

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

3 147 596

②1 N° d'enregistrement national : 23 03452

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : F 02 C 7/36 (2023.01), F 01 D 15/12, F 02 C 3/107,  
G 01 M 15/14, F 01 D 21/00

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 06.04.23.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 11.10.24 Bulletin 24/41.

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 et SAFRAN TRANSMIS-  
SION SYSTEMS Société par actions simplifiée (SAS) —  
FR.

⑦2 Inventeur(s) : ROUFFET Jonathan Jean-Pierre,  
ALBOUY Loïc Marius Joseph, SIMON Adrien Louis et  
AURIOL Jacques.

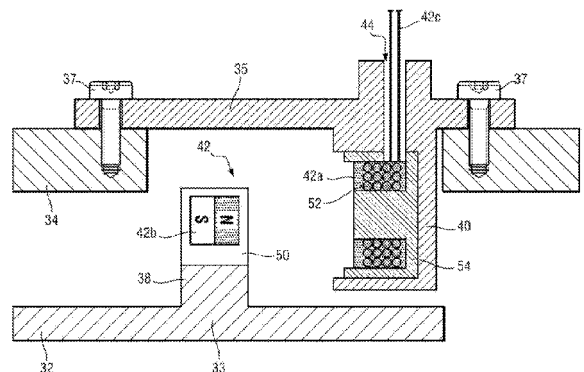
⑦3 Titulaire(s) : Safran Aircraft Engines Société par  
actions simplifiée (SAS), SAFRAN TRANSMISSION  
SYSTEMS Société par actions simplifiée (SAS).

⑦4 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

⑤4 Mesure d'un déplacement ou d'une force dans un dispositif de réduction de vitesse d'un système propulsif  
aéronautique.

⑤7 Système propulsif (1) aéronautique comprenant un  
stator (34), un arbre d'entraînement (30), une section de  
soufflante (2) comprenant un arbre de soufflante (20) et un  
rotor de soufflante (9), un dispositif de réduction de vitesse  
(19) couplant en rotation l'arbre d'entraînement (30) et  
l'arbre de soufflante (20), le dispositif de réduction (19) com-  
prenant un pignon solaire (19a), une couronne (19b), un dia-  
mètre de la couronne étant supérieur à un diamètre du  
pignon solaire, un porte-satellite (19d), au moins un pignon  
satellite (19c) monté en rotation sur le porte-satellite (19d),  
et un support (32) fixé au stator (34), la couronne (19b) ou  
le porte-satellite (19d) étant maintenu fixe en rotation par  
rapport au support (32), le système propulsif (1) comprenant  
un dispositif de mesure (36) configuré pour mesurer un dé-  
placement relatif entre le support (32) et le stator (34), ou/et  
une force exercée par le support (32) sur le stator (34).

Figure à publier pour l'abrégié: Figure 7



FR 3 147 596 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Mesure d'un déplacement ou d'une force dans un dispositif de réduction de vitesse d'un système propulsif aéronautique.**

#### **DOMAINE**

[0001] La présente demande 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.

#### **ETAT DE LA TECHNIQUE**

[0002] Un système propulsif 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 notamment une turbine haute pression et une turbine basse pression. 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.

[0003] Les efforts de recherche technologique ont déjà permis d'améliorer de manière très significative les performances environnementales des avions. La Déposante prend en considération les facteurs impactants dans toutes les phases de conception et de développement 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 dans un but d'amélioration de l'efficacité énergétique des avions.

[0004] 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) 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 dispositif 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 dispositif de réduction à une vitesse de rotation inférieure à celle de l'arbre basse

pression.

- [0005] Lorsque le système propulsif est un turbopropulseur à calage variable ou une turbomachine à calage variable, le contrôle de la poussée est en général réalisé par une mesure de couple sur la chaîne de transmission de puissance depuis la section de turbine jusqu'à la soufflante (typiquement qualifiée d'hélice pour une soufflante non carénée ou parfois de « fan » pour une soufflante carénée). Le couple transmis, de même que la durée de vie du dispositif de réduction, est fortement dépendant de la commande de l'angle de calage. Par ailleurs, la surveillance du comportement mécanique du dispositif de réduction permet d'évaluer et suivre la viabilité du dispositif de réduction tout au long de sa vie, et d'anticiper sa maintenance.
- [0006] Diverses solutions existent pour mesurer un couple en entrée ou en sortie de machine tournante. On distingue les mesures tournantes (typiquement par mesure du déphasage ou de déformation d'un arbre tournant déformé sous l'action du couple) des mesures statiques (typiquement par mesure de déformation d'une pièce par laquelle transite tout ou partie du couple en utilisant une jauge de contrainte).
- [0007] Plus généralement, il existe diverses solutions pour mesurer diverses des grandeurs physiques en lien avec le pilotage et le comportement mécanique du moteur. Toutefois, ces solutions présentent en général un certain encombrement, elles ne sont pas toujours polyvalentes et la fiabilité ou la précision des mesures qu'elles fournissent reste perfectible.
- [0008] Il existe donc un besoin pour fournir un dispositif de mesure de comportement mécanique au sein d'un système propulsif qui soit fiable, précis, peu encombrant et simple.

## **EXPOSE**

- [0009] Un but du présent exposé est de proposer un dispositif de mesure de comportement mécanique au sein d'un système propulsif qui soit plus fiable, plus précis, moins encombrant et plus simple que dans l'art antérieur.
- [0010] Le but est atteint grâce à un système propulsif aéronautique comprenant :
- [0011] - un stator,
- [0012] - un arbre d'entraînement,
- [0013] - une section de soufflante comprenant un arbre de soufflante et un rotor de soufflante, le rotor de soufflante étant configuré pour être entraîné en rotation par l'arbre de soufflante,
- [0014] - un dispositif de réduction de vitesse couplant en rotation l'arbre d'entraînement et l'arbre de soufflante, de sorte à entraîner l'arbre de soufflante à une vitesse de rotation inférieure à une vitesse de rotation de l'arbre d'entraînement, le dispositif de réduction comprenant :
- [0015] -- un pignon solaire,

- [0016] -- une couronne, un diamètre de la couronne étant supérieur à un diamètre du pignon solaire,
- [0017] -- un porte-satellite,
- [0018] -- au moins un pignon satellite monté en rotation sur le porte-satellite, et
- [0019] -- un support fixé au stator, la couronne ou le porte-satellite étant maintenu fixe en rotation par rapport au support,
- [0020] le système propulsif comprenant un dispositif de mesure configuré pour mesurer :
- [0021] -- un déplacement relatif entre le support et le stator, ou/et
- [0022] -- une force exercée par le support sur le stator.
- [0023] Un tel système est optionnellement complété par les différentes caractéristiques suivantes prises seules ou en combinaison :
- le dispositif de mesure est configuré pour mesurer en fonction du temps le déplacement relatif ou/et la force ;
  - le déplacement relatif et la force sont mesurés dans une direction circonférentielle par rapport à un axe de rotation du pignon solaire ;
  - le support comprend un corps et un relief qui s'étend en saillie du corps radialement par rapport à un axe de rotation du pignon solaire, le stator comprenant un socle et un butoir qui s'étend en saillie du socle radialement, le butoir étant disposé, circonférentiellement par rapport à l'axe de rotation, en vis-à-vis du relief, le dispositif de mesure comprenant au moins un capteur, l'au moins un capteur comprenant une partie montée sur un élément parmi le butoir et le relief, le système propulsif comprenant un ensemble de mesure comprenant le relief, le butoir et l'au moins un capteur ;
  - la partie de l'au moins un capteur est une première partie, l'au moins un capteur comprenant une deuxième partie montée sur l'autre élément parmi le butoir et le relief ;
  - l'ensemble de mesure comprend un deuxième butoir du stator, le deuxième butoir s'étendant en saillie du socle radialement, le deuxième butoir étant disposé circonférentiellement en vis-à-vis du relief, le relief étant situé circonférentiellement entre le premier butoir et le deuxième butoir ;
  - l'ensemble de mesure comprend deux situés circonférentiellement de part et d'autre du relief, chacun des capteurs coopérant respectivement avec un seul butoir parmi le premier butoir et le deuxième butoir ;
  - l'ensemble de mesure comprend un capteur configuré pour mesurer le déplacement relatif et un capteur configuré pour mesurer la force ;
  - l'ensemble de mesure est un premier ensemble de mesure, d'une pluralité d'ensembles de mesure compris dans le système et régulièrement répartis circonférentiellement, par exemple le système comprenant deux ensembles qui

- sont diamétralement opposés l'une à l'autre ; et
- le dispositif de mesure comprend au moins un capteur choisi parmi :
    - un capteur de proximité, comme par exemple un proximètre magnétique, ou un proximètre inductif ou un proximètre capacitif,
    - un capteur piézo-électrique,
    - un capteur à ultrasons,
    - un capteur optique,
    - un capteur de type LVDT,
    - un capteur de type RVDT, et
    - un capteur de vérin hydraulique.

[0024] Le présent exposé porte également sur un aéronef comprenant un système propulsif tel qu'on vient de le décrire.

### **DESCRIPTION DES FIGURES**

[0025] D'autres caractéristiques ressortiront encore de la description qui suit, laquelle est purement illustrative et non limitative, et doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

[0026] [Fig.1] est une vue schématique, partielle et en coupe d'un exemple de système propulsif conforme à un premier mode de réalisation, dans lequel la section de soufflante est carénée ;

[0027] [Fig.2] est une vue schématique, partielle et en coupe d'un exemple de système propulsif conforme à un deuxième mode de réalisation, dans lequel la section de soufflante est non carénée ;

[0028] [Fig.3] est une vue en coupe schématique d'un exemple de dispositif de réduction selon une première variante ;

[0029] [Fig.4] est une vue en coupe schématique d'un exemple de dispositif de réduction selon une deuxième variante ;

[0030] [Fig.5] est une vue en coupe schématique d'un premier mode de réalisation de détails associés au dispositif de réduction ;

[0031] [Fig.6], [Fig.7], [Fig.8], [Fig.9], [Fig.10], [Fig.11], [Fig.12] sont des représentations schématiques des détails de différents modes de réalisation associés au dispositif de réduction ; et

[0032] [Fig.13] est un exemple d'aéronef pouvant comprendre au moins un système propulsif conforme au premier ou au deuxième mode de réalisation ;

### **DESCRIPTION DETAILLEE**

[0033] En rapport avec les figures 1 et 2, un système propulsif 1 présente une direction principale s'étendant selon un axe longitudinal X et comprend, d'amont en aval dans le sens de l'écoulement des gaz dans le système propulsif 1 lorsqu'il est en fonc-

tionnement, une section de soufflante 2 et un corps primaire 3, souvent appelé « générateur de gaz », comportant une section de compresseur 4, 5, une chambre de combustion 6 et une section de turbine 7, 8.

- [0034] Le système propulsif 1 est ici un système propulsif 1 aéronautique configuré pour être fixé sur un aéronef 100 par l'intermédiaire d'un pylône (ou mât), comme illustré en [Fig.13].
- [0035] La section de compresseur 4, 5 comprend une succession d'étages comprenant chacun une roue d'aubes mobiles (rotor) 4a, 5a tournant devant une roue d'aubes fixes (stator) 4b, 5b. La section de turbine 7, 8 comprend également une succession d'étages comprenant chacun une roue d'aubes fixes (stator) 7b, 8b derrière laquelle tourne une roue d'aubes mobiles (rotor) 7a, 8a.
- [0036] Dans la présente demande, la direction axiale correspond à la direction de l'axe longitudinal X, en correspondance avec la rotation des arbres du générateur de gaz, et une direction radiale est une direction perpendiculaire à cet axe X et passant par lui. Par ailleurs, la direction circonférentielle (ou latérale, ou encore tangentielle) correspond à une direction perpendiculaire à l'axe longitudinal X et ne passant pas par lui. Sauf précision contraire, interne (respectivement, intérieur) et externe (respectivement, extérieur), respectivement, sont utilisés en référence à une direction radiale de sorte que la partie ou la face interne d'un élément est plus proche de l'axe X que la partie ou la face externe du même élément.
- [0037] En fonctionnement, un flux d'air F entrant dans le système propulsif 1 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.
- [0038] Le flux d'air secondaire F2 (appelé également « flux d'air de dérivation ») s'écoule 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.
- [0039] Le flux d'air primaire F1 s'écoule dans une veine primaire à l'intérieur du corps primaire 3, en passant successivement à travers la section de compresseur 4, 5, la chambre de combustion 6 où il est mélangé avec du carburant pour servir de comburant, et la section de turbine 7, 8. Le passage du flux d'air primaire F1 à travers la section de turbine 7, 8 recevant de l'énergie de la chambre de combustion 6 provoque une rotation du rotor de la section de turbine 7, 8, qui entraîne à son tour en rotation le rotor de la section de compresseur 4, 5 ainsi qu'une partie rotor 9 de la section de soufflante 2.
- [0040] Dans un système propulsif 1 à double-corps, la section de compresseur 4, 5 peut comprendre un compresseur basse pression 4 et un compresseur haute pression 5. La section de turbine 7, 8 peut comprendre une turbine haute pression 7 et une turbine

basse pression 8. Le rotor du compresseur haute pression 5 est entraîné en rotation par le rotor la turbine haute pression 7 par l'intermédiaire d'un arbre haute pression 10. Le rotor du compresseur basse pression 4 et la partie rotor 9 de la section de soufflante 2 sont entraînés en rotation par le rotor de la turbine basse pression 8 par l'intermédiaire d'un arbre basse pression 11. Ainsi, le corps primaire 3 comprend un corps haute pression comprenant le compresseur haute pression 5, la turbine haute pression 7 et l'arbre haute pression 10, et un corps basse pression comprenant la section de soufflante 2, le compresseur basse pression 4, la turbine basse pression 8 et l'arbre basse pression 11. La vitesse de rotation du corps haute pression est supérieure à la vitesse de rotation du corps basse pression. Dans un système propulsif 1 à triple-corps, la section de turbine 7, 8 comprend en outre une turbine intermédiaire, positionnée entre la turbine haute pression 7 et la turbine basse pression 8 et configurée pour entraîner le rotor du compresseur basse pression 4 par l'intermédiaire d'un arbre intermédiaire. Le rotor de soufflante 9 et le rotor du compresseur haute pression 5 restent entraînés par l'arbre basse pression 11 et l'arbre haute pression 10, respectivement.

[0041] L'arbre basse pression 11 est généralement logé, sur un tronçon de sa longueur, dans l'arbre haute pression 10 et est coaxial à l'arbre haute pression 10. L'arbre basse pression 11 et l'arbre haute pression 10 peuvent être corotatifs, c'est-à-dire être entraînés dans le même sens autour de l'axe longitudinal X. En variante, l'arbre basse pression 11 et l'arbre haute-pression sont contrarotatifs, c'est-à-dire être entraînés dans des sens opposés autour de l'axe longitudinal X. Le cas échéant, l'arbre intermédiaire est logé entre l'arbre haute pression 10 et l'arbre basse pression 11. L'arbre intermédiaire et l'arbre basse pression 11 peuvent être corotatifs ou contrarotatifs.

[0042] La section de soufflante 2 comprend au moins le rotor de soufflante 9 propre à être entraîné en rotation par rapport à une partie stator du système propulsif 1 par la section de turbine 7, 8. Chaque rotor de soufflante 9 comprend un moyeu 13 et des aubes 14 s'étendant radialement à partir du moyeu 13. Les aubes 14 de chaque rotor 9 peuvent être fixes par rapport au moyeu 13 ou présenter un calage variable. Dans ce cas, le pied des aubes 14 de chaque rotor 9 est monté pivotant suivant un axe de calage et est relié à un mécanisme de changement de pas 15 monté dans le système propulsif 1, le calage étant ajusté en fonction des phases de vol par le mécanisme de changement de pas 15. Le mécanisme de changement de pas 15 est illustré en traits discontinus sur la [Fig.1] pour montrer que cette caractéristique est optionnelle.

[0043] La section de soufflante 2 peut en outre comprendre un stator de soufflante 16, ou redresseur, qui comprend des aubes 17 montées sur un moyeu du stator de soufflante 16 et ont pour fonction de redresser le flux d'air secondaire F2 qui s'écoule en sortie du rotor de soufflante 9. Les aubes 17 du stator de soufflante 16 peuvent être fixes par rapport au moyeu ou présenter un calage variable. De manière similaire aux aubes 14

de rotor, le pied des aubes de stator 17 est monté pivotant suivant un axe X de calage et est relié à un mécanisme de changement de pas 15a, qui est généralement distinct de celui du rotor de soufflante 9, le calage étant ajusté en fonction des phases de vol par le mécanisme de changement de pas.

[0044] Le diamètre D du rotor de soufflante peut alors être compris entre 80 pouces (203,2cm) et 185 pouces (469,9 cm) inclus. Lorsque le rotor de soufflante 9 est caréné, le diamètre D est par exemple compris entre 85 pouces (215,9 cm) et 120 pouces (304,8 cm) inclus, par exemple de l'ordre de 90 pouces (228,6 cm), ce qui permet d'intégration le système propulsif 1 de manière conventionnelle, en particulier sous l'aile d'un aéronef. Lorsque le rotor de soufflante 9 est non caréné, le diamètre D est par exemple supérieur ou égal à 100 pouces (254 cm), par exemple entre 120 pouces (304,8 cm) et 156 pouces (396,2 cm). Le diamètre du rotor de soufflante 9 est mesuré ici dans un plan normal à l'axe X de rotation au niveau d'une intersection entre un sommet 21 et un bord d'attaque 22 des aubes 14 du rotor de soufflante 9, et est exprimé en mètres. A noter que les figures 1 et 2 étant des vues partielles, le diamètre D n'est que partiellement visible.

[0045] Le rotor de soufflante 9 comprend par ailleurs au moins 12 aubes 14 et au plus 24 aubes 14, par exemple au moins 16 aubes 14 et au plus 22 aubes 14. Le nombre d'aubes 16 dans le stator de soufflante 17 dépend des critères acoustiques définis pour le système propulsif 1 et est au moins égal au nombre d'aubes 14.

[0046] 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 (bypass ratio) élevé. Par taux de dilution élevé, on comprendra ici un taux de dilution supérieur ou égal à 10, par exemple compris entre 10 et 80 inclus. Pour calculer le taux de dilution, le débit massique du flux d'air secondaire F2 et le débit massique du flux d'air primaire F1 sont 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, 3<sup>e</sup> édition) et au niveau de la mer. On notera que, dans la présente demande, les paramètres (pression, débit, poussée, vitesse, etc.) sont systématiquement déterminés dans ces conditions. Par « non installé », on comprendra ici que les mesures sont effectuées lorsque le système propulsif 1 est dans un banc d'essai (et non installé sur un aéronef 100), les mesures étant alors plus simples à réaliser. Les distances (longueur, rayon, diamètre, etc.) sont en revanche 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.

[0047] Le rotor de soufflante 9 est découplé de l'arbre basse pression 11 à l'aide d'un dispositif de réduction 19, placé entre une extrémité amont de l'arbre basse pression 11 et le rotor de soufflante 9, afin d'optimiser leur vitesse de rotation respective. Dans ce cas qui correspond en réalité à un couplage indirect procuré par le dispositif de réduction, le système propulsif 1 comprend en outre un arbre supplémentaire, dit arbre de soufflante 20. L'arbre basse pression 11 raccorde la turbine basse pression 8 à une entrée du dispositif de réduction 19 tandis que l'arbre de soufflante 20 raccorde la sortie du dispositif de réduction 19 au rotor de soufflante 9. Le rotor de soufflante 9 est donc entraîné par l'arbre basse pression 11 par l'intermédiaire du dispositif de réduction 19 et de l'arbre de soufflante 20 à une vitesse de rotation inférieure à la vitesse de rotation de la turbine basse pression 8.

[0048] Ce « découplage » via le dispositif de réduction permet de réduire la vitesse de rotation et le rapport de pression du rotor de soufflante 9 et d'augmenter la puissance extraite par la turbine basse pression 8. En effet, l'efficacité globale des systèmes propulsifs 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 1 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'optimiser 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 17 (ou, en l'absence de stator, du rotor de soufflante 9) et la pression moyenne en entrée du rotor de soufflante 9, est inférieur ou égal à 1,70, par exemple inférieur ou égal à 1,50, par exemple compris entre 1,05 et 1,45. Les pressions moyennes sont mesurées ici sur la hauteur de l'aube 14 (de la surface qui délimite radialement à l'intérieur la veine d'écoulement en entrée du rotor de soufflante 9 au sommet 21 de l'aube de soufflante 14).

[0049] Le système propulsif 1 est configuré pour fournir une poussée comprise entre 18 000 lbf (80 068 N) et 51 000 lbf (222 411 N), par exemple entre 20 000 lbf (88 964 N) et 35 000 lbf (155 688 N).

[0050] La section de soufflante 2 peut être carénée ou non carénée. Dans le cas d'une section de soufflante 2 carénée, la section de soufflante 2 comprend un carter de soufflante 12 et le rotor de soufflante 9 est logé dans le carter de soufflante 12.

- [0051] Une section de soufflante 2 carénée comprend un rotor de soufflante 9 s'étendant en amont d'un stator de soufflante. Les aubes du stator de soufflante sont alors généralement dénommées aubes de sortie (« Outlet Guide Vane » ou « OGV » en anglais) et présentent un calage fixe par rapport au moyeu du stator de soufflante. Par ailleurs, le taux de dilution du système propulsif 1 est par exemple supérieur ou égal à 10, par exemple compris entre 10 et 35 inclus, par exemple entre 10 et 18 inclus. La vitesse périphérique au sommet 21 des aubes du rotor de soufflante 9 peut par ailleurs être comprise entre 260 m/s et 400 m/s. Les aubes 14 du rotor de soufflante 9 peuvent être fixes ou présenter un calage variable. Le rapport de pression de soufflante peut alors être compris entre 1,20 et 1,45.
- [0052] Dans une section de soufflante 2 non carénée, la section de soufflante 2 (qui peut également être désignée par le terme d'hélice) n'est pas entourée par un carter de soufflante. La section de soufflante 2 étant non carénée, les aubes 14 du rotor de soufflante 9 présentent un calage variable. Des systèmes propulsifs comprenant au moins un rotor de soufflante 9 non caréné sont connus sous les termes anglais « open rotor » ou « unducted fan ». Le système propulsif 1 peut comprendre deux rotors de soufflante 9 non carénés et contrarotatifs. Un tel système propulsif 1 est connu sous l'acronyme anglais CROR pour « Contra-Rotating Open Rotor » (rotor ouvert contrarotatif en français) ou UDF pour « Unducted Double Fan » (double soufflante non carénée en français). Le ou les rotors de soufflante 9 peuvent être placés à l'arrière du corps primaire 3 de sorte à être du type pousseur ou à l'avant du corps primaire 3 de sorte à être du type tracteur. En variante, le système propulsif 1 peut comprendre un seul rotor de soufflante 9 non caréné et un stator de soufflante 16 non caréné (redresseur). Un tel système propulsif 1 est connu sous l'acronyme anglais USF pour « Unducted Single Fan ». Dans le cas d'un système propulsif 1 du type USF, les aubes 17 du redresseur 16 sont fixes en rotation par rapport à l'axe X de rotation du rotor de soufflante 9 amont et par conséquent ne subissent pas d'effort centrifuge. Les aubes 17 du redresseur 16 sont par ailleurs à calage variable.
- [0053] La suppression du carénage autour de la section de soufflante 2 permet d'augmenter le taux de dilution de façon très importante sans que le système propulsif 1 ne soit pénalisé par la masse des carters 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. La vitesse périphérique au sommet 21 des aubes 14 du ou des rotor(s) de soufflante 9 peut par ailleurs être comprise entre 210 m/s et 260 m/s. Le rapport de pression de soufflante peut alors être compris par exemple entre 1,05 et 1,20.
- [0054] En rapport avec les figures 3 et 4, le dispositif de réduction 19 peut comprendre un dispositif de réduction à train d'engrenage épicycloïdal, par exemple de type

“épicycloïdal” ou de type “planétaire”, monoétage ou biétage.

- [0055] Selon une première variante illustrée en [Fig.3], le dispositif de réduction 19 peut être du type planétaire (« star » en anglais) et comprendre un pignon solaire 19a (entrée du dispositif de réduction 19), centré sur un axe X de rotation du dispositif de réduction 19 (généralement confondu avec l’axe longitudinal X) et configuré pour être entraîné en rotation par un arbre de transmission 30 (comme par exemple l’arbre basse-pression), une couronne 19b (sortie du dispositif de réduction 19) coaxiale avec le pignon solaire 19a et configurée pour entraîner en rotation l’arbre de soufflante 20 autour de l’axe X de rotation, et au moins un pignon satellite 19c entre le pignon solaire 19a et la couronne 19b, le satellite 19c étant engrené intérieurement avec le pignon solaire 19a et extérieurement avec la couronne 19b. Lorsque le dispositif de réduction 19 comprend plusieurs pignons satellite 19c, ceux-ci sont répartis circonférentiellement autour de l’axe X de rotation entre le pignon solaire 19a et la couronne 19b, chaque satellite 19c.
- [0056] Chaque pignon satellite 19c est monté libre en rotation autour d’une direction parallèle à l’axe X ou quasi-parallèle à l’axe X, sur un porte-satellite 19d. Le porte-satellite 19d est maintenu fixe en rotation par rapport à un support 32. Le support 32 est lui-même fixé à un stator 34 du système propulsif 1. Le stator 34 est par exemple un carter de la section de compresseur 4, 5.
- [0057] Selon une deuxième variante illustrée en [Fig.4], le dispositif de réduction 19 peut être du type épicycloïdal (« planetary » en anglais), auquel cas la couronne 19b est maintenue fixe en rotation par rapport au le support 32. Le support 32 est lui-même fixé au stator 34 du système propulsif 1. Le stator 34 est par exemple un carter de la section de compresseur 4, 5. L’arbre de soufflante 20 est entraîné en rotation par le porte-satellites 19d qui est donc mobile en rotation par rapport au stator 34 du système propulsif 1.
- [0058] Quelle que soit la configuration du dispositif de réduction 19, le support 32 peut être un support annulaire, et le stator 34 peut être un carter fixe annulaire, ou un carter d’entrée d’air ou un carter d’enceinte.
- [0059] Quelle que soit la configuration du dispositif de réduction 19, les diamètres 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 de soufflante 9 est inférieure à la vitesse de rotation de l’arbre basse pression 11.
- [0060] Le taux de réduction – ou rapport de réduction - du dispositif de réduction 19 est supérieur ou égal à 2,5 et inférieur ou égal à 11. Dans le cas d’un système propulsif 1 comprenant un rotor de soufflante 9 caréné, le taux de réduction peut être supérieur ou égal à 2,7 et inférieur ou égal à 6,0, typiquement autour de 3,0. Dans le cas d’un système propulsif 1 comprenant un rotor de soufflante non caréné, le taux de réduction

peut être compris entre 9,0 et 11,0.

- [0061] Le système propulsif 1 à double corps peut notamment comprendre une turbine haute pression 7 bi-étage, un compresseur haute pression 5 comprenant au moins huit étages et au plus onze étages, une turbine basse pression 8 comprenant au moins trois étages et au plus cinq étages et un compresseur basse pression 4 comprenant au moins deux étages et au plus quatre étages.
- [0062] La vitesse limite (redline speed en anglais) de l'arbre basse pression 11, qui correspond à la vitesse maximale absolue susceptible d'être rencontrée par l'arbre basse pression 11 durant tout le vol (selon le règlement de certification européen EASA CS-E 740 (ou selon le règlement de certification américain 14-CFR Part 33.87)), est comprise entre 8500 tours par minute et 12000 tours par minute, par exemple entre 9000 tours par minute et 11000 tours par minute. La vitesse limite correspond à la vitesse de rotation maximale lorsque le système propulsif est sain (et potentiellement fin de vie). Elle est donc susceptible d'être atteinte par l'arbre basse pression 11 en condition de vol. Cette vitesse limite fait partie des données déclarées dans la certification moteur (« type certification data sheet » en anglais). En effet, cette vitesse de rotation est habituellement utilisée comme vitesse de référence pour le dimensionnement des systèmes propulsifs 1 et dans certains essais de certification (tels que les essais de pertes d'aube ou d'intégrité du rotor).

### **Dispositif de mesure**

- [0063] Le système propulsif 1 comprend un dispositif de mesure 36 configuré pour mesurer un déplacement relatif entre le support 32 et le stator 34, ou/et une force exercée par le support 32 sur le stator 34.
- [0064] Un tel dispositif de mesure permet de surveiller le comportement mécanique du dispositif de réduction.
- [0065] En fonctionnement le support 32 est une pièce qui reprend au moins une partie des forces appliquées au dispositif de réduction 19 de sorte que le support 34 maintient fixe en rotation le porte-satellite 19d lorsque le dispositif de réduction 19 est du type planétaire ou la couronne 19b lorsque le dispositif de réduction 19 est du type épicycloïdal.
- [0066] Sous l'action d'une partie des forces appliquées au dispositif de réduction 19, le support 32 peut transmettre au stator 34 une partie de ces forces.
- [0067] Le support 32 peut être plus flexible que le stator 34 et notamment en torsion autour de l'axe X. De cette manière, lorsque le support 32 est soumis à des forces, le support 32 peut se déformer par rapport au stator 34, le stator 34 étant alors considéré comme une référence fixe. Cet aspect flexible du support permet notamment de compenser d'éventuels désalignements (par rapport à l'axe du moteur) entre l'arbre d'entraînement 30 et l'arbre de soufflante 20. Cet aspect flexible permet en outre de

filtrer des vibrations.

- [0068] La surveillance des forces exercées par le support 32 sur le stator 34 ou/et des déplacements relatifs entre le support 32 et le stator 34 renseigne plus généralement sur les forces appliquées au dispositif de réduction 19. Cette surveillance permet par exemple de surveiller les déplacements ou des vibrations locales du dispositif de réduction 19, et plus généralement de surveiller l'état de santé du dispositif de réduction 19.
- [0069] Ces mesures, seules ou en combinaison permettent d'estimer le couple (par exemple par des abaques) qui s'applique au support 32, et donc le couple transmis via le dispositif de réduction 19 depuis l'arbre basse pression vers l'arbre de soufflante. Ces mesures permettent d'estimer un comportement mécanique du support et/ou du dispositif de réduction de vitesse 19.
- [0070] La mesure est réalisée en rapport avec le support 32 qui est une des pièces du réducteur de vitesse 19 les plus soumises aux vibrations, aux forces, aux déplacements et aux couples lors du fonctionnement du dispositif de réduction 19. La mesure produite est d'autant plus riche en informations, par exemple on peut estimer la fréquence d'engrènement des dentures qui est un paramètre clé pour surveiller l'état de santé du réducteur
- [0071] Le dispositif de mesure 36 permet aussi de détecter une éventuelle défaillance du support 32, notamment par la détection d'une perte d'un ou plusieurs capteurs, ou lorsque la mesure du déplacement indique une mise en contact du support 32 avec le stator 34. L'identification des mises en contact est une obligation normative vis à vis des pannes dormantes (c'est à dire de pannes qui ne sont pas immédiatement détectables ou détectées) du support.
- [0072] La mesure du déplacement et/ou de la force se fait dans un repère fixe entre le stator 34 et le support 32, le support 32 bougeant très peu en comparaison avec les pièces mises en mouvement dans le réducteur de vitesse 19. La mesure ne nécessite donc pas l'utilisation d'un transfert tournant, avec les problématiques de jeux qui lui sont associées, ou la problématique de transmission des signaux d'acquisition par exemple par télémétrie.
- [0073] Le stator 34 peut comprendre un orifice 44 comme illustré en [Fig.6], qui permet de faire passer une connexion physique 42c reliant le capteur 42 à une mémoire ou à un calculateur de façon à transmettre le signal de mesure du capteur 42 vers cette mémoire ou ce calculateur.
- [0074] Un tel dispositif de mesure 36 est simple à mettre en œuvre, car les pièces du dispositif de mesure 36 impliquées dans la mesure sont fixes ou quasiment fixes, et que l'on mesure simplement une déformation relative et/ou une force (effort, contrainte, pression ou autre) exercée par le support 32 sur le stator 34.

- [0075] De plus, un tel dispositif de mesure peut être agencé entre le support 32 et le stator 34, c'est à dire dans une zone du système propulsif qui est généralement peu encombrée. Le dispositif de mesure 36 tel qu'exposé permet un gain d'espace.
- [0076] Le dispositif de mesure 36 peut être configuré pour mesurer en fonction du temps le déplacement relatif ou/et la force, c'est-à-dire que le dispositif de mesure 36 peut permettre une surveillance du déplacement relatif ou/et de la force au cours du temps en fournissant une série de mesures temporelles du déplacement relatif ou/et de la force.
- [0077] Un tel dispositif de mesure 36 peut permettre une analyse fréquentielle des valeurs mesurées, permettant une connaissance plus fine du comportement mécanique, et notamment vibratoire, du support 32. Une telle analyse permet de s'affranchir d'éventuels dispositifs annexes de surveillance fréquentielle, et donc permet indirectement un gain d'espace et de masse. Il est à noter à cet égard qu'un dispositif pour la mesure du couple exige normalement le dégagement d'une longueur axiale non négligeable, ce qui peut conduire à devoir allonger le moteur.
- [0078] Par exemple, le déplacement relatif et/ou la force sont mesurés dans une direction circonférentielle par rapport à un axe X de rotation du pignon solaire 19a. En fonctionnement, le support 32 est notamment soumis à des couples centrés sur l'axe X de rotation du pignon solaire. Cet axe X est l'axe de rotation principal du dispositif de réduction de vitesse et il correspond généralement à l'axe de rotation de l'arbre de transmission 30 et à l'axe de rotation de l'arbre de soufflante 20. Lorsque le déplacement relatif et/ou la force sont mesurés dans la direction circonférentielle autour de l'axe X, le dispositif de mesure 36 renseigne en particulier sur les couples mis en jeu autour de l'axe de rotation principal du dispositif de réduction de vitesse.
- [0079] Une mesure circonférentielle des efforts et/ou du déplacement permet de mesurer un couple de manière fiable.
- [0080] La gamme de couple que le dispositif de mesure 36 peut mesurer s'étend par exemple de 0 à 500 000 N.m. Cette surveillance du couple peut être adaptée à des configurations où la soufflante (hélice ou fan) présente des aubes à calage variable. Le contrôle du calage peut influencer de manière prépondérante sur le couple, et donc la durée de vie du réducteur.
- [0081] Dans un mode de réalisation du dispositif de mesure 36, le support 32 comprend un corps 33 et un relief 38 qui s'étend en saillie du corps 33 radialement par rapport à l'axe X et le stator 34 comprend un socle 35 et un butoir 40 qui s'étend en saillie du socle 35 radialement par rapport à l'axe X.
- [0082] En rapport avec les figures 3, 4 et 5, le corps 33 du support 32 peut être une pièce annulaire qui entoure l'axe X et le socle 35 du stator 34 peut être un carter annulaire qui entoure le corps 33 du support 32. Le corps 33 du support 32 et le socle 35 du

stator 34 peuvent être en regard l'un de l'autre.

- [0083] Le diamètre du corps 33 ou du stator 34 peut notamment être compris entre 200 mm et 3000 mm.
- [0084] Le relief 38 est par exemple une excroissance ou saillie du corps 33 qui s'étend à partir du corps 33 du support 32 radialement vers l'extérieur, c'est-à-dire qui s'étend à partir du corps 33 en s'éloignant de l'axe X.
- [0085] Le butoir 40 est par exemple une excroissance ou saillie du socle 35 qui s'étend à partir du socle 35 du stator 34 radialement vers l'intérieur, c'est-à-dire qui s'étend à partir du socle 35 en s'approchant de l'axe X.
- [0086] Le butoir 40 est disposé, circonférentiellement par rapport à l'axe X de rotation, en vis-à-vis du relief 38.
- [0087] Le dispositif de mesure 36 comprend au moins un capteur 42, l'au moins un capteur comprenant une première partie 42a montée sur un élément parmi le butoir 40 ou le relief 38.
- [0088] Eventuellement, l'au moins un capteur 42 comprend une deuxième partie 42b montée sur l'autre élément parmi le butoir 40 et le relief 38, respectivement.
- [0089] On peut définir un ensemble de mesure 50a compris dans le système propulsif 1 qui dans ce cas comprend le relief 38, le butoir 40 et l'au moins un capteur 42.
- [0090] Le capteur 42 peut mesurer le déplacement relatif entre le relief 38 et le butoir 40, ou bien une force exercée par le relief 38 sur le butoir 40.
- [0091] Ce mode de réalisation du dispositif de mesure 36 peut être réalisé en particulier avec un relief 38 et un butoir 40 qui sont respectivement un épaulement du support 32 et un épaulement du stator 34, épaulements qui peuvent être prévus pour coopérer au sein d'un mécanisme de protection contre une éventuelle rupture du support 32. Ce mécanisme de protection est connu sous le terme de crabot ou crabot anti-rotation. Il peut être prévu dans le système propulsif pour qu'en cas de rupture accidentelle de support 32, celui-ci ne soit pas entraîné en rotation par le porte-satellite 19d ou par la couronne 19b. En cas de rupture accidentelle de support 32, le relief 38 est entraîné avec le support 32 dans une direction circonférentielle. Le relief 38 se retrouve en butée contre le butoir 40, et par ce blocage le support 32 est retenu en rotation par le stator 34. Dans ce cas, le dispositif de mesure 36 joue un rôle de dispositif de sécurité pour limiter les déformations du support 32 et/ou bloquer les mouvements du support 32 en cas de rupture. Ce mode de réalisation permet une meilleure intégration du dispositif de surveillance en réduisant l'encombrement du système propulsif 1.
- [0092] Le système propulsif peut être configuré pour qu'en fonctionnement normal, le relief 38 n'est pas au contact (i.e. reste distant) du butoir 40. Dans ce cas, le dispositif de mesure 36 permet de détecter une éventuelle défaillance du support 32, lorsque le capteur indique une mise en contact du relief 38 avec le butoir 40. Cette indication peut

permettre de remplir une obligation normative vis à vis des pannes dormantes (c'est à dire de pannes qui ne sont pas immédiatement détectables ou détectées) du support.

- [0093] En option, l'ensemble de mesure 50a comprend un deuxième butoir 46 du stator 34. Le deuxième butoir 46 s'étend, comme le premier butoir 40, en saillie du socle 35 radialement. Le deuxième butoir 46 est disposé circonférentiellement en vis-à-vis du relief 38, le relief 38 est situé circonférentiellement entre le premier butoir 40 et le deuxième butoir 46.
- [0094] Dans cette option, et comme illustré en [Fig.5], le relief 38 est encadré selon la direction circonférentielle par les deux butoirs 40 et 46.
- [0095] Le deuxième butoir 46 peut être, de la même manière que le premier butoir 40, une excroissance du socle 35 qui s'étend à partir du socle 35 du stator 34 radialement vers l'intérieur, c'est-à-dire à partir du socle 35 en s'approchant de l'axe X.
- [0096] Dans cette option, le deuxième butoir peut faire également partie d'un mécanisme de protection contre une éventuelle rupture accidentelle du support 32. Dans ce cas, quelle que soit la direction du mouvement de rotation dans lequel est entraîné le relief 38, celui-ci se retrouve en butée contre le premier butoir 40 ou contre le deuxième butoir 46. La fiabilité du système propulsif 1 est accrue.
- [0097] Dans cette option, l'ensemble de mesure 50a peut comprendre deux capteurs 42, 48 qui sont situés circonférentiellement de part et d'autre du relief 38. Chacun des capteurs 42, 48 coopère respectivement avec un seul butoir parmi le premier butoir 40 et le deuxième butoir 46.
- [0098] Le capteur 42 initialement compris dans l'ensemble de mesure 50a étant fixé au premier butoir 40, le capteur 42 coopère avec le premier butoir 40. Le deuxième capteur 48 coopère lui avec le deuxième butoir 46. Par exemple, un deuxième capteur 48 comprend une première partie montée sur le relief 38 et une deuxième partie montée sur le deuxième butoir 46.
- [0099] Dans ce cas, le deuxième capteur 48 fournit une deuxième mesure que l'on peut exploiter en combinaison avec la première mesure fournie par le premier capteur 42.
- [0100] Si les deux mesures sont relatives à une même grandeur, on peut notamment faire une moyenne de ces deux mesures et/ou une mesure différentielle à partir de ces deux mesures. La valeur moyenne permet d'accéder à une information moyennée, par exemple un premier mouvement du support 32 par rapport au stator 34 dont l'effet est identique sur chaque capteur. La valeur de la mesure différentielle permet d'accéder à une information d'une autre nature que la valeur moyenne, par exemple un deuxième mouvement du support 32 par rapport au stator 34 dont l'effet est différent sur chaque capteur. Cela permet notamment de s'affranchir des déformations et tolérances de chaque pièce, et donc d'améliorer la précision.
- [0101] Il est possible également de déterminer à partir de ces deux mesures, la valeur

d'autres grandeurs. Par exemple, si chaque capteur fournit une mesure de distance respectivement entre un des butoirs 40, 46 et le relief 38, la connaissance de ces deux mesures permet de connaître le déplacement du relief 38 d'une part selon la direction circonférentielle et d'autre part selon la direction radiale. C'est en particulier le cas lorsque les faces du relief sont en biais.

[0102] Les deux mesures peuvent être en outre relatives à des grandeurs de nature différente, par exemple le premier capteur peut mesurer un déplacement relatif et l'autre capteur peut mesurer une force exercée par le support 32 sur le stator 34.

[0103] Selon le présent exemple, la surveillance du comportement mécanique du dispositif de réduction est plus fine et plus précise, ce qui permet d'affiner le suivi de la santé du dispositif de réduction et l'anticipation de sa maintenance et/ou la mesure du couple.

[0104] L'ensemble de mesure 50a tel qu'on l'a présenté jusqu'à maintenant peut comprendre un capteur configuré pour mesurer le déplacement relatif et un capteur configuré pour mesurer la force. Avec la présence de ces deux capteurs, le dispositif de mesure 36 est configuré pour mesurer et le déplacement relatif et la force. La fiabilité et la précision des mesures produites par le dispositif de mesure 36 s'accroissent. En particulier cela peut étendre la gamme de mesures que le dispositif de mesure 36 peut réaliser, à plus de régimes de fonctionnement. Le surcroît global d'information permis par le dispositif de mesure facilite la surveillance du dispositif de réduction de vitesse et de son état de santé.

[0105] L'ensemble de mesure 50a tel qu'on a pu l'exposer jusqu'à présent comprend le relief 38, le premier butoir 40, un premier capteur 42, éventuellement un deuxième butoir 46 avec un éventuel deuxième capteur 48. Cet ensemble peut être un premier ensemble, le système propulsif 1 pouvant comprendre une pluralité d'ensembles de mesure 50a, 50b, 50c, 50d. Chaque ensemble occupe un secteur angulaire limité, et il est possible de répartir régulièrement les différents ensembles de mesure autour de l'axe X. La [Fig.5] illustre la situation où le système comprend quatre ensembles de mesure répartis en croix autour de l'axe X, chaque ensemble comprenant deux butoirs et deux capteurs.

[0106] Selon un exemple particulier, le système propulsif 1 comprend deux ensembles qui sont diamétralement opposés l'un à l'autre. Plus généralement, le système propulsif peut comprendre une pluralité de paires d'ensembles, les deux ensembles de chacune des paires étant diamétralement opposés l'un par rapport à l'autre. Selon un autre exemple, le système comprend deux ensembles, les deux ensembles étant disposés à  $90^\circ$  l'un par rapport à l'autre.

[0107] Chaque ensemble de mesure permet de fournir une mesure ou davantage si l'ensemble de mesure comprend plusieurs capteurs. Il est à noter que les différents ensembles sont identiques ou non, notamment chacun des ensembles comprend d'une

part un butoir ou deux butoirs, et d'autre part un capteur, deux capteurs ou davantage de capteurs.

[0108] Le système propulsif 1 peut comprendre un grand nombre de reliefs 38, chacun faisant partie d'un ensemble de mesure. Ce nombre peut être inférieur ou égal à 200.

[0109] Le système propulsif 1 peut produire un grand nombre de mesures en parallèle, par exemple un nombre inférieur ou égal à 400 mesures ou inférieur ou égal à 200 mesures, ou encore inférieur ou égal à 100 mesures. Ces différentes mesures peuvent être fournies en parallèle et enregistrées pour être traitées ultérieurement. Elles peuvent être également fournies simultanément, traitées simultanément ou enregistrées pour être traitées ultérieurement. Selon une variante, ces mesures sont traitées en temps réel, par exemple pour estimer le couple et piloter le calage des aubes fan.

[0110] Par exemple, l'augmentation du nombre d'ensembles de mesures et donc de capteurs permet d'enrichir les mesures fournies sur le support et son comportement par rapport au stator. La fiabilité et la précision des mesures est améliorée.

[0111] Il est possible pour des capteurs de même type et situés à des positions radiales différentes autour de l'axe X de déterminer des mesures moyennées et/ou des mesures différentielles comme il a déjà été évoqué précédemment. C'est notamment le cas, lorsque le système comprend deux ensembles qui sont diamétralement opposés l'un à l'autre, chaque ensemble comprenant au moins un capteur de même nature.

### **Types de capteur**

[0112] En rapport avec le dispositif de mesure, l'ensemble de mesure ou les ensembles de mesure tels qu'on a pu les exposer jusqu'à présent, ceux-ci peuvent comprendre au moins un capteur choisi parmi :

[0113] - un capteur de proximité, comme par exemple un proximètre magnétique, ou un proximètre inductif ou un proximètre capacitif,

[0114] - un capteur piézo-électrique,

[0115] - un capteur à ultrasons,

[0116] - un capteur à ondes acoustiques de surface (SAW),

[0117] - un capteur optique,

[0118] - un capteur de type LVDT,

[0119] - un capteur de type RVDT, et

[0120] - un capteur de vérin hydraulique.

[0121] Un capteur de proximité ou proximètre est un capteur configuré pour mesurer la distance séparant le capteur d'un objet étudié situé à proximité c'est-à-dire à une distance inférieure à la distance maximale mesurable par le capteur.

[0122] On distingue différents types de capteur de proximité comme par exemple un proximètre magnétique, un proximètre inductif ou un proximètre capacitif.

[0123] Un proximètre magnétique, est un proximètre dont la mesure est fondée sur un effet

magnétique.

- [0124] Dans un exemple de réalisation de proximètre magnétique, le capteur 42 illustré en [Fig.7] comprend :
- [0125] - un aimant 42b qui fait partie d'une deuxième partie du capteur 42 fixée au relief 38 du support 32, et
- [0126] - une bobine 52 qui entoure une armature 54 constituée de "fer doux" c'est à dire constitué d'un matériau magnétisable ; la bobine 52 et l'armature 54 font partie de la première partie 42a du capteur 42 fixée au butoir 40 du stator 34.
- [0127] L'axe autour duquel est bobiné la bobine 52 correspond ici à une direction circonférentielle qui est identique ou quasi identique à l'axe de l'aimant 42b.
- [0128] La bobine 52 fait partie d'un circuit électrique qui est traversée par un courant alternatif. Ce courant alternatif est alimenté par un système de mesure qui fait également partie du dispositif de mesure 36. Le circuit électrique est un circuit oscillant dont on peut déterminer la fréquence de résonance. A cet effet, des fils électriques 42c relient la bobine 52 au système de mesure, les fils électriques étant par exemple passés au travers d'un orifice 44 du stator 34.
- [0129] Le courant alternatif qui traverse la bobine 52 crée un champ magnétique et une interaction magnétique avec l'aimant 42b, ou autrement dit un couplage magnétique avec l'aimant 42b.
- [0130] Le mouvement relatif de l'aimant 42b par rapport à la bobine 52 dû en particulier au mouvement du support 32 par rapport au stator 34, modifie le couplage magnétique entre la bobine 52 et l'aimant 42b. L'impédance de la bobine 52 vue par le circuit oscillant est modifiée de même que la fréquence de résonance du circuit oscillant. La détection de la variation de la fréquence de résonance du circuit est détectée par le système de mesure qui peut en déduire la distance séparant la bobine 52 de l'aimant 42b.
- [0131] Il est à noter que si le support 32 est constitué d'un matériau magnétisable, comme par exemple de l'acier, l'aimant 42b peut être entouré d'un matériau paramagnétique 50, comme du titane par exemple. Ainsi entouré, l'aimant 42b produit des lignes de champ qui ne sont pas captées à l'intérieur du matériau magnétisable du support 32. Cela permet de produire un couplage magnétique entre la bobine 52 et l'aimant 42b suffisamment fort pour pouvoir être détecté.
- [0132] Il est à noter également que la première partie 42a du capteur 42 et le butoir 40 peuvent être fixés sur le socle 35 qui est lui-même monté de manière amovible par rapport au stator 34. Des fixations 37 peuvent être prévues pour fixer au stator 34 le socle 35 portant le capteur 42 et le butoir 40. Un tel montage amovible permet de simplifier l'assemblage du système ainsi que le démontage et la maintenance du capteur.

- [0133] En variante, le proximètre magnétique peut être monté de sorte que l'aimant 42b fait partie de la première partie 42a du capteur 42 fixée au butoir 40 du stator 34, et la bobine 52 et l'armature 54 font partie de la deuxième partie 42b du capteur 42 fixée au relief 38 du support 32.
- [0134] Le proximètre magnétique comme on a pu le présenter ici permet de mesurer la distance séparant le relief 38 et le butoir 40 dans la direction circonférentielle parallèle à l'axe du bobinage de la bobine 52 et l'axe de l'aimant 42b.
- [0135] Par exemple, une deuxième bobine 52 peut être disposée sur un deuxième butoir qui serait placé sur le stator de l'autre côté du relief 38 par rapport au premier butoir 40. Le relief 38 est ainsi encadré dans la direction circonférentielle par deux butoirs portant chacun une bobine. Ainsi on dispose de deux mesures de distance du relief par rapport au premier butoir et par rapport au deuxième butoir. Cette symétrisation de la mesure de distance permet d'obtenir une mesure différentielle et de s'affranchir des déformations et tolérances de chaque pièce, et donc d'améliorer la précision globale de la mesure.
- [0136] Un proximètre inductif est un proximètre dont la mesure est fondée sur un effet d'induction magnétique.
- [0137] Dans un exemple de réalisation de proximètre inductif, dit proximètre latéral ou proximètre circonférentiel, le capteur 42 illustré en [Fig.8] comprend :
- [0138] - un aimant 56 qui fait partie de la première partie 42a du capteur 42 fixée au butoir 40 du stator 34,
- [0139] - une bobine 52 qui entoure l'aimant 56, la bobine faisant également partie de la première partie 42a du capteur 42 fixée au butoir 40 du stator 34.
- [0140] L'aimant 56 et la bobine présentent un même axe qui est orienté selon la direction circonférentielle.
- [0141] Dans un deuxième exemple de réalisation de proximètre inductif, dit proximètre inductif radial, le capteur 42 illustré en figures 9 et 10 diffère en ce que l'aimant 56 et la bobine 52 présentent un même axe qui est orienté cette fois selon une direction radiale. Ce deuxième exemple est notamment mis en œuvre lorsque l'ensemble de mesure comprend deux butoirs 40 et 46 placés de part et d'autre du relief 38. Les deux butoirs permettent de symétriser la canalisation des lignes magnétiques du côté stator 34. Ainsi le dispositif de mesure est plus sensible aux déplacements du relief 38 et du support 32.
- [0142] Dans les deux exemples de réalisation du capteur inductif, le mouvement relatif de l'aimant 56 par rapport au relief 38 dû en particulier au mouvement du support 32 par rapport au stator 34, modifie le flux magnétique qui traverse la bobine 52. Par effet d'induction magnétique, une tension apparaît aux bornes du dipôle électrique formé par la bobine 52.

- [0143] Un mouvement circonférentiel du support 32 et de son relief 38 a été représenté entre les figures 9 et 10. La [Fig.9] illustre une situation de référence dans lequel l'axe de la bobine 52 et de l'aimant 56 est centré par rapport au relief 38. La [Fig.10] illustre une situation d'un déplacement circonférentiel  $D_r$  du support 32 par rapport au stator 34. L'axe de la bobine 52 et de l'aimant 56 n'est pas centré par rapport au relief 38, de sorte que le flux magnétique au travers de la bobine n'est pas le même que dans la situation de référence. Une tension apparaît aux bornes du dipôle électrique formé par la bobine 52.
- [0144] La détection de cette tension par exemple par un système de mesure permet de déterminer la distance séparant la bobine 52 de le relief 38.
- [0145] Un tel capteur inductif peut présenter une plus grande simplicité de montage, l'aimant 56 et le bobinage étant fixés au seul stator. Le relief 38 étant lui-même constitué d'un matériau à forte perméabilité magnétique, il n'est pas nécessaire de prévoir une deuxième partie du capteur 42 fixée au relief 38.
- [0146] Il est à noter qu'un tel capteur inductif est sensible au déplacement circonférentiel du support 32 par rapport au stator 34, mais qu'il est aussi sensible au déplacement radial du support 32 par rapport au stator 34.
- [0147] Un deuxième ensemble de mesure comprenant un même capteur inductif peut être prévu, les deux ensembles de mesure étant placés diamétralement opposés sur le support 32 par rapport à l'axe X. La mesure différentielle entre les deux capteurs permettrait alors de déterminer les mouvements radiaux du support 32, et la mesure moyenne entre les deux capteurs permettrait alors de déterminer les mouvements circonférentiels du support 32.
- [0148] Un proximètre capacitif évalue la distance séparant l'objet étudié et une plaque de détection comprise dans le proximètre. L'objet et la plaque forme un condensateur électrique dont la capacité dépend de la distance recherchée. La capacité peut être pré-étalonnée et mesurée durant l'expérience via la fréquence d'oscillation d'un circuit électrique qui fait intervenir le condensateur mentionné plus haut.
- [0149] Un proximètre capacitif évalue la distance séparant l'objet étudié et une plaque de détection comprise dans le proximètre. L'objet et la plaque forme un condensateur dont la capacité dépend de la distance recherchée. La capacité peut être pré-étalonnée avant l'expérience et mesurée durant l'expérience via la fréquence d'oscillation d'un circuit électrique qui fait intervenir le condensateur mentionné plus haut. Par exemple, la plaque de détection est fixée sur le butoir 40 et forme ainsi une partie du capteur 42. Le relief 38 joue le rôle de l'objet étudié, de sorte que le capteur ne comprend pas une deuxième partie fixée sur le relief 38 ou le support 32. Le capteur 42 est d'autant plus simple à monter dans le réducteur de vitesse 19.
- [0150] Un capteur piézo-électrique est un dispositif qui sous l'effet d'une contrainte produit

un signal électrique mesurable. Un tel capteur permet donc de mesurer une force ou un couple.

- [0151] Un exemple de réalisation de dispositif de mesure 36 qui utilise un capteur piézo-électrique, est illustré en [Fig.5].
- [0152] Dans cet exemple de réalisation, quatre ensembles de mesure 50a, 50b, 50c et 50d sont disposés de manière régulière autour de l'axe X. Chaque ensemble comprend un relief 38 et deux paliers 40 et 46, les deux paliers 40 et 46 étant situés de part et d'autre du relief 38 dans une direction circonférentielle.
- [0153] Entre le palier 40 et le relief 38, un capteur piézo-électrique 42 est disposé de sorte à être en contact à la fois avec le palier 40 et le relief 38.
- [0154] De même entre le palier 46 et le relief 38, un capteur piézo-électrique 42 est disposé de sorte à être en contact à la fois avec le palier 46 et le relief 38.
- [0155] Chaque capteur piézo 42 est ainsi configuré pour mesurer une contrainte selon la direction circonférentielle que le relief 38 exerce sur l'un des paliers qui l'entoure.
- [0156] En fonctionnement, le couple de capteurs piézo fournit deux mesures qui permettent d'évaluer la force exercée par le support 32 sur le stator 34.
- [0157] Il est à noter qu'un seul des capteurs piézo fournit à lui seul une mesure qui permet d'évaluer la force exercée par le support 32 sur le stator 34
- [0158] Il est à noter que d'autres types de capteurs sensibles à la contrainte comme les capteurs magnétostrictifs peuvent être utilisés à la place d'un capteur piézo-électrique.
- [0159] Il est à noter également qu'en utilisant un capteur qui nécessite sa mise au contact entre le relief 38 et l'un des paliers 40, 46, il existe un effet de précontrainte au montage du capteur. La contrainte qui s'exerce par défaut sur le capteur une fois qu'il a été monté et avant la mise en fonctionnement du réducteur de vitesse, a pour effet de décaler les mesures produites ultérieurement par ce capteur. Il est donc intéressant de prévoir une calibration sur moteur à l'arrêt consistant à annuler le couple résiduel, par exemple par un biais logiciel. Par ailleurs, ce type de capteur au contact doit résister aux vibrations engendrées par l'engrènement, vibrations que subit le support 32 et qui sont transmises au capteur.
- [0160] Un capteur à ultrasons est un dispositif qui est configuré pour envoyer un signal sonore à haute fréquence vers un objet étudié. Ce signal se propage depuis le dispositif vers l'objet à la vitesse du son. Lorsque le signal rencontre l'objet, le signal est au moins en partie réfléchi et un signal écho issu du signal initial se propage en sens inverse vers le capteur. Ce signal écho est détecté par le capteur. A partir du délai temporel séparant l'émission du signal initial et la détection du signal écho, le détecteur détermine la distance le séparant de l'objet étudié. Un capteur à ultrasons peut être fixé au stator 34, notamment à un palier 40 du stator 34. Le capteur est configuré pour envoyer le signal initial en direction d'une partie particulière du support

32, notamment en direction d'un relief 38 du support 32. Le signal est émis vers la partie particulière, par exemple dans la direction circonférentielle, et la détection de l'écho permet de déterminer un déplacement relatif entre le support 32 et le stator 24, par exemple dans la direction circonférentielle.

- [0161] Un capteur optique est un dispositif qui est configuré pour envoyer un signal lumineux vers un objet étudié. Ce signal se propage depuis le dispositif vers l'objet à la vitesse de la lumière. Lorsque le signal rencontre l'objet, le signal est réfléchi et il se propage en sens inverse vers le capteur. Ce signal écho du signal initial est détecté par le capteur. Par exemple, le capteur comprend un laser qui crée un point lumineux sur une surface. Le capteur comprend en outre une lentille et une ligne de photodiodes pour évaluer la position du retour laser.
- [0162] Selon un autre exemple, le capteur est de type interférométrique. Le capteur comprend une source de lumière cohérente, comme par exemple un laser. La lumière émise est divisée en deux chemins, un chemin de référence et un chemin de mesure dont la distance dépend de la distance que l'on souhaite mesurer. Par exemple la source de lumière est fixée au stator 34 et le chemin de mesure comprend un aller-retour contre une surface réfléchissante d'un relief 38 du support 32. Les lumières issues des deux chemins sont ensuite superposées. De par la nature ondulatoire de la lumière, cette superposition présente une luminosité qui dépend du déphasage entre lumières issues des deux chemins, luminosité qui permet d'établir la distance.
- [0163] En variante, la réflexion du signal lumineux sur l'objet peut être rendue dépendante de la position de l'objet. En réalisant un étalonnage préalable pour identifier une correspondance position de l'objet/ signal optique mesuré, on peut ensuite déterminer par une mesure optique la position de l'objet.
- [0164] Un mode de réalisation particulier des proximateurs sans contact est illustré en figures 11 et dans une configuration radiale de la mesure optique. Ce mode de réalisation n'est pas exclusif à une mesure optique, il est valable pour tout proximateur sans contact. Selon ce mode réalisé pour un capteur optique, un capteur optique 60 est fixé au socle 35 du stator 34 radialement à l'extérieur d'un relief 38 du support. On peut prévoir que pour la position de référence du support 32, le capteur optique 60 soit aligné radialement avec le relief 38, c'est-à-dire que la direction passant par le capteur 60 et le relief 38 croise l'axe X de manière perpendiculaire. Le relief 38 présente du côté du capteur 60 une surface 58 radiale extérieure. Le capteur 60 est configuré pour envoyer sur cette surface 58 un signal optique dont une partie au moins est renvoyée vers le capteur 60 et mesurée par le capteur 60. La surface 58 n'est pas homogène de sorte que selon l'angle autour de l'axe X du support 32 par rapport au stator 34, la réflexion du signal n'est pas la même. Par exemple la surface 58 présente une courbure particulière dans la direction circonférentielle ou bien la surface 58 est traitée pour que le co-

efficient de réflexion ne soit pas homogène dans la direction circonférentielle. Ainsi, lorsque le support 32 tourne, le signal détecté par le capteur 60 change. En effectuant un étalonnage préliminaire, il est possible de relier le déplacement en fonction du signal mesuré. L'étalonnage préliminaire peut s'effectuer en faisant varier le déplacement et en mesurant le signal correspondant. Il est également possible d'effectuer un étalonnage préliminaire en faisant varier la force ou le couple exercé par le support 32 sur le stator et en mesurant le signal correspondant. La force ou le couple correspond à un déplacement particulier du support 32 par rapport au stator 34. Dans tous les cas, on obtient une courbe d'étalonnage 62 reliant la mesure, c'est-à-dire la valeur du signal mesuré par le capteur 60, au couple ou la force exercé(e) par le support 32 sur le stator 34, ou bien une courbe d'étalonnage reliant la mesure, c'est-à-dire la valeur du signal mesuré par le capteur 60, au déplacement du support 32 par rapport au stator 34.

- [0165] Les figures 11 et 12 illustrent un exemple de courbe d'étalonnage 62 reliant la mesure au couple exercé par le support 32 sur le stator 34.
- [0166] La [Fig.11] illustre une situation de référence où le capteur 60 est aligné radialement avec le capteur 38. Le signal optique parvient au point 64C de la surface 58, il est renvoyé vers le capteur 60 qui mesure une valeur 64B qui apparaît en ordonnée de la courbe 62. Cette ordonnée 64B correspond au point 64 de la courbe d'étalonnage, point 64 dont l'abscisse 64A donne la valeur du couple exercé par le support 32 sur le stator 34.
- [0167] La [Fig.12] illustre une situation décalée où le capteur 60 n'est plus aligné radialement avec le capteur 38. Le signal optique parvient au point 66C de la surface 58, il est renvoyé vers le capteur 60 qui mesure une valeur 66B qui apparaît en ordonnée de la même courbe 62. Cette ordonnée 66B correspond au point 66 de la courbe d'étalonnage, point 66 dont l'abscisse 66A donne la valeur du couple exercé par le support 32 sur le stator 34. La différence entre les valeurs de couple 66A et 64A donne la différence de couple qu'exerce le support 32 sur le stator 34, différence de couple qui correspond au déplacement du support 32 par rapport au stator 34 entre la situation de référence et la situation décalée.
- [0168] Il est à noter qu'ici la surface 58 a été choisie symétrique par rapport à son centre qui correspond au point 64C. Dans ce cas la courbe d'étalonnage reliant la mesure, c'est-à-dire la valeur du signal mesuré par le capteur 60, au déplacement du support 32 par rapport au stator 34 est symétrique par rapport à la situation de référence où le signal lumineux arrive au point 64C. Un déplacement angulaire d'une certaine valeur dans un sens ou dans un autre produira le même signal optique.
- [0169] Il est possible de choisir une surface 58 dont l'inhomogénéité optique n'est pas symétrique par rapport à son centre qui correspond au point 64C. Dans ce cas la courbe

d'étalonnage reliant la mesure, c'est-à-dire la valeur du signal mesuré par le capteur 60, au déplacement du support 32 par rapport au stator 34 n'est pas symétrique par rapport à la situation de référence où le signal lumineux arrive au point 64C.

[0170] Un capteur LVDT - abbréviation de l'expression anglaise « *Linear Variable Displacement Transducer* » traduit en français par Transducteur linéaire à déplacement variable – est un dispositif électromécanique utilisé pour convertir un mouvement mécanique rectiligne en une tension électrique. Le principe de fonctionnement du capteur LVDT est le suivant. Le capteur LVDT comprend une bobine primaire qui est excitée par un courant alternatif. Le capteur LVDT comprend deux bobines secondaires positionnées de part et d'autre de la bobine primaire, les trois bobines étant coaxiales selon un axe du capteur LVDT. En rapport avec la [Fig.6], Le capteur LVDT comprend une partie 42a fixée au stator 34 par exemple au socle 35 ou à un butoir 40 et une partie 42b fixée au support 32, par exemple au corps 33 ou à un relief 38. En ces deux fixations, le capteur est monté selon une liaison pivot d'axe qui peut être parallèle à l'axe X. Le capteur LVDT comprend une tige solidaire de l'une des parties fixées au stator 34 ou au support 32, la tige étant montée mobile le long de l'axe du capteur LVDT par rapport à l'autre des parties fixées. Lors du mouvement de la tige, celle-ci traverse plus ou moins les trois bobines. Selon le mouvement relatif du support 32 par rapport au stator 34, le capteur LVDT change de position : d'une part la distance entre les parties fixées change et d'autre part l'angle de la tige par rapport au stator 34 change. Le mouvement de la tige modifie le couplage magnétique de chaque bobine secondaire avec la bobine primaire. Les tensions dues à l'effet d'induction aux bornes des bobines secondaires peuvent être mesurées, transmises via les connexions 42c et comparées, ce qui permet de reconstituer la position du capteur LVDT. Le capteur LVDT donne une mesure de déplacement circonférentiel du support 32 par rapport au stator 34. Mais on peut également, via un étalonnage, déterminer un couple exercé par le support 32 sur le stator 34 à partir de la mesure du capteur LVDT. Il est à noter que l'angle du capteur LVDT dans sa position de référence peut être choisi pour maximiser la sensibilité au couple.

[0171] Le capteur LVDT nécessite d'être fixé pour une première partie sur le stator 34 et pour une deuxième partie sur le support 32. En revanche, le capteur LVDT n'est pas nécessairement fixé à un relief 38 ou à un butoir 40.

[0172] En variante, le capteur LVDT peut être remplacé par un capteur RVDT - abbréviation de l'expression anglaise « *Rotary Variable Displacement Transducer* » traduit en français par Transducteur rotatif à déplacement variable. Le capteur RVDT est un dispositif électromécanique utilisé pour convertir un mouvement mécanique de rotation en tension. Cette fois, c'est la rotation d'une pièce du capteur qui modifie le couplage entre la bobine primaire et les bobinages secondaires.

- [0173] Enfin, il est possible d'utiliser un capteur par vérin hydraulique. Un tel capteur présente une première partie 42a fixée au stator 34 et une deuxième partie 42b fixée au support 32. La première partie 42a et la deuxième partie 42b sont reliées ensemble par un ensemble de vérins. Ces vérins sont contrôlés de sorte à maintenir la première partie 42a et la deuxième partie 42b à une certaine position l'un par rapport à l'autre. On peut notamment utiliser un système régulé qui ajuste la pression dans chaque vérin en fonction d'une mesure de position relative entre la première partie 42a et la deuxième partie 42b. La pression ajustée dans le vérin est une mesure indirecte du couple.
- [0174] Le dispositif de mesure 36 peut comprendre une combinaison de plusieurs types de capteurs, par exemple pour avoir une plage de mesure plus étendue à une précision donnée, ou bien combiner des informations sur des paramètres différents.

## Revendications

- [Revendication 1] Système propulsif (1) aéronautique comprenant :
- un stator (34),
  - un arbre d'entraînement (30),
  - une section de soufflante (2) comprenant un arbre de soufflante (20) et un rotor de soufflante (9), le rotor de soufflante (9) étant configuré pour être entraîné en rotation par l'arbre de soufflante (20),
  - un dispositif de réduction de vitesse (19) couplant en rotation l'arbre d'entraînement (30) et l'arbre de soufflante (20), de sorte à entraîner l'arbre de soufflante (20) à une vitesse de rotation inférieure à une vitesse de rotation de l'arbre d'entraînement (30), le dispositif de réduction (19) comprenant :
    - un pignon solaire (19a),
    - une couronne (19b), un diamètre de la couronne étant supérieur à un diamètre du pignon solaire,
    - un porte-satellite (19d),
    - au moins un pignon satellite (19c) monté en rotation sur le porte-satellite (19d), et
    - un support (32) fixé au stator (34), la couronne (19b) ou le porte-satellite (19d) étant maintenu fixe en rotation par rapport au support (32),
- le système propulsif (1) comprenant un dispositif de mesure (36) configuré pour mesurer :
- un déplacement relatif entre le support (32) et le stator (34), ou/et
  - une force exercée par le support (32) sur le stator (34).
- [Revendication 2] Système propulsif (1) selon la revendication 1 dans lequel le dispositif de mesure est configuré pour mesurer en fonction du temps le déplacement relatif ou/et la force.
- [Revendication 3] Système propulsif (1) selon l'une quelconque des revendication 1 à 2 dans lequel le déplacement relatif et la force sont mesurés dans une direction circonférentielle par rapport à un axe (X) de rotation du pignon solaire (19a).
- [Revendication 4] Système propulsif (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel le support (32) comprend un corps (33) et un relief (38) qui s'étend en saillie du corps (33) radialement par rapport à un axe (X) de rotation du pignon solaire (19a), le stator (34) comprenant un socle (35) et un butoir (40) qui s'étend en saillie du socle (35) radialement, le

butoir (40) étant disposé, circonférentiellement par rapport à l'axe (X) de rotation, en vis-à-vis du relief (38), le dispositif de mesure (36) comprenant au moins un capteur (42), l'au moins un capteur comprenant une partie (42a) montée sur un élément parmi le butoir (40) et le relief (38), le système propulsif (1) comprenant un ensemble de mesure (50a) comprenant le relief (38), le butoir (40) et l'au moins un capteur (42).

[Revendication 5] Système propulsif (1) selon la revendication 4 dans lequel la partie (42a) de l'au moins un capteur (42) est une première partie, l'au moins un capteur (42) comprenant une deuxième partie (42b) montée sur l'autre élément parmi le butoir (40) et le relief (38).

[Revendication 6] Système propulsif (1) selon l'une quelconque des revendications 4 à 5 dans lequel l'ensemble de mesure (50a) comprend un deuxième butoir (46) du stator (34), le deuxième butoir (46) s'étendant en saillie du socle (35) radialement, le deuxième butoir (46) étant disposé circonférentiellement en vis-à-vis du relief (38), le relief (38) étant situé circonférentiellement entre le premier butoir (40) et le deuxième butoir (46).

[Revendication 7] Système propulsif (1) selon la revendication 6, dans lequel l'ensemble de mesure (50a) comprend deux capteurs (42, 48) situés circonférentiellement de part et d'autre du relief (38), chacun des capteurs (42, 48) coopérant respectivement avec un seul butoir parmi le premier butoir (40) et le deuxième butoir (46).

[Revendication 8] Système propulsif (1) selon l'une quelconque des revendications 4 à 7 dans lequel l'ensemble de mesure (50a) comprend un capteur configuré pour mesurer le déplacement relatif et un capteur configuré pour mesurer la force.

[Revendication 9] Système propulsif (1) selon l'une quelconques des revendication 4 à 8 dans lequel l'ensemble de mesure (50a) est un premier ensemble de mesure (50a), d'une pluralité d'ensembles de mesure (50a, 50b, 50c, 50d) compris dans le système (1) et régulièrement répartis circonférentiellement, par exemple le système comprenant deux ensembles qui sont diamétralement opposés l'une à l'autre.

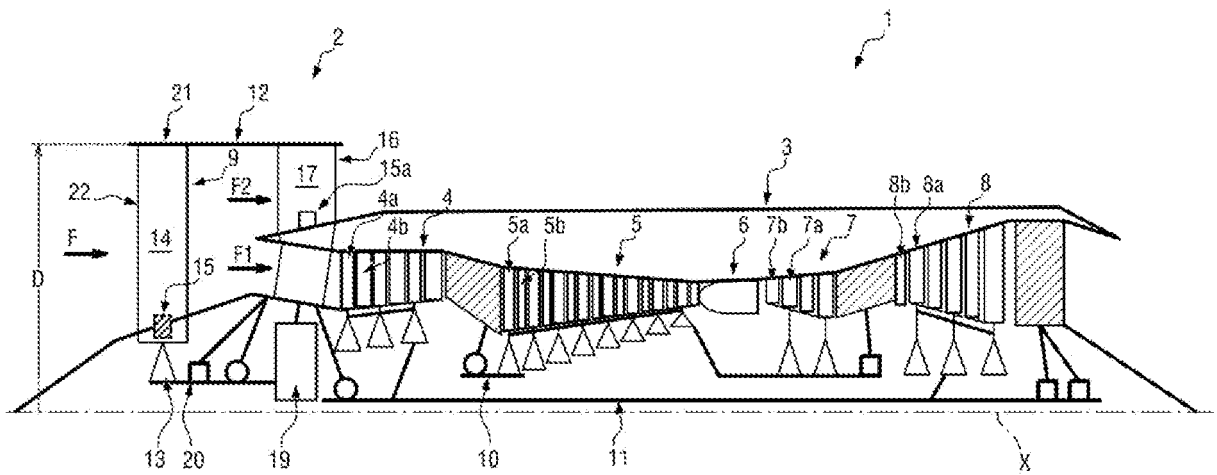
[Revendication 10] Système propulsif (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 dans lequel le dispositif de mesure comprend au moins un capteur choisi parmi :

- un capteur de proximité, comme par exemple un proximètre magnétique, ou un proximètre inductif ou un proximètre capacitif,
- un capteur piézo-électrique,

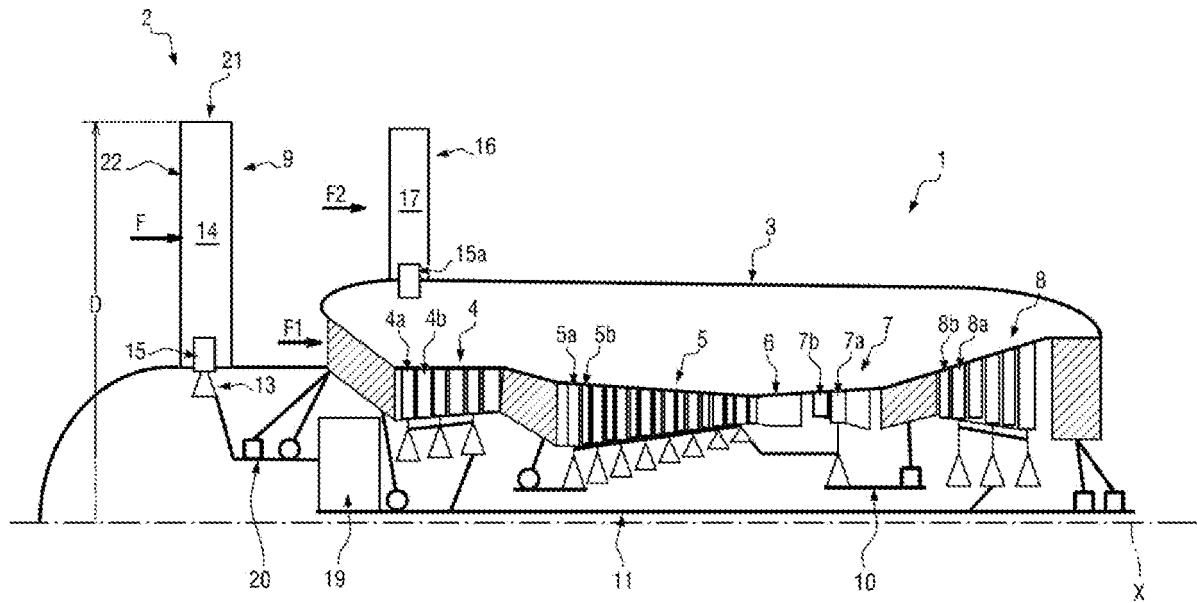
- un capteur à ultrasons,
- un capteur optique,
- un capteur de type LVDT,
- un capteur de type RVDT, et
- un capteur de vérin hydraulique.

[Revendication 11] Aéronef comprenant un système propulsif (1) selon l'une des revendications 1 à 10.

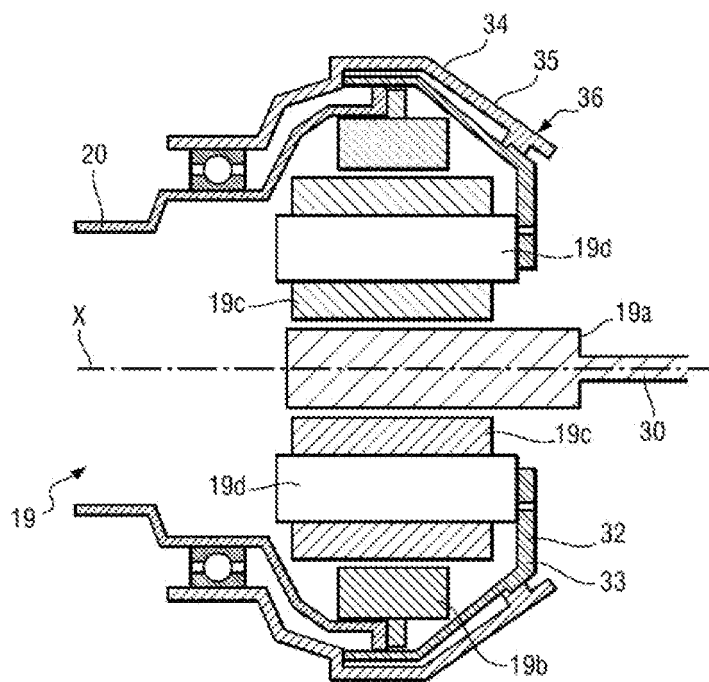
[Fig. 1]



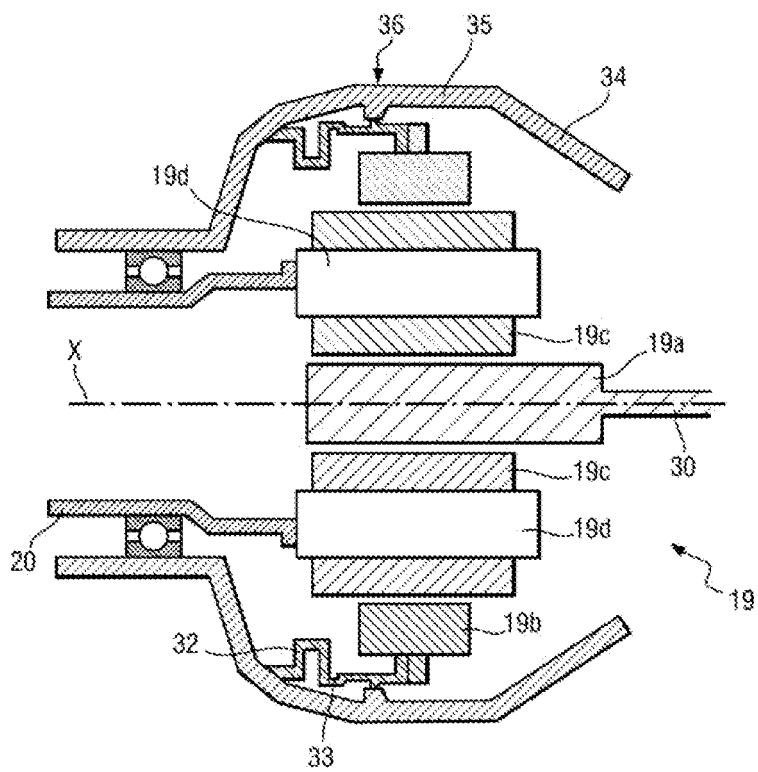
[Fig. 2]



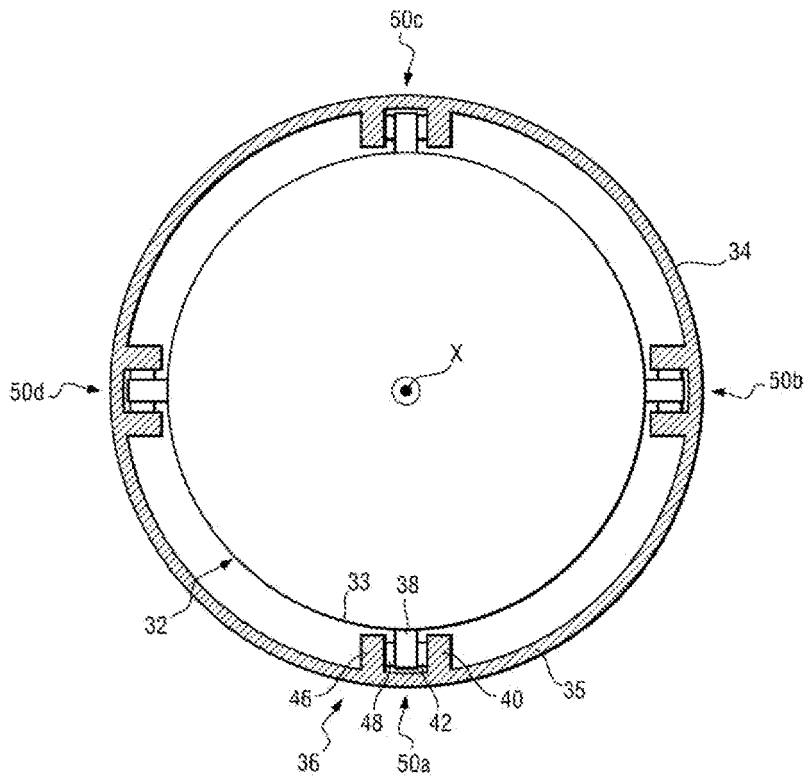
[Fig. 3]



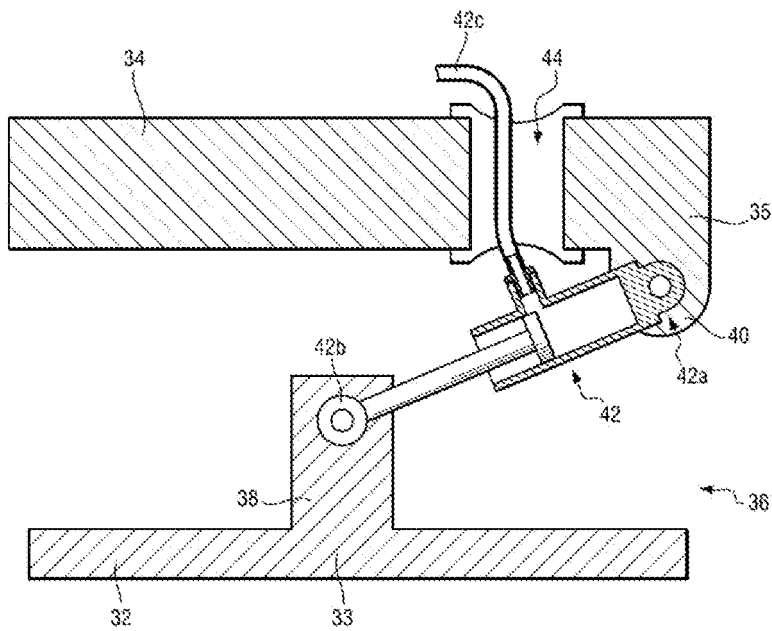
[Fig. 4]



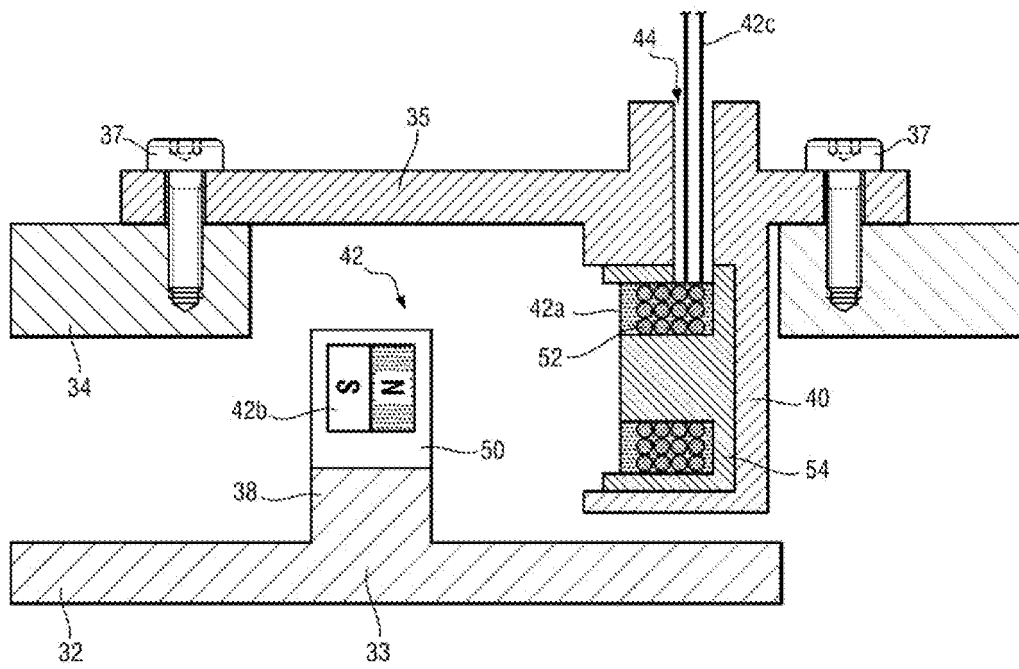
[Fig. 5]



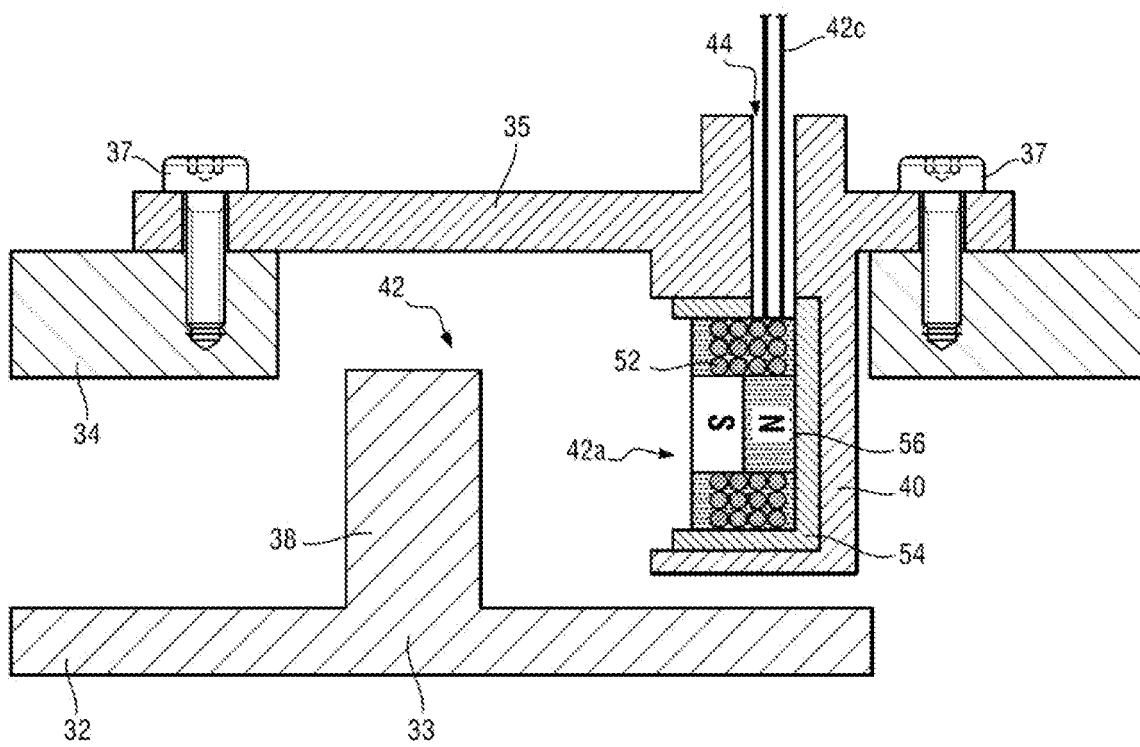
[Fig. 6]



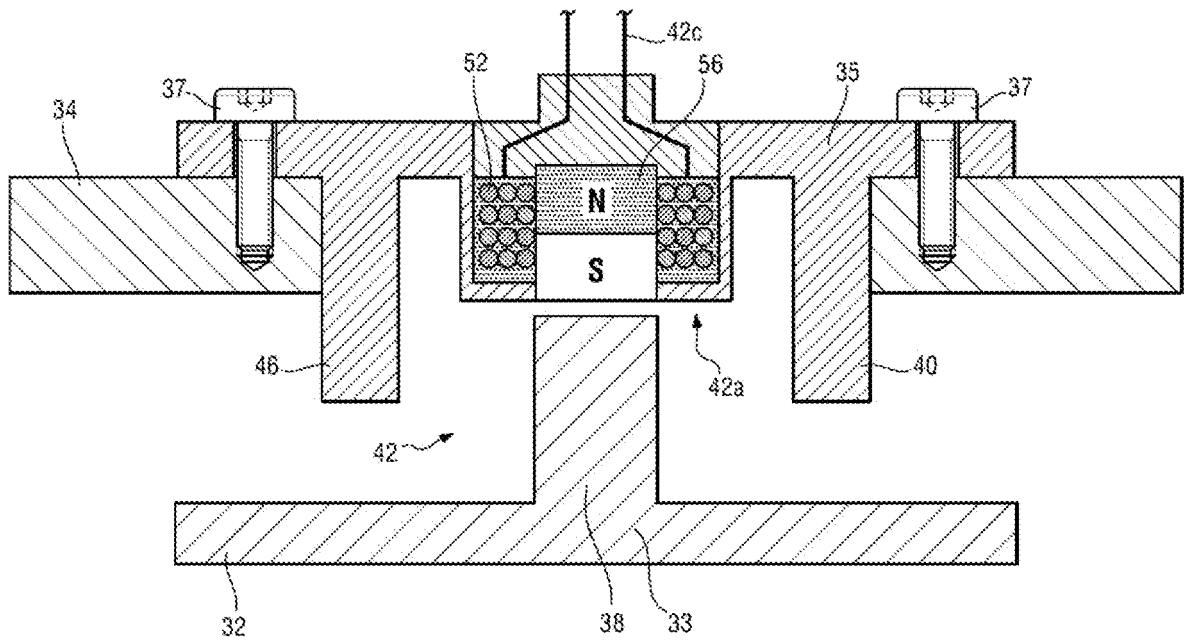
[Fig. 7]



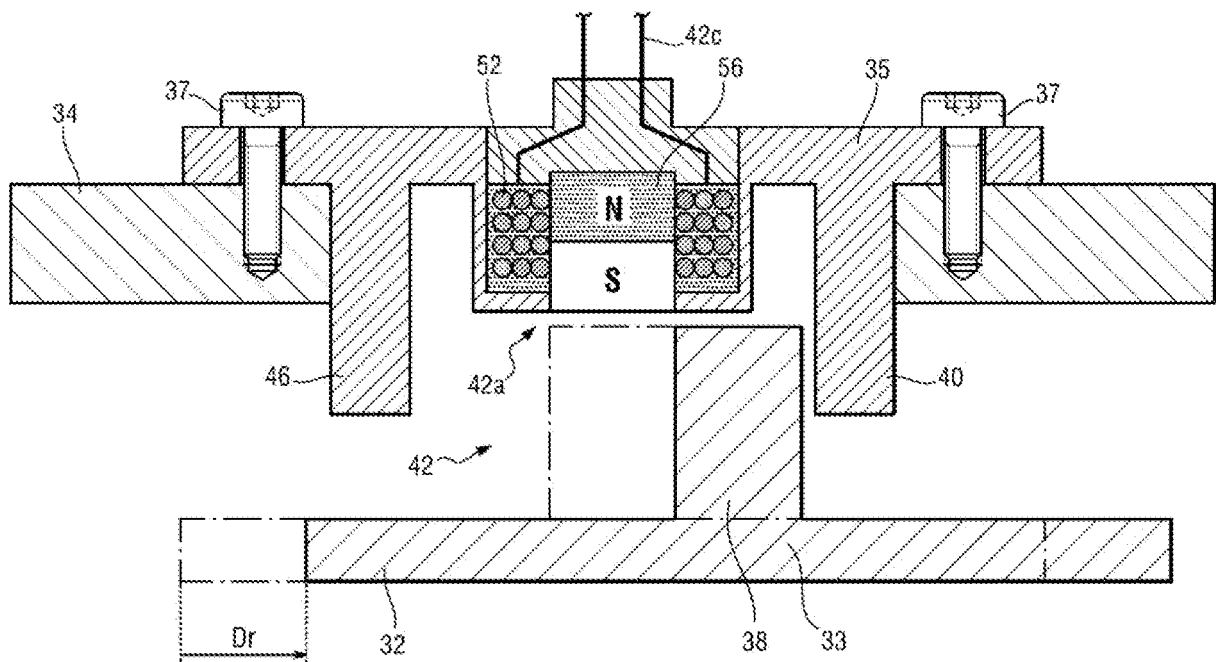
[Fig. 8]



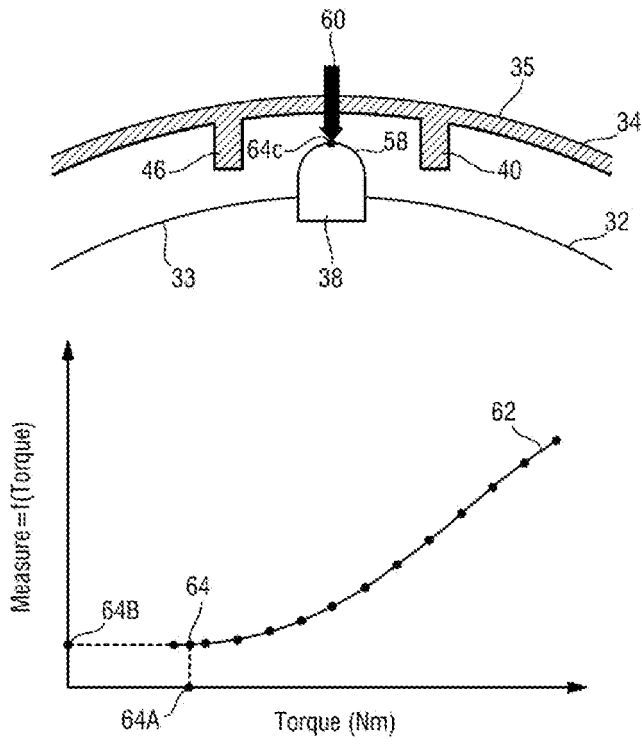
[Fig. 9]



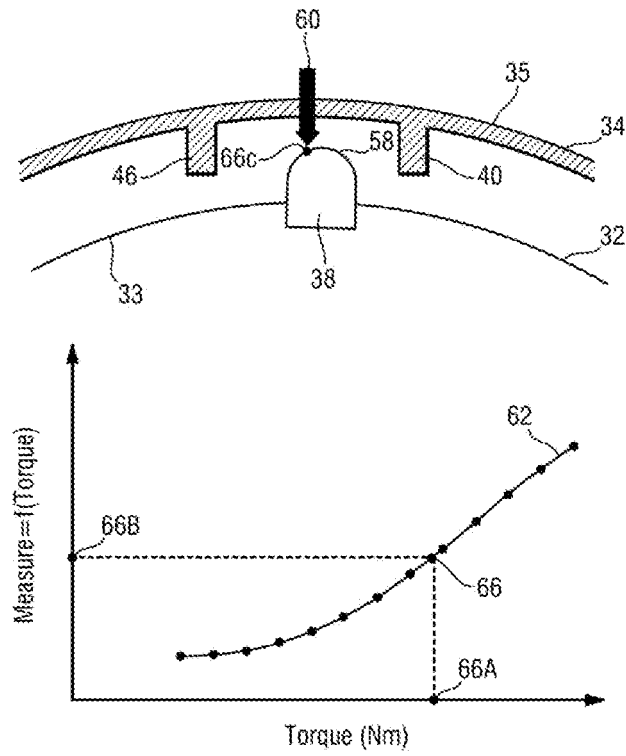
[Fig. 10]



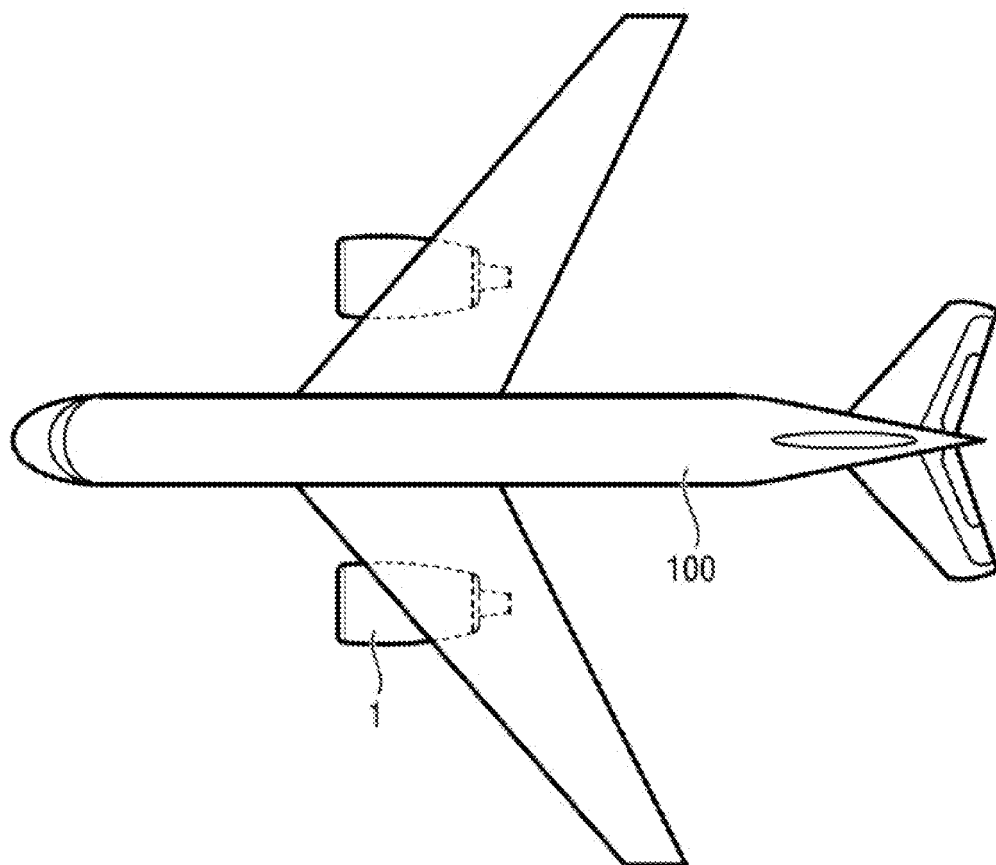
[Fig. 11]



[Fig. 12]



[Fig. 13]



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

**FA 917552**  
**FR 2303452**

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 A A	US 2018/363665 A1 (SHERIDAN WILLIAM G [US] ET AL) 20 décembre 2018 (2018-12-20) * figures 1-8 * * alinéas [0001] - [0091], [0130] - [0169] * -----	1-3,10, 11 4-9	F01D 15/12 F01D 21/00 F02C 3/107 F02C 7/36 G01M 15/14
	US 2020/088595 A1 (RAZAK AHMED M Y [GB] ET AL) 19 mars 2020 (2020-03-19) * figures 1-8 * * alinéas [0001] - [0052], [0064] - [0103] * -----	1-11	
	US 2018/328289 A1 (MADGE JASON J [GB]) 15 novembre 2018 (2018-11-15) * figures 1-5 * * alinéas [0001] - [0026], [0034] - [0056] * -----	1-11	
			<b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)</b>
			F02C F01D F16H
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
13 octobre 2023		Rakotonanahary, S	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		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.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		.....	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2303452 FA 917552**

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 **13-10-2023**  
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
<b>US 2018363665 A1</b>	<b>20-12-2018</b>	<b>EP 3415726 A1</b>	<b>19-12-2018</b>
		<b>EP 3686399 A1</b>	<b>29-07-2020</b>
		<b>US 2018363665 A1</b>	<b>20-12-2018</b>
		<b>US 2020217324 A1</b>	<b>09-07-2020</b>
		<b>US 2022128060 A1</b>	<b>28-04-2022</b>
-----			
<b>US 2020088595 A1</b>	<b>19-03-2020</b>	<b>EP 3623607 A1</b>	<b>18-03-2020</b>
		<b>US 2020088595 A1</b>	<b>19-03-2020</b>
-----			
<b>US 2018328289 A1</b>	<b>15-11-2018</b>	<b>GB 2562246 A</b>	<b>14-11-2018</b>
		<b>US 2018328289 A1</b>	<b>15-11-2018</b>
-----			