au moins un autre étage, chaque étage comportant successivement dans le sens d'écoulement du gaz un rotor et un stator,
- le procédé comprenant les étapes suivantes
- choisir, pour le compresseur basse pression, un régime maximum ayant une valeur allant de 10700 tours par minute (rpm) à 13000 tours par minute (rpm), et
 - choisir un rayon moyen (R_{moy}) du compresseur basse pression et un rayon interne du rotor (R_{ic}) de sorte qu'une valeur du rapport entre le rayon moyen (R_{moy}) du compresseur basse pression et le rayon interne du rotor (R_{ic}) du premier étage est compris dans une gamme allant de 1,1 à 1,4.
- [Revendication 22] Procédé de dimensionnement d'un système propulsif selon l'une quelconque des revendications 2 à 18.
- [Revendication 23] Procédé de dimensionnement d'un système propulsif selon la revendication 21 ou 22, comprenant en outre une étape selon laquelle on choisit, pour le compresseur basse pression (4), une densité de puissance ayant une valeur allant de 0,64 à 0,97, la densité de puissance du compresseur étant définie par la formule suivante :

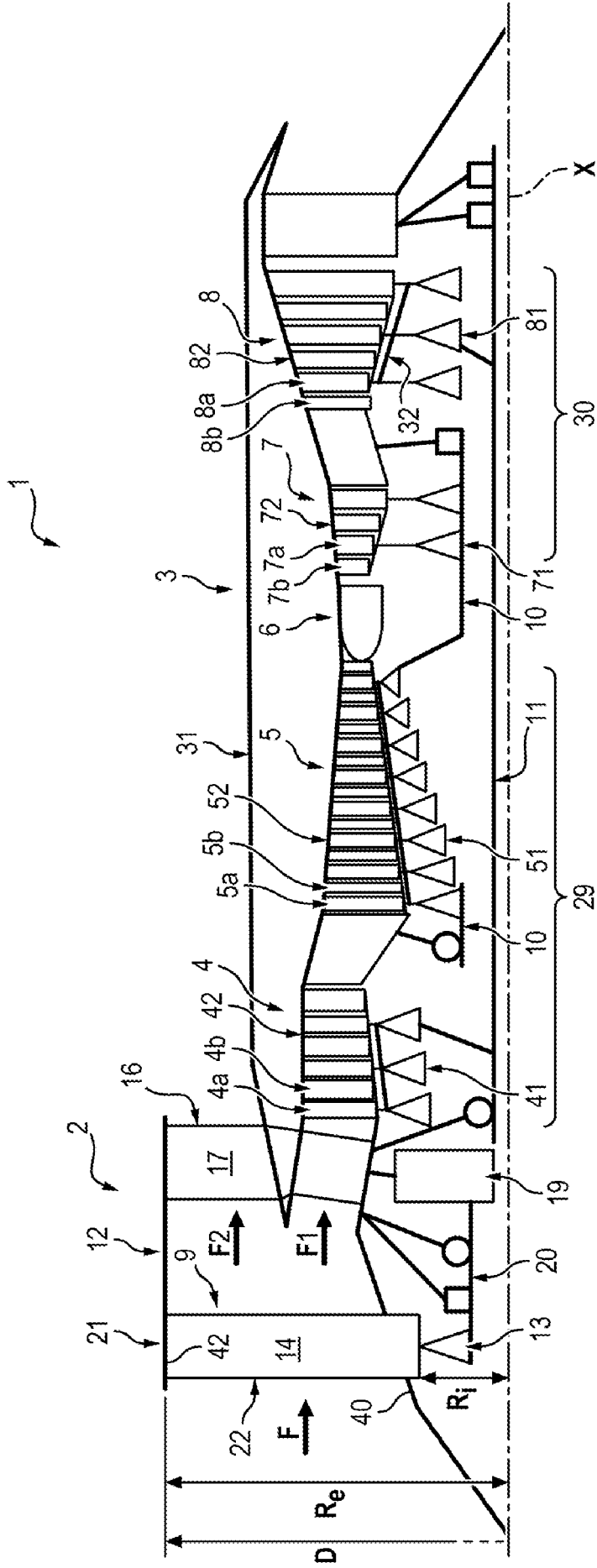
$$\text{Densité de puissance du compresseur} = \frac{D^2}{BPR+1} * \frac{Um^{2*}n_{et}}{Re \cdot \lambda_{moy}^2} * 10^{-6} \quad \text{et}$$

où : BPR est le taux de dilution du système propulsif et est mesuré lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer ; n_{et} est le nombre d'étages du compresseur ; U_m est la vitesse périphérique moyenne du rotor du compresseur mesurée lorsque le système propulsif est stationnaire en régime de décollage dans une atmosphère standard et au niveau de la mer et est exprimée en mètres par seconde (m/s) ; et R_{ext_moy} est le rayon externe moyen du compresseur, qui est égal à une moyenne arithmétique des rayons externes des rotors du compresseur basse pression, le rayon externe correspondant à une distance entre un sommet du rotor et l'axe de rotation, à mi-distance au sommet entre un bord d'attaque et un bord de fuite du rotor, et est exprimé en mètres (m).

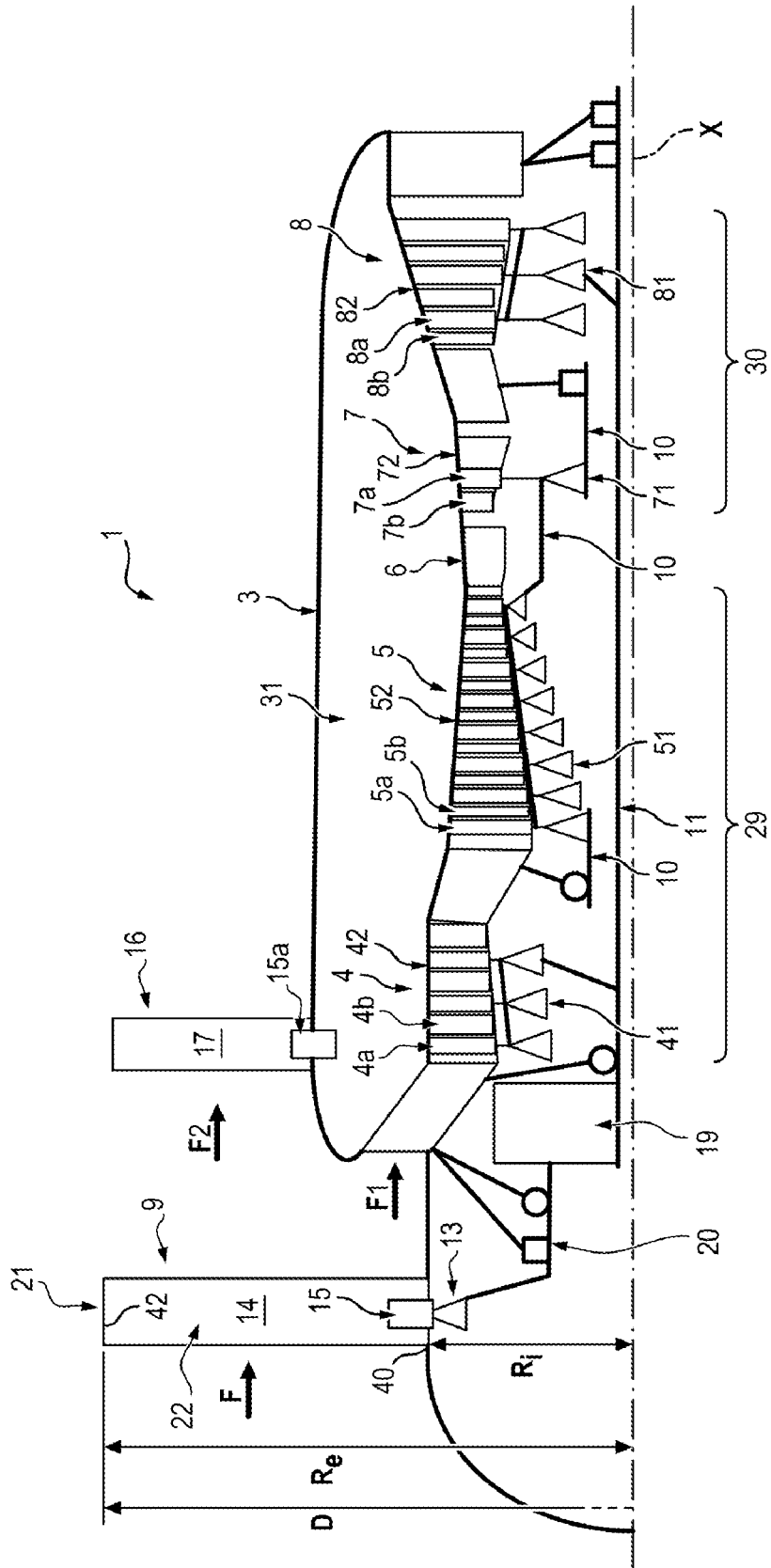
[Fig. 1]



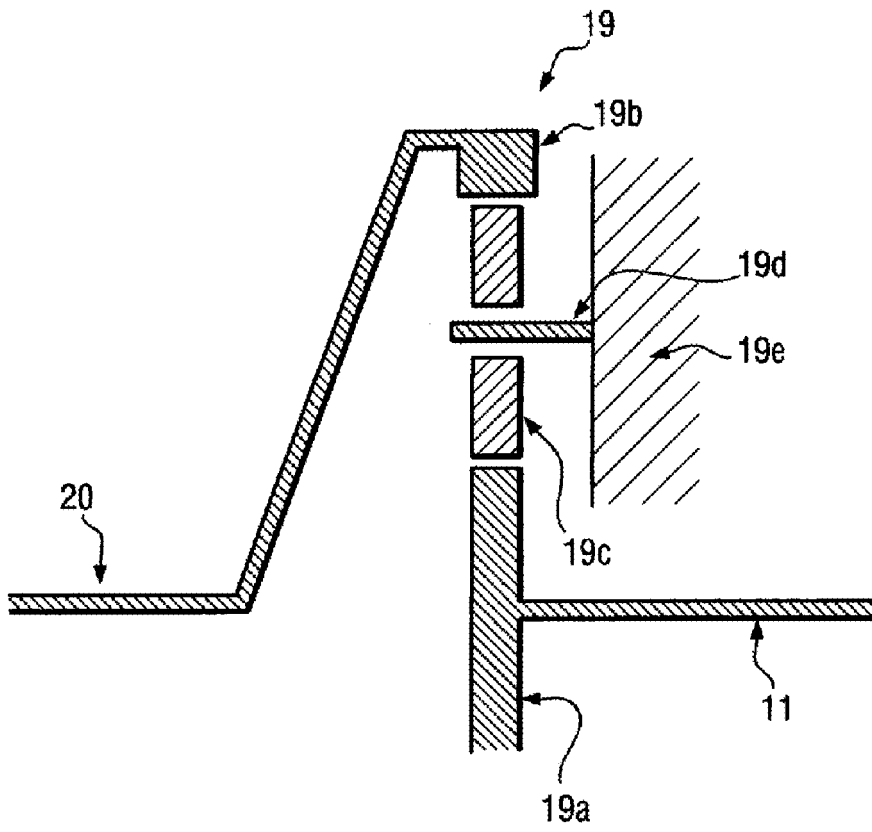
[Fig. 2]



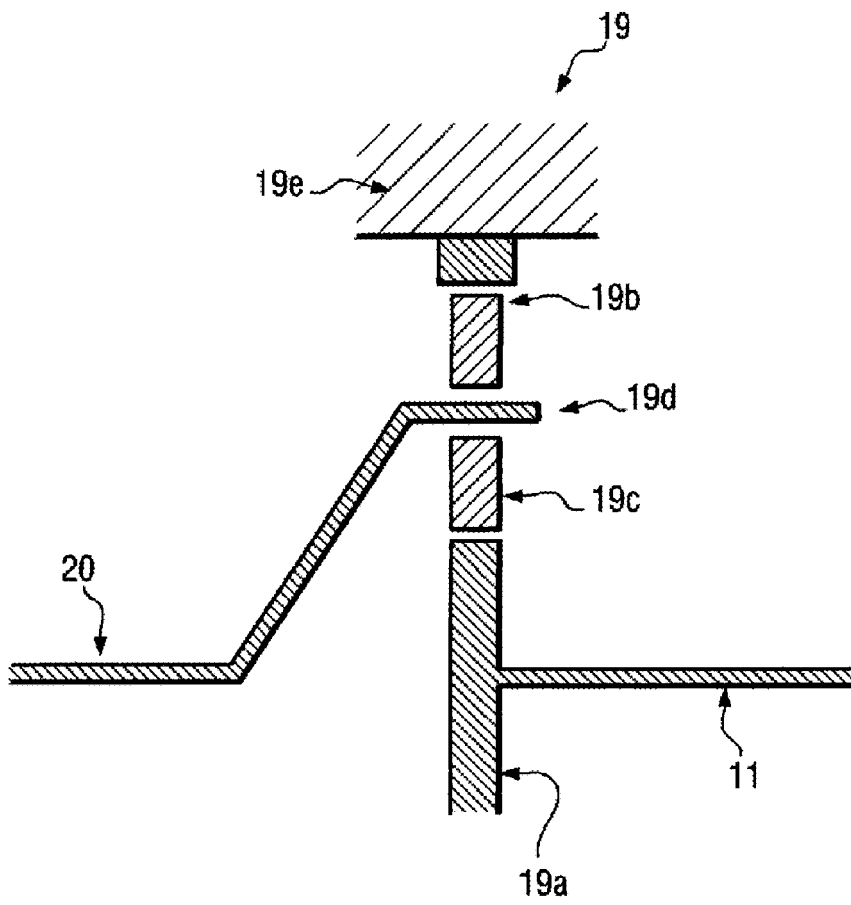
[Fig. 3]



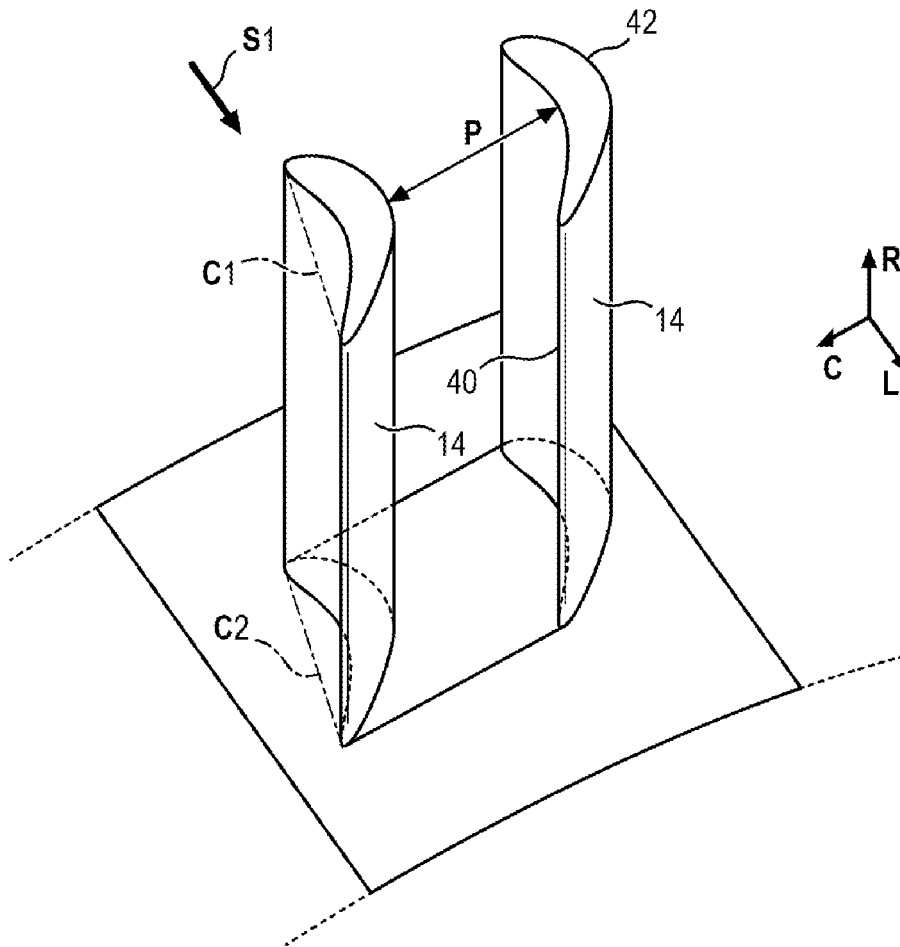
[Fig. 4]



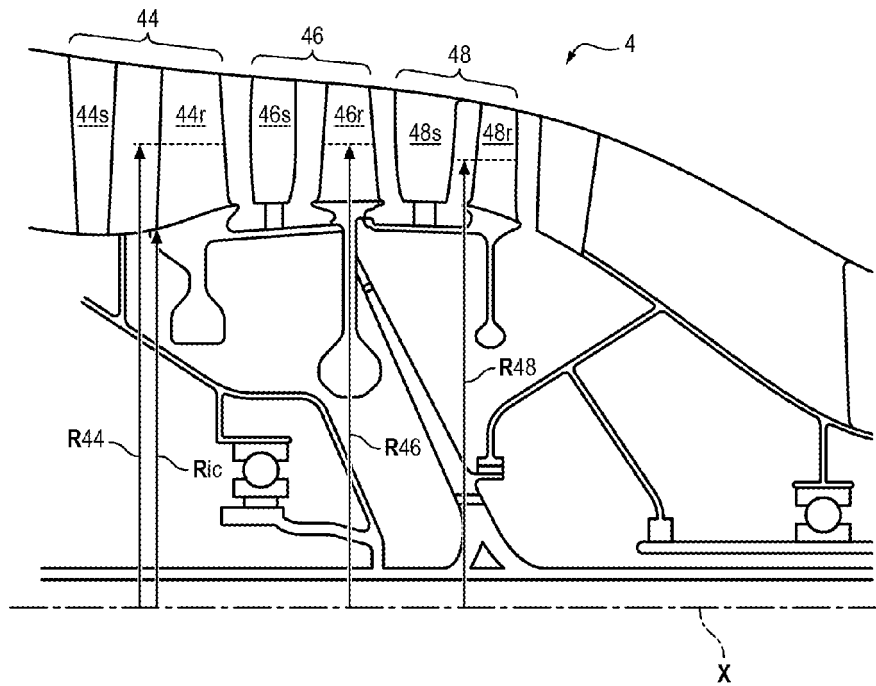
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 919876
FR 2305295

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	"Efforts toward Development and Production of PW1200G Engine for MRJ", Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 54 No. 4, 25 décembre 2017 (2017-12-25), XP093106451, Extrait de l'Internet: URL:https://www.mhi.co.jp/technology/revie w/pdf/e544/e544010.pdf [extrait le 2023-11-28]	1,2,4, 6-8,12, 15-23	B64D 27/00 F02C 7/36 F02K 3/00
Y	* page 1 - page 2 *	5,10,11, 13,14	
X	US 2022/259985 A1 (DEPUY TIMOTHY RICHARD [US] ET AL) 18 août 2022 (2022-08-18)	1-3,9, 12,15, 16,19-22	
Y	* page 3, alinéa 45 - page 10, alinéa 127; figure 2 *	17	
Y	US 2014/157756 A1 (HASEL KARL L [US] ET AL) 12 juin 2014 (2014-06-12) * page 1, alinéa 17 - page 5, alinéa 69; figure 3 *	5,10,11, 13,17	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Y	US 2017/191449 A1 (GALLAGHER EDWARD J [US] ET AL) 6 juillet 2017 (2017-07-06) * page 2, alinéa 19 - page 2, alinéa 22; figure 1 *	14	F01D F02C F02K F04D
A	WO 2013/116262 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 8 août 2013 (2013-08-08) * page 3, alinéa 18 - page 3, alinéa 22; figure 11 *	1,21	
X	EP 3 070 314 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 21 septembre 2016 (2016-09-21) * colonne 5, alinéa 32 - colonne 6, alinéa 37; figures 2,3 *	1,7,14, 17,19, 21-23	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
29 novembre 2023		Rau, Guido	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2305295 FA 919876**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **29-11-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2022259985 A1	18-08-2022	CN 114941573 A	26-08-2022
		EP 4043710 A1	17-08-2022
		US 2022259985 A1	18-08-2022

US 2014157756 A1	12-06-2014	AUCUN	

US 2017191449 A1	06-07-2017	EP 2543867 A2	09-01-2013
		EP 4027002 A1	13-07-2022
		US 2013008146 A1	10-01-2013
		US 2013014488 A1	17-01-2013
		US 2016377027 A1	29-12-2016
		US 2017191449 A1	06-07-2017
		US 2018023511 A1	25-01-2018
		US 2018230943 A1	16-08-2018

WO 2013116262 A1	08-08-2013	BR 112014016305 A2	13-06-2017
		CA 2857357 A1	08-08-2013
		CA 2951916 A1	08-08-2013
		EP 2809931 A1	10-12-2014
		EP 3115292 A1	11-01-2017
		RU 2014134792 A	20-03-2016
		SG 11201403015W A	26-09-2014
		US 2013192266 A1	01-08-2013
		WO 2013116262 A1	08-08-2013

EP 3070314 A1	21-09-2016	BR 102016005747 A2	25-10-2016
		CA 2923326 A1	20-09-2016
		EP 3070314 A1	21-09-2016
