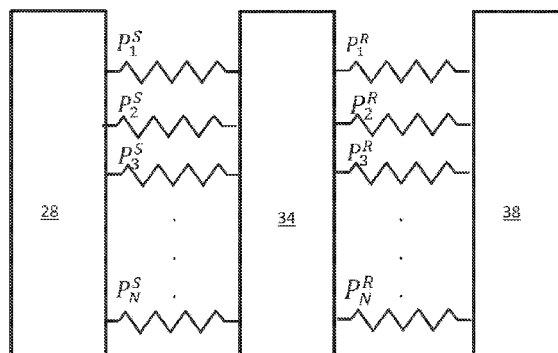


12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

22 Date de dépôt : 19.01.24. 30 Priorité : 05.12.19 GB 1917759.1. 43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 26.07.24 Bulletin 24/30. 56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : <i>Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.</i> 60 Références à d'autres documents nationaux apparentés : Division demandée le 19/01/24 bénéficiant de la date de dépôt du 01/12/20 de la demande initiale n° 2012451. Demande(s) d'extension :	71 Demandeur(s) : Rolls-Royce plc Société de droit étranger — GB. 72 Inventeur(s) : SPRUCE Mark. 73 Titulaire(s) : Rolls-Royce plc Société de droit étranger. 74 Mandataire(s) : NOVAGRAAF TECHNOLOGIES.
--	---

54 Réducteur épicycloïdal à haute puissance et fonctionnement de celui-ci.

57 Moteur (10) pour un aéronef comprenant un cœur de moteur (11) comprenant une turbine (19), un compresseur (14), un arbre de cœur (26); une soufflante (23); et un réducteur. Le réducteur (30) est agencé pour recevoir une entrée depuis un arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à une soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal et comprend un engrenage solaire (28), une pluralité d'engrenages satellites (32), une couronne dentée (38) et un porte-satellites (34). Un rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire de :
est dans la plage allant de 0,90 à 1,28.
Figure pour l'abrégi : [Fig. 11]



Description

Titre de l'invention : Réducteur épicycloïdal à haute puissance et fonctionnement de celui-ci

- [0001] La présente description concerne des réducteurs pour utilisation dans des moteurs d'aéronef, des moteurs à turbine à gaz à engrenages pour utilisation dans un aéronef, et des procédés de fonctionnement d'un tel aéronef. Des aspects de la description se rapportent à des réducteurs épicycloïdaux ayant des rigidités d'engrènement d'engrenages répondant à des critères spécifiés, et à des propulseurs pour aéronef, tels que des moteurs à turbine à gaz, incluant un tel réducteur.
- [0002] Tel qu'elle est utilisée ici, une plage « de la valeur X à la valeur Y » ou « entre la valeur X et la valeur Y », ou similaires, désigne une plage inclusive ; y compris les valeurs de délimitation de X et Y. Tel qu'il est utilisé ici, le terme « plan axial » désigne un plan s'étendant sur la longueur d'un moteur, parallèle à et contenant une ligne médiane axiale du moteur, et le terme « plan radial » désigne un plan s'étendant perpendiculaire à la ligne médiane axiale du moteur, incluant ainsi toutes les lignes radiales au niveau de la position axiale du plan radial. Des plans axiaux peuvent également être dénommés plans longitudinaux, car ils s'étendent sur la longueur du moteur. Une distance radiale ou une distance axiale est pour cette raison une distance s'étendant dans une direction radiale dans un plan radial, ou s'étendant dans une direction axiale dans un plan axial, respectivement.
- [0003] Selon un premier aspect on fournit un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée, et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés, le réducteur ayant une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. La rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur est supérieure ou égale à $1,05 \times 10^9$ N/m, et éventuellement peut être inférieure ou égale à $8,0 \times 10^9$ N/m.
- [0004] L'inventeur était conscient que, même avec une fabrication à haute précision, de petites erreurs dans l'alignement d'engrenages (par exemple de l'ordre de $100 \mu\text{m}$) et/ou dans la forme de dent d'engrenage (par exemple de l'ordre de $10 \mu\text{m}$) peuvent être présentes. L'inventeur a trouvé que la fourniture d'une certaine flexibilité dans

l'engrènement global d'engrenages de réducteur, et en particulier une rigidité d'engrènement de réducteur au sein de la plage définie, permet un ajustement pour ces désalignements ou erreurs de forme, améliorant ainsi un partage de charge et une uniformité d'usure des engrenages. En même temps, trop de flexibilité dans l'engrènement d'engrenages pourrait entraîner un réducteur moins fiable et/ou moins efficace, par exemple avec une déformation excessive de dents d'engrenage et/ou des vibrations torsionnelles excessives. L'inventeur a trouvé qu'un maintien d'une rigidité globale d'engrènement de réducteur au sein de la plage spécifiée fournit une performance optimale de réducteur.

- [0005] Le réducteur peut être défini comme ayant un diamètre de réducteur défini en tant que diamètre de cercle primitif (DCP) de la couronne dentée. Le diamètre de réducteur peut être dans la plage allant de 0,55 m à 1,2 m, et éventuellement de 0,57 à 1,0 m
- [0006] En ce qui concerne la taille de réducteur, et en particulier le diamètre de cercle primitif (DCP) de couronne dentée en guise de mesure de taille de réducteur, l'inventeur était conscient que, dans divers modes de réalisation, un DCP optimal peut également être sélectionné en considérant la relation entre une performance améliorée en raison d'une utilisation améliorée de l'effet de levier pour de plus grandes tailles de réducteur, et l'effet d'une traînée accrue pour de plus grandes tailles de réducteur (diminuant les bénéfices de l'effet de levier amélioré de la plus grande taille au-dessus d'un certain DCP, et une taille et un poids accrus de la plus grande taille). Les matériaux de couronne dentée peuvent être sélectionnés pour garantir qu'une densité de couple maximale attendue pour la taille de DCP serait bien à l'intérieur des limites de tolérance.
- [0007] La rigidité d'engrènement de réducteur peut être proportionnelle au cube de la taille de dent d'engrenage (également dénommé module d'engrenage). L'inventeur était conscient que la taille de dent d'engrenage peut être invariable par rapport au DCP dans certains agencements, ou proportionnelle au DCP dans différents modes de réalisation (par exemple en maintenant un nombre constant de dents à mesure que le DCP augmente). La taille de dent d'engrenage peut être mise à l'échelle par la racine carrée du DCP dans encore d'autres agencements. La rigidité d'engrènement de réducteur peut pour cette raison être indépendante du DCP, ou peut varier proportionnellement au DCP à la puissance X, où X peut éventuellement être dans la plage allant de 1 à 4 et éventuellement de 1,5 à 3.
- [0008] La rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur peut être dans la plage allant de $1,08 \times 10^9$ à $4,9 \times 10^9$ N/m.
- [0009] Une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée peut être dans la plage allant de $1,4 \times 10^9$ à $2,0 \times 10^{10}$ N/m.
- [0010] Une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage

solaire peut être dans la plage allant de $1,20 \times 10^9$ à $1,60 \times 10^{10}$ N/m.

[0011] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante dans la plage allant de 240 à 280 cm. Dans de tels modes de réalisation, la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur peut être dans la plage allant de $1,05 \times 10^9$ à $3,6 \times 10^9$ N/m.

[0012] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante dans la plage allant de 330 à 380 cm. Dans de tels modes de réalisation, la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur peut être dans la plage allant de $1,2 \times 10^9$ à $4,9 \times 10^9$ N/m.

[0013] Une rigidité torsionnelle du porte-satellites peut être supérieure ou égale à $1,60 \times 10^8$ Nm/rad.

[0014] Un rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire de :

[0015] [Math.1]

$$\frac{\text{rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée}}{\text{rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire}}$$

[0016] peut être dans la plage allant de 0,90 à 1,28, et éventuellement inférieur ou égal à 1,23.

[0017] Un rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire de :

[0018] [Math.2]

$$\frac{\text{rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites}}{\text{rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire}}$$

[0019] peut être supérieur ou égal à 0,26, et éventuellement peut être supérieur ou égal à 4,5.

[0020] Un rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée de :

[0021] [Math.3]

$$\frac{\text{rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites}}{\text{rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée}}$$

[0022] peut être supérieur ou égal à 0,2, et éventuellement supérieur ou égal à 3,8.

[0023] Le moteur peut comprendre un arbre de soufflante s'étendant entre le réducteur et la soufflante, et un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur, l'arbre de soufflante, l'arbre de cœur, le réducteur et le support de réducteur formant ensemble une transmission.

[0024] La rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission peut être supérieure ou égale à $1,60 \times 10^8$ N/m.

[0025] Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission de :

[0026] [Math.4]

$$\frac{\text{la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur}}{\text{rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission}}$$

[0027] peut être supérieur ou égal à 0,34, et éventuellement peut être dans la plage allant de 0,34 à 11.

[0028] Selon un deuxième aspect, on fournit un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant

une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée, et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés, le réducteur ayant une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. La rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur est supérieure ou égale à $1,05 \times 10^9$ N/m, et éventuellement peut être inférieure ou égale à $8,0 \times 10^9$ N/m. Le procédé comprend le fonctionnement du moteur à turbine à gaz pour fournir une propulsion dans des conditions de croisière.

- [0029] Le moteur à turbine à gaz peut avoir n'importe lesquelles des caractéristiques telles que décrites par rapport au premier aspect, par exemple, le DCP du réducteur peut être dans la plage allant de 0,55 m à 1,2 m, et éventuellement de 0,57 à 1,0 m.
- [0030] Le procédé peut comprendre l'entraînement du réducteur avec un couple d'entrée supérieur ou égal à 10 000 Nm en croisière. Le procédé peut comprendre l'entraînement du réducteur avec un couple d'entrée supérieur ou égal à 28 000 Nm à la poussée maximale au décollage (PMD).
- [0031] Selon un troisième aspect, on fournit un propulseur pour un aéronef, le propulseur comprenant une soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; un réducteur ; et une unité motrice pour entraîner la soufflante via le réducteur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal agencé pour recevoir une entrée depuis un arbre de cœur entraîné par l'unité motrice et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, et comprend un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée, et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. La rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur est supérieure ou égale à $1,05 \times 10^9$ N/m, et éventuellement peut être inférieure ou égale à $8,0 \times 10^9$ N/m.
- [0032] Le propulseur peut avoir certaines ou toutes les caractéristiques telles que décrites pour le moteur à turbine à gaz du premier aspect, par exemple, le DCP du réducteur peut être dans la plage allant de 0,55 m à 1,2 m, et éventuellement de 0,57 à 1,0 m.
- [0033] Selon un quatrième aspect on fournit un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en

sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés, le réducteur ayant une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée et une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire. Un rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire de :

[0034] [Math.5]

la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée
la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire

[0035] est dans la plage allant de 0,90 à 1,28.

[0036] L'inventeur était conscient que, même avec une fabrication à haute précision, de petites erreurs dans l'alignement d'engrenages (par exemple de l'ordre de 100 μm) et/ou dans la forme de dent d'engrenage (par exemple de l'ordre de 10 μm) peuvent être présentes. L'inventeur a trouvé que la fourniture d'une certaine flexibilité dans les engrènements d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire et la couronne dentée peut permettre un ajustement pour ces désalignements ou erreurs de forme, ce qui améliore le partage de charge et l'uniformité d'usure des engrenages. En même temps, trop de flexibilité dans les engrènements d'engrenages pourrait entraîner un réducteur moins fiable et/ou moins efficace, par exemple avec une déformation excessive de dents d'engrenage. L'inventeur a trouvé qu'un maintien du rapport au sein de la plage spécifiée fournit une performance optimale de réducteur.

[0037] En particulier, l'inventeur a trouvé que le fait d'avoir plus de flexibilité dans la couronne dentée par comparaison avec l'engrenage solaire (et pour cette raison généralement une valeur plus basse du rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire que dans des moteurs connus) peut être avantageux dans certains modes de réalisation, car la couronne dentée est un engrenage interne et peut se déformer davantage que l'engrenage solaire tout en maintenant les contraintes et un fonctionnement de réducteur au sein de limites acceptables.

[0038] Le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire peut être dans la plage allant de 0,95 à 1,23.

[0039] Une rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur peut être supérieure ou égale à $1,05 \times 10^9$ N/m. La rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur peut être dans la plage allant de $1,05 \times 10^9$ à $8,00 \times 10^9$ N/m, et éventuellement de $1,08 \times 10^9$ à $4,9 \times 10^9$ N/m.

[0040] Le réducteur peut être défini comme ayant un diamètre de réducteur défini en tant que diamètre de cercle primitif de la couronne dentée. Le diamètre de réducteur peut

être dans la plage allant de 0,55 à 1,2 m, et éventuellement de 0,57 à 1,0 m.

[0041] La rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée peut être supérieure ou égale à $1,4 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,45 \times 10^9$ à $1,05 \times 10^{10}$ N/m.

[0042] La rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire peut être supérieure ou égale à $1,20 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,0 \times 10^9$ à $9,5 \times 10^9$ N/m.

[0043] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante dans la plage allant de 240 à 280 cm. Dans de tels modes de réalisation, le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire peut être dans la plage allant de 0,95 à 1,28.

[0044] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante dans la plage allant de 330 à 380 cm. Dans de tels modes de réalisation, le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire peut être dans la plage allant de 0,90 à 1,23.

[0045] La rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée multipliée par la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire peut être supérieure ou égale à $4,7 \times 10^{18}$ N²m⁻², et éventuellement inférieure à $1,5 \times 10^{19}$ N²m⁻².

[0046] Une rigidité torsionnelle du porte-satellites peut être supérieure ou égale à $1,60 \times 10^8$ Nm/rad.

[0047] Un rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire de :

[0048] [Math.6]

$$\frac{\text{rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites}}{\text{rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire}}$$

[0049] peut être supérieur ou égal à 0,26, et éventuellement supérieur ou égal à 4,5.

[0050] Un rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée de :

[0051] [Math.7]

$$\frac{\text{rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites}}{\text{rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée}}$$

[0052] peut être supérieur ou égal à 0,2, et éventuellement supérieur ou égal à 3,8.

[0053] Le moteur peut comprendre un arbre de soufflante s'étendant entre le réducteur et la soufflante, et un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur, l'arbre de soufflante, l'arbre de cœur, le réducteur, et le support de réducteur formant ensemble une transmission.

[0054] Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission de :

[0055] [Math.8]

$$\frac{\text{la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur}}{\text{rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission}}$$

[0056] peut être dans la plage allant de 0,34 à 11.

[0057] La rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission peut être supérieure ou

égale à $1,60 \times 10^8$ N/m ou $3,8 \times 10^8$ N/m.

[0058] Selon un cinquième aspect, on fournit un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée et une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire. Un rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire de :

[0059] [Math.9]

la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée
la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire

[0060] est dans la plage allant de 0,90 à 1,28. Le procédé comprend le fonctionnement du moteur à turbine à gaz pour fournir une propulsion dans des conditions de croisière.

[0061] Le moteur à turbine à gaz peut avoir n'importe lesquelles ou la totalité des caractéristiques telles que décrites par rapport au quatrième aspect.

[0062] Le procédé peut comprendre l'entraînement du réducteur avec un couple d'entrée supérieur ou égal à 10 000 Nm en croisière. Le procédé peut comprendre l'entraînement du réducteur avec un couple d'entrée supérieur ou égal à 28 000 Nm à la poussée maximale au décollage (PMD).

[0063] Selon un sixième aspect, on fournit un propulseur pour un aéronef, le propulseur comprenant une soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; un réducteur ; et une unité motrice pour entraîner la soufflante via le réducteur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal agencé pour recevoir une entrée depuis un arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à une soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, le réducteur comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée et une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire. Un rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire de :

[0064] [Math.10]

la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée
la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire

[0065] est dans la plage allant de 0,90 à 1,28.

[0066] Le propulseur peut avoir n'importe lesquelles ou la totalité des caractéristiques telles que décrites pour le moteur à turbine à gaz du quatrième aspect.

[0067] Selon d'autres aspects, des plages de valeurs pour un produit des composantes du rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire peuvent être spécifiées en remplacement, ou en complément, de plages de valeurs pour les rapports.

[0068] En particulier, un produit d'engrènement de couronne dentée et d'engrenage solaire défini comme la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée multipliée par la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire peut avoir une valeur supérieure ou égale à $4,7 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $1,5 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement peut être supérieur ou égal à $5,1 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieur à $1,3 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0069] Selon un tel aspect on fournit un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés, le réducteur ayant une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée et une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire. Un produit d'engrènement de couronne dentée et d'engrenage solaire défini comme la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée multipliée par la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire est supérieur ou égal à $4,7 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0070] L'homme du métier comprendra que des aspects de procédé et de propulseur peuvent être formulés en conséquence.

[0071] Selon un septième aspect on fournit un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en

sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le porte-satellites a une rigidité torsionnelle linéaire efficace et le réducteur a une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire. Un rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire de :

[0072] [Math.12]

$$\frac{\text{rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites}}{\text{rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire}}$$

[0073] est supérieur ou égal à 0,26, et éventuellement peut être inférieur ou égal à $1,1 \times 10^3$.

[0074] L'inventeur a trouvé que la rigidité torsionnelle du porte-satellites peut avantageusement être agencée pour être relativement élevée par comparaison avec la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire (par comparaison avec des moteurs connus) de façon à réduire ou éviter un enroulement du réducteur, ce qui réduit ou élimine un pliage des dents, tout en permettant une certaine flexibilité au sein de l'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire pour répondre à des différences entre les dents et/ou engrenages. L'inventeur a trouvé qu'un maintien du rapport spécifié au sein de la plage de l'invention fournit une performance optimale de réducteur. Une rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites est utilisée pour la facilité de comparaison avec la rigidité d'engrènement d'engrenages (linéaire).

[0075] Le rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire peut être supérieur ou égal à 4,5.

[0076] Une rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur peut être supérieure ou égale à $1,05 \times 10^9$ N/m.

[0077] Le réducteur peut être défini comme ayant un diamètre de réducteur défini en tant que diamètre de cercle primitif (DCP) de la couronne dentée. Le diamètre de réducteur peut être dans la plage allant de 0,55 m à 1,2 m, et éventuellement de 0,57 à 1,0 m.

[0078] Une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée peut être supérieure ou égale à $1,4 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,45 \times 10^9$ à $1,05 \times 10^{10}$ N/m.

[0079] La rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire peut être supérieure ou égale à $1,20 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,0 \times 10^9$ à $9,5 \times 10^9$ N/m.

[0080] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante dans la plage allant de 240 à 280 cm. Dans de tels modes de réalisation, le rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire peut être dans la plage allant de 0,6 à 58.

- [0081] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante dans la plage allant de 330 à 380 cm. Dans de tels modes de réalisation, le rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire peut être dans la plage allant de 0,94 à 95.
- [0082] La rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites peut être supérieure ou égale à $7,00 \times 10^9$ N/m.
- [0083] Le produit de la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites et de la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire peut être supérieur ou égal à $5,0 \times 10^{18}$ N²m⁻².
- [0084] Un rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire de :
- [0085] [Math.13]
- $$\frac{\text{la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée}}{\text{la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire}}$$
- [0086] peut être dans la plage allant de 0,90 à 1,28.
- [0087] Un rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée de :
- [0088] [Math.14]
- $$\frac{\text{rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites}}{\text{rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée}}$$
- [0089] peut être supérieur ou égal à 0,2, et éventuellement supérieur ou égal à 3,8.
- [0090] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre un arbre de soufflante s'étendant entre le réducteur et la soufflante, et un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur, l'arbre de soufflante, l'arbre de cœur, le réducteur, et le support de réducteur formant ensemble une transmission.
- [0091] Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission de :
- [0092] [Math.15]
- $$\frac{\text{la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur}}{\text{rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission}}$$
- [0093] peut être dans la plage allant de 0,34 à 11.
- [0094] La rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission peut être supérieure ou égale à $1,60 \times 10^8$ N/m.
- [0095] Selon un huitième aspect, on fournit un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le porte-satellites a une rigidité torsionnelle linéaire

efficace et le réducteur a une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire. Un rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire de :

[0096] [Math.16]

rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites
rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire

[0097] est supérieur ou égal à 0,26, et éventuellement peut être inférieur ou égal à $1,1 \times 10^3$.

Le procédé comprend le fonctionnement du moteur à turbine à gaz pour fournir une propulsion dans des conditions de croisière.

[0098] Le moteur à turbine à gaz peut avoir n'importe lesquelles ou la totalité des caractéristiques telles que décrites par rapport au septième aspect.

[0099] Le procédé peut comprendre l'entraînement du réducteur avec un couple d'entrée supérieur ou égal à 10 000 Nm en croisière. Le procédé peut comprendre l'entraînement du réducteur avec un couple d'entrée supérieur ou égal à 28 000 Nm à la poussée maximale au décollage (PMD).

[0100] Selon un neuvième aspect, on fournit un propulseur pour un aéronef, le propulseur comprenant une soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; un réducteur ; et une unité motrice pour entraîner la soufflante via le réducteur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal agencé pour recevoir une entrée depuis un arbre de cœur entraîné par l'unité motrice et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, et comprend un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée, et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le porte-satellites a une rigidité torsionnelle linéaire efficace et le réducteur a une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire. Un rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire de :

[0101] [Math.17]

rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites
rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire

[0102] est supérieur ou égal à 0,26, et éventuellement peut être inférieur ou égal à $1,1 \times 10^3$.

[0103] Le propulseur peut avoir n'importe lesquelles ou la totalité des caractéristiques telles que décrites pour le moteur à turbine à gaz du septième aspect.

[0104] Selon d'autres aspects, des plages de valeurs pour un produit des composantes du rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire peuvent être spécifiées en remplacement, ou en complément, d'une plage de valeurs pour le rapport.

[0105] En particulier, un produit d'engrènement de porte-satellites et engrenage solaire défini comme la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites multipliée par la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage

solaire peut avoir une valeur supérieure ou égale à $5,0 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $2,0 \times 10^{22} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement peut être supérieur ou égal à $1,8 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieur à $1,0 \times 10^{21} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0106] Selon un tel aspect on fournit un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le porte-satellites a une rigidité torsionnelle linéaire efficace et le réducteur a une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire. Un produit d'engrènement de porte-satellites et engrenage solaire défini comme la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites multipliée par la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire est une valeur supérieure ou égale à $5,0 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0107] L'homme du métier comprendra que des aspects de procédé et de propulseur peuvent être formulés en conséquence.

[0108] Selon un dixième aspect on fournit un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le porte-satellites a une rigidité torsionnelle linéaire efficace et le réducteur a une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée. Un rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée de :

[0109] [Math.18]

la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites
rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée

[0110] est supérieur ou égal à 0,2, et éventuellement peut être inférieur ou égal à 900.

[0111] L'inventeur a trouvé que la rigidité torsionnelle du porte-satellites peut avantageusement être agencée pour être relativement élevée par comparaison avec la rigidité

d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire de façon à réduire ou éviter un enroulement du réducteur, ce qui réduit ou élimine un pliage des dents, tout en permettant une certaine flexibilité au sein de l'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée pour répondre à des différences entre les dents et/ou engrenages. L'inventeur a trouvé qu'un maintien du rapport spécifié au sein de la plage de l'invention peut fournir une performance optimale de réducteur. Une rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites est utilisée pour la facilité de comparaison avec la rigidité d'engrènement d'engrenages (linéaire).

- [0112] Le rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée peut être supérieur ou égal à 3,8.
- [0113] Une rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur peut être dans la plage allant de $1,05 \times 10^9$ à $8,00 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $1,08 \times 10^9$ à $4,9 \times 10^9$ N/m.
- [0114] Le réducteur peut être défini comme ayant un diamètre de réducteur défini en tant que diamètre de cercle primitif (DCP) de la couronne dentée. Le diamètre de réducteur peut être dans la plage allant de 0,55 m à 1,2 m, et éventuellement de 0,57 à 1,0 m.
- [0115] La rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée peut être supérieure ou égale à $1,4 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,45 \times 10^9$ à $1,05 \times 10^{10}$ N/m.
- [0116] Une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire peut être supérieure ou égale à $1,20 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,0 \times 10^9$ à $9,5 \times 10^9$ N/m.
- [0117] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante dans la plage allant de 240 à 280 cm. Dans de tels modes de réalisation, le rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée peut être supérieur ou égal à 3,8, et éventuellement dans la plage allant de 3,8 à 90.
- [0118] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante dans la plage allant de 330 à 380 cm. Dans de tels modes de réalisation, le rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée peut être supérieur ou égal à 4,0, et éventuellement dans la plage allant de 4,0 à 500.
- [0119] La rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites peut être supérieure ou égale à $7,00 \times 10^9$ N/m.
- [0120] Le produit de la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites et de la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée peut être supérieur ou égal à $5,0 \times 10^{18}$ N²m⁻².
- [0121] Un rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire de :

[0122] [Math.19]

la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée
la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire

[0123] peut être dans la plage allant de 0,90 à 1,28.

[0124] Un rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire de :

[0125] [Math.20]

la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites
rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire

[0126] peut être supérieur ou égal à 0,26, et éventuellement supérieur ou égal à 4,5.

[0127] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre un arbre de soufflante s'étendant entre le réducteur et la soufflante, et un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur, l'arbre de soufflante, l'arbre de cœur, le réducteur, et le support de réducteur formant ensemble une transmission. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission de :

[0128] [Math.21]

la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur
rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission

[0129] peut être dans la plage allant de 0,34 à 11.

[0130] La rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission peut être supérieure ou égale à $1,60 \times 10^8$ N/m.

[0131] Selon un onzième aspect, on fournit un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le porte-satellites a une rigidité torsionnelle linéaire efficace et le réducteur a une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée. Un rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée de :

[0132] [Math.22]

la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites
rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée

[0133] est supérieur ou égal à 0,2, et éventuellement peut être inférieur ou égal à 900. Le procédé comprend le fonctionnement du moteur à turbine à gaz pour fournir une propulsion dans des conditions de croisière.

- [0134] Le moteur à turbine à gaz peut être tel que décrit par rapport au dixième aspect.
- [0135] Le procédé peut comprendre l'entraînement du réducteur avec un couple d'entrée supérieur ou égal à 10 000 Nm en croisière. Le procédé peut comprendre l'entraînement du réducteur avec un couple d'entrée supérieur ou égal à 28 000 Nm à la poussée maximale au décollage (PMD).
- [0136] Selon un douzième aspect, on fournit un propulseur pour un aéronef, le propulseur comprenant une soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; un réducteur ; et une unité motrice pour entraîner la soufflante via le réducteur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal agencé pour recevoir une entrée depuis un arbre de cœur entraîné par l'unité motrice et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, et comprend un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée, et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le porte-satellites a une rigidité torsionnelle linéaire efficace et le réducteur a une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée. Un rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée de :
- [0137] [Math.23]
- $$\frac{\text{la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites}}{\text{rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée}}$$
- [0138] est supérieur ou égal à 0,2, et éventuellement peut être inférieur ou égal à 900.
- [0139] Le propulseur peut avoir n'importe lesquelles ou la totalité des caractéristiques telles que décrites pour le moteur à turbine à gaz du dixième aspect.
- [0140] Selon d'autres aspects, des plages de valeurs pour le produit des composantes du rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée peuvent être spécifiées en remplacement, ou en complément, d'une plage de valeurs pour le rapport.
- [0141] En particulier, un produit d'engrènement de porte-satellites et de couronne dentée défini comme la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites multipliée par la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée peut être supérieur ou égal à $5,0 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieur à $2,6 \times 10^{22} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement peut être supérieur ou égal à $2,2 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieur à $2,6 \times 10^{21} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.
- [0142] Selon un tel aspect on fournit un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant

un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le porte-satellites a une rigidité torsionnelle linéaire efficace et le réducteur a une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée. Un produit d'engrènement de porte-satellites et de couronne dentée défini comme la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites multipliée par la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée est supérieur ou égal à $5,0 \times 10^{18} \text{ N}^2 \text{ m}^{-2}$.

[0143] L'homme du métier comprendra que des aspects de procédé et de propulseur peuvent être formulés en conséquence.

[0144] Selon un treizième aspect, on fournit un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur, un réducteur, un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur, et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un arbre de soufflante. Le réducteur est agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante via l'arbre de soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. L'arbre de soufflante, l'arbre de cœur, le réducteur, et le support de réducteur forment ensemble une transmission ayant une rigidité torsionnelle linéaire efficace. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission de :

[0145] [Math.24]

$\frac{\text{la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur}}{\text{la rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission}}$

[0146] est supérieur ou égal à 0,34.

[0147] Le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission peut être dans la plage allant de 0,34 à 11, ou de 0,90 à 4,6.

[0148] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante dans la plage allant de 240 à 280 cm. Dans de tels modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission peut être dans la plage allant de 1,4 à 2,7.

[0149] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante dans la plage allant de 330 à 380 cm. Dans de tels modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission peut être dans la plage allant de 0,5 à 4,6.

[0150] Selon un quatorzième aspect, on fournit un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le

moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur, un réducteur, un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur, le support de réducteur ayant une rigidité torsionnelle linéaire efficace, et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un arbre de soufflante. Le réducteur est agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante via l'arbre de soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à support de réducteur de :

[0151] [Math.25]

$$\frac{\text{la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur}}{\text{la rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur}}$$

[0152] est supérieur ou égal à $6,5 \times 10^{-2}$, et éventuellement inférieur ou égal à $2,6 \times 10^1$.

[0153] Le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à support de réducteur peut être supérieur ou égal à $2,6 \times 10^{-1}$, et éventuellement dans la plage allant de 0,26 à 8,0.

[0154] Selon un quinzième aspect, on fournit un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur, un réducteur, un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur, et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un arbre de soufflante, l'arbre de soufflante ayant une rigidité torsionnelle linéaire efficace. Le réducteur est agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante via l'arbre de soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de soufflante de :

[0155] [Math.26]

$$\frac{\text{la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur}}{\text{la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante}}$$

[0156] est dans la plage allant de 0,3 à 1,6.

[0157] Selon un seizième aspect, on fournit un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le

moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur, un réducteur, un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur, et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur, l'arbre de cœur ayant une rigidité torsionnelle linéaire efficace ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un arbre de soufflante. Le réducteur est agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante via l'arbre de soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de cœur de :

[0158] [Math.27]

la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur
la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de cœur

[0159] est supérieur ou égal à 0,20. Le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de cœur peut être dans la plage allant de 0,20 à 90, et éventuellement de 0,20 à 29.

[0160] L'inventeur a trouvé que la rigidité d'une transmission – y compris en particulier la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur et la rigidité torsionnelle de la transmission – doit être distribuée dans une ou plusieurs des proportions de l'invention pour permettre une certaine flexibilité au sein de l'engrènement d'engrenages entre les engrenages pour répondre à des différences entre les dents et/ou engrenages tout en réduisant ou en évitant des déflexions excessives du fait de vibrations torsionnelles. La transmission inclut l'arbre de soufflante, l'arbre d'entrée de réducteur, et le support de réducteur. L'inventeur était conscient que les rigidités torsionnelles de chaque composant peuvent pour cette raison être considérées de la même façon, par comparaison avec la rigidité globale d'engrènement d'engrenages, et a trouvé qu'un maintien des rapports correspondants au sein d'une ou plusieurs des plages décrites peut fournir une performance optimale de réducteur. Une rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission est utilisée pour la facilité de comparaison avec la rigidité d'engrènement d'engrenages (linéaire).

[0161] L'inventeur a réalisé qu'une diminution des rigidités torsionnelles de la transmission en dessous des plages définies ici peut entraîner des vibrations de torsion préjudiciables à des fréquences modales basses (l'homme du métier comprendra que les modes tourbillonnaires à plus basse fréquence modale ont de plus grandes amplitudes/déflexions que les modes plus élevés, et qu'il est donc plus important de les éviter), tandis qu'une augmentation de la rigidité torsionnelle au-dessus des plages définies ici

peut entraîner une taille et/ou un poids excessifs de l'arbre sans amélioration correspondante de performance.

[0162] En ce qui concerne l'arbre de cœur / l'arbre d'entrée de réducteur, l'inventeur a trouvé que la rigidité torsionnelle de l'arbre d'entrée de réducteur a un effet sur la rigidité torsionnelle de la transmission entière, mais un effet relativement minimal sur le fonctionnement du réducteur, car une déflexion torsionnelle entraîne seulement un enroulement, et pas un désalignement d'engrenages. L'arbre d'entrée de réducteur peut pour cette raison avoir une plus basse rigidité torsionnelle que le porte-satellites sans effets préjudiciables. Des considérations similaires peuvent s'appliquer à l'arbre de soufflante (l'arbre de sortie de réducteur).

[0163] L'inventeur a réalisé qu'une diminution des rigidités torsionnelles des arbres en dessous des plages définies ici peut entraîner des vibrations de torsion préjudiciables à des fréquences modales basses (l'homme du métier comprendra que les modes tourbillonnaires à plus basse fréquence modale ont de plus grandes amplitudes/déflexions que les modes plus élevés, et qu'il est donc plus important de les éviter), tandis qu'une augmentation de la rigidité torsionnelle au-dessus des plages définies ici peut entraîner une taille et/ou un poids excessifs de l'arbre sans amélioration correspondante de performance.

[0164] Dans n'importe lequel des treizième à seizième aspects, un ou plusieurs de ce qui suit peut s'appliquer :

[0165] La rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur peut être supérieure ou égale à $1,05 \times 10^9$ N/m.

[0166] Le réducteur peut être défini comme ayant un diamètre de réducteur défini en tant que diamètre de cercle primitif (DCP) de la couronne dentée. Le diamètre de réducteur peut être dans la plage allant de 0,55 m à 1,2 m, et éventuellement de 0,57 à 1,0 m.

[0167] Une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée peut être supérieure ou égale à $1,40 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,45 \times 10^9$ à $1,05 \times 10^{10}$ N/m.

[0168] Une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire peut être supérieure ou égale à $1,20 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,0 \times 10^9$ à $9,5 \times 10^9$ N/m.

[0169] Un rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire de :

[0170] [Math.29]

rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée
rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire

[0171] peut être dans la plage allant de 0,90 à 1,28.

[0172] Un rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire de :

[0173] [Math.30]

rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites
rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et l'engrenage solaire

[0174] peut être supérieur ou égal à 0,26, et éventuellement supérieur ou égal à 4,5.

[0175] Un rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée de :

[0176] [Math.31]

rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites
rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites et la couronne dentée

[0177] peut être supérieur ou égal à 0,2, et éventuellement supérieur ou égal à 3,8.

[0178] La rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de cœur peut être supérieure ou égale à $4,0 \times 10^8$ N/m.

[0179] La rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante peut être supérieure ou égale à $1,2 \times 10^9$ N/m.

[0180] La rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur peut être supérieure ou égale à $7,1 \times 10^8$ N/m.

[0181] La rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites peut être supérieure ou égale à $7,0 \times 10^9$ N/m.

[0182] Selon un dix-septième aspect, on fournit un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, le réducteur étant un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés, et le réducteur ayant une rigidité globale d'engrènement d'engrenages ; et un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur. L'arbre de soufflante, l'arbre de cœur, le réducteur, et le support de réducteur forment ensemble une transmission ayant une rigidité torsionnelle linéaire efficace. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission de :

[0183] [Math.32]

la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur
la rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission

[0184] est supérieur ou égal à 0,34, et éventuellement peut être inférieur ou égal à 11. Le procédé comprend le fonctionnement du moteur à turbine à gaz pour fournir une propulsion dans des conditions de croisière.

[0185] Selon un dix-huitième aspect, on fournit un procédé de fonctionnement d'un moteur à

turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, et un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur, le support de réducteur ayant une rigidité torsionnelle linéaire efficace. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à support de réducteur de :

[0186] [Math.33]

$$\frac{\text{la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur}}{\text{la rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur}}$$

[0187] est supérieur ou égal à $6,5 \times 10^{-2}$, et éventuellement peut être inférieur ou égal à $2,6 \times 10^1$. Le procédé comprend le fonctionnement du moteur à turbine à gaz pour fournir une propulsion dans des conditions de croisière.

[0188] Selon un dix-neuvième aspect, on fournit un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; un arbre de soufflante, l'arbre de soufflante ayant une rigidité torsionnelle linéaire efficace ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante via l'arbre de soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de soufflante de :

[0189] [Math.34]

$$\frac{\text{la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur}}{\text{la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante}}$$

[0190] est dans la plage allant de 0,3 à 1,6. Le procédé comprend le fonctionnement du moteur à turbine à gaz pour fournir une propulsion dans des conditions de croisière.

[0191] Selon un vingtième aspect, on fournit un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant

une turbine, un compresseur et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur, l'arbre de cœur ayant une rigidité torsionnelle linéaire efficace ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; un arbre de soufflante ; et un réducteur agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante via l'arbre de soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de cœur de :

[0192] [Math.35]

la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur
la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de cœur

[0193] est supérieur ou égal à 0,2, et éventuellement dans la plage allant de 0,2 à 90 ou de 0,2 à 29. Le procédé comprend le fonctionnement du moteur à turbine à gaz pour fournir une propulsion dans des conditions de croisière.

[0194] Le procédé selon l'un quelconque parmi les dix-septième à vingtième aspects peut comprendre en outre un entraînement du réducteur avec un couple d'entrée :

[0195] (i) supérieur ou égal à 10 000 Nm en croisière ; et/ou

[0196] (ii) supérieur ou égal à 28 000 Nm à la poussée maximale au décollage.

[0197] Le moteur utilisé dans le procédé selon l'un quelconque des dix-septième à vingtième aspects peut être le moteur à turbine à gaz tel que décrit pour n'importe lequel des treizième à seizième aspects.

[0198] Selon un vingt et unième aspect, on fournit un propulseur pour un aéronef, le propulseur comprenant une soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; un réducteur ; un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur ; et une unité motrice pour entraîner la soufflante via le réducteur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal agencé pour recevoir une entrée depuis un arbre de cœur entraîné par l'unité motrice et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante via un arbre de soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, et comprend un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée, et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. L'arbre de soufflante, l'arbre de cœur, le réducteur, et le support de réducteur forment ensemble une transmission ayant une rigidité torsionnelle linéaire efficace. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission de :

[0199] [Math.36]

la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur
la rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission

[0200] est dans la plage allant de 0,34 à 11.

[0201] Selon un vingt-deuxième aspect, on fournit un propulseur pour un aéronef, le propulseur comprenant une soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; un réducteur ; un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur ; et une unité motrice pour entraîner la soufflante via le réducteur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal agencé pour recevoir une entrée depuis un arbre de cœur entraîné par l'unité motrice et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, et comprend un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée, et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à support de réducteur de :

[0202] [Math.37]

la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur
la rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur

[0203] est supérieur ou égal à $6,5 \times 10^{-2}$, et éventuellement inférieur ou égal à $2,6 \times 10^1$.

[0204] Selon un vingt-troisième aspect, on fournit un propulseur pour un aéronef, le propulseur comprenant une soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; un réducteur ; une unité motrice pour entraîner la soufflante via le réducteur ; un arbre de soufflante ; et un arbre de cœur entraîné par l'unité motrice. L'arbre de soufflante a une rigidité torsionnelle linéaire efficace. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante via l'arbre de soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, le réducteur comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de soufflante de :

[0205] [Math.38]

la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur
la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante

[0206] est dans la plage allant de 0,3 à 1,6.

[0207] Selon un vingt-quatrième aspect, on fournit un propulseur pour un aéronef, le propulseur comprenant une soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; un réducteur ; une unité motrice pour entraîner la soufflante via le réducteur ; un arbre de soufflante ; et un arbre de cœur entraîné par l'unité motrice. L'arbre de cœur a une

rigidité torsionnelle linéaire efficace. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante via l'arbre de soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, le réducteur comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. Un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de cœur de :

[0208] [Math.39]

la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur
la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de cœur

[0209] est supérieur ou égal à 0,2, et éventuellement dans la plage allant de 0,2 à 29 ou de 0,2 à 90.

[0210] Le propulseur selon l'un quelconque des vingt et unième à vingt-quatrième aspects peut être le, ou avoir n'importe quelles caractéristiques applicables du, moteur à turbine à gaz tel que décrit pour n'importe lequel des treizième à seizième aspects.

[0211] Selon d'autres aspects, des plages de valeurs pour des produits des composantes des divers rapports peuvent être spécifiées en remplacement, ou en complément, de plages de valeurs pour les rapports. Par exemple :

[0212] Un produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et de transmission défini comme la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur multipliée par la rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission peut avoir une valeur supérieure ou égale à $1,6 \times 10^{17} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement supérieure ou égale à $3,2 \times 10^{17} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans divers modes de réalisation, la valeur peut être dans la plage allant de $1,6 \times 10^{17}$ à $2,9 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement dans la plage allant de $3,2 \times 10^{17}$ à $1,5 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0213] Un produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et de support de réducteur défini comme la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur multipliée par la rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur peut avoir une valeur supérieure ou égale à $2,0 \times 10^{17} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement supérieure ou égale à $9,0 \times 10^{17} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans divers modes de réalisation, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et de support de réducteur peut être dans la plage allant de $2,0 \times 10^{17}$ à $4,1 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement dans la plage allant de $9,0 \times 10^{17}$ à $2,1 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0214] Un produit de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de soufflante défini comme la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur multipliée par la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante peut avoir une valeur supérieure ou égale à $1,3 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $5,0 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Éventuellement la valeur peut être supérieure ou égale à $1,4 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement en outre inférieure à $3,0 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

- [0215] Un produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et d'arbre de cœur défini comme la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur multipliée par la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de cœur peut avoir une valeur dans la plage allant de $1,0 \times 10^{17}$ à $3,0 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement dans la plage allant de $4,5 \times 10^{17}$ à $9,0 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.
- [0216] Selon un tel aspect, on fournit un moteur à turbine à gaz pour un aéronef, le moteur comprenant un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur, un réducteur, un support de réducteur agencé pour monter le réducteur à l'intérieur du moteur, et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur ; une soufflante située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et un arbre de soufflante. Le réducteur est agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante via l'arbre de soufflante de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur. Le réducteur est un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire, une pluralité d'engrenages satellites, une couronne dentée et un porte-satellites sur lequel les engrenages satellites sont montés. Le réducteur a une rigidité globale d'engrènement d'engrenages. L'arbre de soufflante, l'arbre de cœur, le réducteur, et le support de réducteur forment ensemble une transmission ayant une rigidité torsionnelle linéaire efficace. Un produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et de transmission défini comme la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur multipliée par la rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission est supérieur ou égal à $1,6 \times 10^{17} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.
- [0217] L'homme du métier comprendra que des aspects de procédé et de propulseur peuvent être formulés en conséquence, et que des aspects de moteur à turbine à gaz, de procédé et de propulseur pour les autres produits listés ci-dessus peuvent être formulés en conséquence
- [0218] Selon l'un quelconque des aspects précédents, l'un quelconque ou plusieurs quelconques de ce qui suit peut s'appliquer selon ce qui est applicable :
- [0219] La turbine peut être une première turbine, le compresseur un premier compresseur, et l'arbre de cœur un premier arbre de cœur. Le cœur de moteur peut comprendre en outre une deuxième turbine, un deuxième compresseur et un deuxième arbre de cœur raccordant la deuxième turbine au deuxième compresseur. La deuxième turbine, le deuxième compresseur et le deuxième arbre de cœur peuvent être agencés pour tourner à une vitesse de rotation plus élevée que le premier arbre de cœur.
- [0220] Le porte-satellites peut comprendre une plaque avant et une plaque arrière et des broches s'étendant entre elles. Chaque broche peut être agencée pour avoir un engrenage satellite monté sur celle-ci. Le porte-satellites peut comprendre en outre des ergots s'étendant entre les plaques avant et arrière, les ergots étant agencés pour passer

entre des engrenages satellites adjacents.

- [0221] Le réducteur peut comprendre un nombre impair d'engrenages satellites, et éventuellement peut comprendre 3, 5 ou 7 engrenages satellites.
- [0222] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante supérieur à 240 cm et inférieur ou égal à 380 cm, et éventuellement supérieur à 300 cm et inférieur ou égal à 380 cm.
- [0223] L'arbre d'entrée de réducteur peut fournir un montage souple pour l'engrenage solaire de telle sorte qu'un certain mouvement de l'engrenage solaire est facilité. L'arbre de cœur peut comprendre une section plus rigide et une section moins rigide, la section moins rigide fournissant l'arbre d'entrée de réducteur et étant agencée pour se trouver entre la section plus rigide et l'engrenage solaire et étant agencée pour fournir le, ou pour contribuer au, montage souple de l'engrenage solaire.
- [0224] La vitesse de rotation de la soufflante aux conditions de croisière peut être inférieure à 2500 tr/min, et éventuellement inférieure à 2300 tr/min.
- [0225] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante dans la plage allant de 240 cm à 280 cm. Dans de tels modes de réalisation, la vitesse de rotation de la soufflante aux conditions de croisière peut être dans la plage allant de 1700 tr/min à 2500 tr/min, et éventuellement dans la plage allant de 1800 tr/min à 2300 tr/min,
- [0226] La soufflante peut avoir un diamètre de soufflante dans la plage allant de 330 cm à 380 cm. Dans de tels modes de réalisation, la vitesse de rotation de la soufflante aux conditions de croisière peut être dans la plage allant de 1200 tr/min à 2000 tr/min, et éventuellement dans la plage allant de 1300 tr/min à 1800 tr/min.
- [0227] Un rapport d'engrenage du réducteur peut être dans n'importe quelle plage définie ici, par exemple dans la plage allant de 3,2 à 4,5, et éventuellement de 3,3 à 4,0.
- [0228] Une poussée spécifique du moteur en croisière peut être dans la plage allant de 70 à 90 NKg⁻¹s.
- [0229] Un rapport de contournement en croisière peut être dans la plage allant de 12,5 à 18 ; et éventuellement de 13 à 16.
- [0230] Pour n'importe quel paramètre ou rapport de paramètres X décrit ici, une limite sur les valeurs que X peut prendre qui est exprimée par « *X est supérieur ou égal à Y* » peut, selon une autre possibilité, être exprimé par « *1/X est inférieur ou égal à 1/Y* ». N'importe lequel des rapports ou paramètres définis dans les aspects et mentions ci-dessus peut pour cette raison être exprimé par « *1/X est inférieur ou égal à 1/Y* » plutôt que « *X est supérieur ou égal à Y* ». Zéro peut être considéré comme la limite inférieure sur la valeur de 1/X.
- [0231] Divers paramètres du réducteur, et/ou du moteur de manière plus générale, peuvent être ajustés pour permettre au moteur de répondre aux spécifications des divers aspects résumés ci-dessus. Des commentaires sur divers paramètres de ce type sont fournis ci-dessous, avec des exemples de façons selon lesquelles ceux-ci peuvent être ajustés

fournis plus loin dans la description des composants.

- [0232] Par rapport à la taille de réducteur, et en particulier le diamètre de cercle primitif (DCP) de couronne dentée en guise de mesure de taille de réducteur, l'inventeur était conscient qu'un DCP optimal peut être sélectionné en considérant la relation entre une performance améliorée en raison d'une utilisation améliorée de l'effet de levier pour de plus grandes tailles de réducteur, et l'effet d'une traînée accrue pour de plus grandes tailles de réducteur (diminuant les bénéfices de l'effet de levier amélioré de la plus grande taille au-dessus d'un certain DCP, et une taille et un poids accrus de la plus grande taille). Les matériaux de couronne dentée peuvent être sélectionnés pour garantir qu'une densité de couple maximale attendue pour la taille de DCP serait bien à l'intérieur des limites de tolérance.
- [0233] L'homme du métier comprendra que la rigidité d'engrènement d'engrenages peut être contrôlée en sélectionnant un ou plusieurs parmi le matériau de dent et/ou la taille de dent ; en particulier, il peut y avoir un compromis entre la résistance en flexion de dents et la résistance de contact de dents. Une plus grande longueur de dent peut permettre davantage de glissement et en conséquence plus de risque de dommage, tout en fournissant une plus grande zone de contact pour la distribution de charge. Avoir moins de dents, chaque dent étant plus large et plus résistante que pour un engrenage de la même taille avec plus de dents, peut généralement être préféré, avec une limite supérieure sur la taille de dent définie par des considérations de glissement et de désalignement. L'inventeur était conscient qu'une rigidité d'engrènement d'engrenages trop basse peut permettre des vibrations de torsion excessivement grandes, entraînant des désalignements préjudiciables et un dommage potentiel de dent.
- [0234] L'inventeur était conscient que, tandis qu'une rigidité d'engrènement d'engrenages plus basse peut offrir des avantages pour une correction de désalignement, une réduction de la rigidité en dessous des niveaux décrits ici peut entraîner des vibrations de torsion préjudiciables – en particulier, l'homme du métier comprendra que des vibrations torsionnelles avec une faible fréquence modale ont des amplitudes relativement élevées (car le produit de l'amplitude et de la fréquence peut être au moins essentiellement constant / elles peuvent être essentiellement au moins inversement proportionnelles) et doivent être évitées ou réduites pour éviter des déflexions excessives.
- [0235] Un ou plusieurs parmi la taille de réducteur, la géométrie de réducteur (incluant la présence ou l'absence d'ergots dans le porte-satellites, et le nombre, la taille et/ou la forme d'éventuels ergots présents), et le choix de matériau, entre autres facteurs, peuvent être sélectionnés ou ajustés pour obtenir une rigidité souhaitée de porte-satellites. Les matériaux desquels le porte-satellites est constitué (souvent des aciers) peuvent, par exemple, avoir un module de Young dans la plage allant de 100 à 250 GPa, ou 105 à 215 GPa, et éventuellement environ 210 GPa – différents grades

d'acier peuvent être sélectionnés pour obtenir différentes rigidités pour les mêmes taille et géométrie. Par exemple, des aciers avec un module de Young dans la plage 190 à 215 GPa, des alliages de titane avec un module de Young dans la plage 105 à 120 GPa, ou un métal tel que le titane avec un module de Young d'environ 110 GPa peuvent être utilisés dans divers modes de réalisation.

- [0236] La flexibilité du porte-satellites (en réalité l'inverse de la rigidité) permet des changements d'alignement des engrenages et paliers - l'inventeur était conscient qu'une certaine quantité de flexibilité en certains endroits peut avantageusement permettre à des désalignements de fabrication d'être corrigés en cours d'utilisation, qu'un certain désalignement peut être toléré, et qu'un plus grand désalignement pourrait affecter de manière préjudiciable le fonctionnement du moteur, et a trouvé diverses relations de rigidité pour capter les avantages de plages de rigidité appropriées.
- [0237] Un ou plusieurs parmi le diamètre d'arbre, le(s) matériau(x) et l'épaisseur de paroi peuvent être ajustés de façon à obtenir des rigidités d'arbre dans les plages souhaitées.
- [0238] Comme indiqué ailleurs dans le présent document, la présente description peut concerner un moteur à turbine à gaz. Un tel moteur à turbine à gaz peut comprendre un cœur de moteur comprenant une turbine, une chambre de combustion, un compresseur, et un arbre de cœur raccordant la turbine au compresseur. Un tel moteur à turbine à gaz peut comprendre une soufflante (ayant des aubes de soufflante) située en amont du cœur de moteur.
- [0239] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre un réducteur qui reçoit une entrée d'un arbre de cœur et délivre en sortie un entraînement à la soufflante de manière à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation inférieure à celle de l'arbre de cœur. L'entrée vers le réducteur peut être directement à partir de l'arbre de cœur, ou indirectement à partir de l'arbre de cœur, par exemple par l'intermédiaire d'un arbre et/ou engrenage droits. L'arbre de cœur peut solidariser la turbine et le compresseur, de telle sorte que la turbine et le compresseur tournent à la même vitesse (avec la soufflante tournant à une vitesse plus basse).
- [0240] Le moteur à turbine à gaz tel que décrit ici peut avoir n'importe quelle architecture générale appropriée. Par exemple, le moteur à turbine à gaz peut avoir n'importe quel nombre souhaité d'arbres qui relient des turbines et des compresseurs, par exemple un, deux ou trois arbres. À titre d'exemple uniquement, la turbine reliée à l'arbre de cœur peut être une première turbine, le compresseur relié à l'arbre de cœur peut être un premier compresseur, et l'arbre de cœur peut être un premier arbre de cœur. Le cœur de moteur peut comprendre en outre une deuxième turbine, un deuxième compresseur et un deuxième arbre de cœur raccordant la deuxième turbine au deuxième compresseur. La deuxième turbine, le deuxième compresseur et le deuxième arbre de cœur peuvent être agencés pour tourner à une vitesse de rotation plus élevée que le premier arbre de

cœur.

- [0241] Dans un tel agencement, le deuxième compresseur peut être positionné axialement en aval du premier compresseur. Le deuxième compresseur peut être agencé pour recevoir (par exemple recevoir directement, par exemple par l'intermédiaire d'un conduit généralement annulaire) un flux depuis le premier compresseur.
- [0242] Le réducteur peut être agencé pour être entraîné par l'arbre de cœur qui est configuré pour tourner (par exemple en cours d'utilisation) à la vitesse de rotation la plus basse (par exemple le premier arbre de cœur dans l'exemple ci-dessus). Par exemple, le réducteur peut être agencé pour être entraîné uniquement par l'arbre de cœur qui est configuré pour tourner (par exemple en cours d'utilisation) à la vitesse de rotation la plus basse (par exemple être uniquement le premier arbre de cœur, et non le deuxième arbre de cœur, dans l'exemple ci-dessus). En variante, le réducteur peut être agencé pour être entraîné par n'importe quel ou n'importe quels arbre(s), par exemple les premier et/ou deuxième arbres dans l'exemple ci-dessus.
- [0243] Le réducteur peut être une boîte de réduction (en cela que la sortie vers la soufflante présente une vitesse de rotation inférieure à l'entrée depuis l'arbre de cœur). N'importe quel type de réducteur peut être utilisé. Par exemple, le réducteur peut être un réducteur « planétaire » ou « en étoile », tel que décrit d'une manière plus détaillée ailleurs dans le présent document. Le réducteur peut avoir n'importe quel rapport de réduction souhaité (défini comme la vitesse de rotation de l'arbre d'entrée divisée par la vitesse de rotation de l'arbre de sortie), par exemple supérieur à 2,5, par exemple dans la plage de 3 à 4,2 ou de 3,2 à 3,8, par exemple de l'ordre de ou d'au moins 3, 3,1, 3,2, 3,3, 3,4, 3,5, 3,6, 3,7, 3,8, 3,9, 4, 4,1 ou 4,2. Le rapport d'engrenage peut être, par exemple, entre deux quelconques des valeurs dans la phrase précédente. Strictement à titre d'exemple, le réducteur peut être un réducteur en « étoile » ayant un rapport dans la plage allant de 3,1 ou 3,2 à 3,8. Dans certains agencements, le rapport d'engrenage peut être à l'extérieur de ces plages.
- [0244] Dans n'importe quel moteur à turbine à gaz tel que décrit ici, une chambre de combustion peut être fournie axialement en aval de la soufflante et du ou des compresseur(s). Par exemple, la chambre de combustion peut être directement en aval du (par exemple à la sortie du) deuxième compresseur, lorsqu'un deuxième compresseur est fourni. À titre d'exemple supplémentaire, le flux à la sortie vers la chambre de combustion peut être fourni à l'entrée de la deuxième turbine, lorsqu'une deuxième turbine est fournie. La chambre de combustion peut être fournie en amont de la ou des turbine(s).
- [0245] Le ou chaque compresseur (par exemple le premier compresseur et le deuxième compresseur tels que décrits ci-dessus) peut comprendre n'importe quel nombre d'étages, par exemple de multiples étages. Chaque étage peut comprendre une rangée d'aubes de

rotor et une rangée d'aubes de stator, qui peuvent être des aubes de stator variables (en ce que leur angle d'incidence peut être variable). La rangée d'aubes de rotor et la rangée d'aubes de stator peuvent être axialement décalées l'une de l'autre.

[0246] La ou chaque turbine (par exemple la première turbine et la deuxième turbine telles que décrites ci-dessus) peuvent comprendre n'importe quel nombre d'étages, par exemple de multiples étages. Chaque étage peut comprendre une rangée d'aubes de rotor et une rangée d'aubes de stator. La rangée d'aubes de rotor et la rangée d'aubes de stator peuvent être axialement décalées l'une de l'autre.

[0247] Chaque aube de soufflante peut être définie comme ayant une portée radiale s'étendant d'un pied (ou d'un moyeu) au niveau d'un emplacement radialement interne lavé par les gaz, ou position de portée de 0 %, jusqu'à une pointe à une position de portée de 100 %. Le rapport du rayon de l'aube de soufflante au niveau du moyeu au rayon de l'aube de soufflante au niveau de la pointe peut être inférieur à (ou de l'ordre de) l'un quelconque parmi : 0,4, 0,39, 0,38, 0,37, 0,36, 0,35, 0,34, 0,33, 0,32, 0,31, 0,3, 0,29, 0,28, 0,27, 0,26 ou 0,25. Le rapport du rayon de l'aube de soufflante au niveau du moyeu au rayon de l'aube de soufflante au niveau de la pointe peut être inclus dans une plage délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (c'est-à-dire que les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple dans la plage de 0,28 à 0,32. Ces rapports peuvent être couramment désignés le rapport du moyeu à la pointe. Le rayon au niveau du moyeu et le rayon au niveau de la pointe peuvent l'un et l'autre être mesurés au niveau de la partie de bord d'attaque (ou axialement la plus en avant) de l'aube. Le rapport du moyeu à la pointe fait référence, bien sûr, à la partie lavée par les gaz de l'aube de soufflante, c'est-à-dire la partie radialement à l'extérieur de l'une quelconque plate-forme.

[0248] Le rayon de la soufflante peut être mesuré entre la ligne médiane du moteur et la pointe d'une aube de soufflante au niveau de son bord d'attaque. Le diamètre de soufflante (qui peut être simplement deux fois le rayon de la soufflante) peut être supérieur à (ou de l'ordre de) l'un quelconque parmi : 220 cm, 230 cm, 240 cm, 250 cm (environ 100 pouces), 260 cm, 270 cm (environ 105 pouces), 280 cm (environ 110 pouces), 290 cm (environ 115 pouces), 300 cm (environ 120 pouces), 310 cm, 320 cm (environ 125 pouces), 330 cm (environ 130 pouces), 340 cm (environ 135 pouces), 350 cm, 360 cm (environ 140 pouces), 370 cm (environ 145 pouces), 380 cm (environ 150 pouces), 390 cm (environ 155 pouces), 400 cm, 410 cm (environ 160 pouces) ou 420 cm (environ 165 pouces). Le diamètre de la soufflante peut être compris dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (c'est-à-dire que les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple dans la plage de 240 cm à 280 cm ou de 330 cm à 380 cm.

[0249] La vitesse de rotation de la soufflante peut varier en cours d'utilisation. Géné-

ralement, la vitesse de rotation est plus basse pour des soufflantes avec un diamètre plus élevé. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la vitesse de rotation de la soufflante aux conditions de croisière peut être inférieure à 2500 tr/min, par exemple inférieure à 2300 tr/min. Strictement à titre d'exemple non limitatif supplémentaire, la vitesse de rotation de la soufflante aux conditions de croisière pour un moteur ayant un diamètre de soufflante dans la plage de 220 cm à 300 cm (par exemple de 240 cm à 280 cm ou de 250 cm à 270 cm) peut être comprise dans la plage de 1700 tr/min à 2500 tr/min, par exemple dans la plage de 1800 tr/min à 2300 tr/min, par exemple dans la plage de 1900 tr/min à 2100 tr/min. À titre d'exemple non limitatif uniquement, la vitesse de rotation de la soufflante dans des conditions de croisière pour un moteur ayant un diamètre de soufflante dans la plage de 330 cm à 380 cm peut être comprise dans la plage de 1200 tr/min à 2000 tr/min, par exemple dans la plage de 1300 tr/min à 1800 tr/min, par exemple dans la plage de 1400 tr/min à 1800 tr/min.

[0250] En cours d'utilisation du moteur à turbine à gaz, la soufflante (avec les aubes de soufflante associées) tourne autour d'un axe de rotation. Cette rotation résulte en un déplacement de la pointe de l'aube de soufflante avec une vitesse U_{tip} . Le travail effectué par les aubes de soufflante 13 sur le flux conduit à une élévation de l'enthalpie dH du flux. Une charge de pointe de soufflante peut être définie par dH/U_{tip}^2 , où dH est l'augmentation d'enthalpie (par exemple l'augmentation d'enthalpie moyenne 1-D) à travers la soufflante et U_{tip} est la vitesse (de transition) de la pointe de soufflante, par exemple au niveau du bord d'attaque de la pointe (qui peut être défini en tant que rayon de pointe de soufflante au niveau du bord d'attaque multiplié par la vitesse angulaire). La charge de pointe de soufflante aux conditions de croisière peut être supérieure à (ou de l'ordre de) l'un quelconque parmi : 0,28, 0,29, 0,30, 0,31, 0,32, 0,33, 0,34, 0,35, 0,36, 0,37, 0,38, 0,39 ou 0,4. La charge de pointe de soufflante peut être dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (c'est-à-dire que les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple dans la plage de 0,28 à 0,31 ou de 0,29 à 0,3.

[0251] Des moteurs à turbine à gaz conformément à la présente description peuvent avoir n'importe quel rapport de contournement souhaité, où le rapport de contournement est défini comme le rapport du débit massique du flux à travers le conduit de contournement au débit massique du flux à travers le cœur aux conditions de croisière. Dans certains agencements le rapport de contournement peut être supérieur à (ou de l'ordre de) n'importe lequel des suivants : 10, 10,5, 11, 11,5, 12, 12,5, 13, 13,5, 14, 14,5, 15, 15,5, 16, 16,5, 17, 17,5, 18, 18,5, 19, 19,5 ou 20. Le rapport de contournement peut être dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (c'est-à-dire que les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple dans la plage de 12 à 16, de 13 à 15, ou de 13

à 14. Le conduit de contournement peut être sensiblement annulaire. Le conduit de contournement peut être radialement à l'extérieur du moteur de cœur. La surface radialement externe du conduit de contournement peut être définie par une nacelle et/ou un carter de soufflante.

[0252] Le rapport de pression global d'un moteur à turbine à gaz tel que décrit ici peut être défini comme le rapport de la pression totale en amont de la soufflante à la pression totale au niveau de la sortie du compresseur de plus haute pression (avant entrée dans la chambre de combustion). À titre d'exemple non limitatif, le rapport de pression global d'un moteur à turbine à gaz tel que décrit ici en croisière peut être supérieur à (ou de l'ordre de) n'importe lequel des suivants : 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75. Le rapport de pression global peut être dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (c'est-à-dire que les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple dans la plage de 50 à 70.

[0253] La poussée spécifique d'un moteur peut être définie comme la poussée nette du moteur divisée par le débit massique total à travers le moteur. Aux conditions de croisière, la poussée spécifique d'un moteur décrit ici peut être inférieure à (ou de l'ordre de) n'importe laquelle des suivantes : 110 Nkg⁻¹s, 105 Nkg⁻¹s, 100 Nkg⁻¹s, 95 Nkg⁻¹s, 90 Nkg⁻¹s, 85 Nkg⁻¹s ou 80 Nkg⁻¹s. La poussée spécifique peut être dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (c'est-à-dire que les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple dans la plage de 80 Nkg⁻¹s à 100 Nkg⁻¹s, ou de 85 Nkg⁻¹s à 95 Nkg⁻¹s. De tels moteurs peuvent être particulièrement efficaces par comparaison avec des moteurs à turbine à gaz classiques.

[0254] Un moteur à turbine à gaz tel que décrit ici peut avoir n'importe quelle poussée maximale souhaitée. Strictement à titre d'exemple non limitatif, une turbine à gaz telle que décrite ici peut être susceptible de produire une poussée maximale d'au moins (ou de l'ordre de) n'importe laquelle des suivantes : 160 kN, 170 kN, 180 kN, 190 kN, 200 kN, 250 kN, 300 kN, 350 kN, 400 kN, 450 kN, 500 kN ou 550 kN. La poussée maximale peut être une plage incluse délimitée par deux quelconques des valeurs dans la phrase précédente (c'est-à-dire que les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures). À titre d'exemple uniquement, une turbine à gaz telle que décrite ici peut être capable de produire une poussée maximale dans la plage de 330 kN à 420 kN, par exemple de 350 kN à 400 kN. La poussée mentionnée ci-dessus peut être la poussée nette maximale dans des conditions atmosphériques standard au niveau de la mer plus 15 degrés C (pression ambiante de 101,3 kPa, température de 30 degrés C), avec le moteur statique.

[0255] En cours d'utilisation, la température du flux à l'entrée de turbine haute pression peut être particulièrement élevée. Cette température, dite TET, peut être mesurée en sortie

de la chambre de combustion, par exemple immédiatement en amont de la première aube de turbine, qui elle-même peut être appelée aube directrice de tuyère. En conditions de croisière, la TET peut être au moins (ou de l'ordre de) l'une quelconque des valeurs suivantes : 1400 K, 1450 K, 1500 K, 1550 K, 1600 K ou 1650 K. La TET en conditions de croisière peut être dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (c'est-à-dire que les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures). La TET maximale en utilisation du moteur peut être, par exemple, au moins (ou de l'ordre de) l'une quelconque des valeurs suivantes : 1700 K, 1750 K, 1800 K, 1850 K, 1900 K, 1950 K ou 2000 K. La TET maximale peut être dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (c'est-à-dire que les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple dans la plage de 1800 K à 1950 K. La TET maximale peut se produire, par exemple, dans une condition de poussée élevée, par exemple dans une condition de poussée maximale au décollage (PMD).

[0256] Telle qu'elle est utilisée ici, une condition de poussée maximale au décollage (PMD) a la signification classique. Des conditions de poussée maximale au décollage peuvent être définies comme un fonctionnement du moteur dans des conditions de pression et de température au niveau de la mer de l'atmosphère type internationale (ISA) +15 °C à la poussée maximale au décollage en bout de piste, qui est typiquement définie à une vitesse d'aéronef d'environ 0,25 Mn, ou entre environ 0,24 et 0,27 Mn. Des conditions de poussée maximale au décollage pour le moteur peuvent pour cette raison être définies comme un fonctionnement du moteur à une poussée maximale au décollage (par exemple, accélération maximale) pour le moteur à la pression au niveau de la mer et la température d'une atmosphère type internationale (ISA) + 15 °C avec une vitesse d'entrée de soufflante de 0,25 Mn.

[0257] Une partie d'aube de soufflante et/ou de profil aérodynamique d'une aube de soufflante décrite ici peut être fabriquée à partir de n'importe quel matériau ou combinaison de matériaux approprié(e). Par exemple au moins une partie de l'aube de soufflante et/ou du profil aérodynamique peut être fabriquée au moins en partie à partir d'un composite, par exemple un composite à matrice métallique et/ou un composite à matrice organique, tel qu'une fibre de carbone. À titre d'exemple supplémentaire au moins une partie de l'aube de soufflante et/ou du profil aérodynamique peut être fabriquée au moins en partie à partir d'un métal, tel qu'un métal à base de titane ou un matériau à base d'aluminium (tel qu'un alliage aluminium-lithium) ou un matériau à base d'acier. L'aube de soufflante peut comprendre au moins deux régions fabriquées en utilisant des matériaux différents. Par exemple, l'aube de soufflante peut avoir un bord d'attaque protecteur, qui peut être fabriqué en utilisant un matériau qui est plus à même de résister à un impact (par exemple par des oiseaux, de la glace ou un autre

matériau) que le reste de l'aube. Un tel bord d'attaque peut, par exemple, être fabriqué en utilisant du titane ou un alliage à base de titane. Ainsi, strictement à titre d'exemple, l'aube de soufflante peut avoir un corps en fibre de carbone ou à base d'aluminium (tel qu'un alliage aluminium-lithium) avec un bord d'attaque en titane.

- [0258] Une soufflante telle que décrite ici peut comprendre une partie centrale, à partir de laquelle les aubes de soufflante peuvent s'étendre, par exemple dans une direction radiale. Les aubes de soufflante peuvent être reliées à la partie centrale de n'importe quelle manière souhaitée. Par exemple, chaque aube de soufflante peut comprendre un élément de fixation qui peut venir en prise avec une encoche correspondante dans le moyeu (ou disque). Strictement à titre d'exemple, un tel élément de fixation peut être sous la forme d'une queue d'aronde qui peut s'engrainer dans et/ou venir en prise avec une encoche correspondante dans le moyeu/disque afin de fixer l'aube de soufflante au moyeu/disque. À titre d'exemple supplémentaire, les aubes de soufflante peuvent être formées de manière solidaire à une partie centrale. Un tel agencement peut être désigné disque à aubage ou couronne à aubage. N'importe quel procédé approprié peut être utilisé pour fabriquer un tel disque à aubage ou une telle couronne à aubage. Par exemple, au moins une partie des aubes de soufflante peut être usinée à partir d'un bloc et/ou au moins une partie des aubes de soufflante peut être reliée au moyeu/disque par soudure, telle qu'une soudure par friction linéaire.
- [0259] Les moteurs à turbine à gaz décrits ici peuvent être ou non pourvus d'une tuyère à section variable (VAN). Une telle tuyère à section variable peut permettre de faire varier l'aire de sortie du conduit de contournement en cours d'utilisation. Les principes généraux de la présente description peuvent s'appliquer à des moteurs avec ou sans VAN.
- [0260] La soufflante d'une turbine à gaz telle que décrite ici peut avoir n'importe quel nombre souhaité d'aubes de soufflante, par exemple 14, 16, 18, 20, 22, 24 ou 26 aubes de soufflante.
- [0261] Telles qu'elles sont utilisées ici, les conditions de croisière ont la signification classique et seraient aisément comprises par l'homme du métier. Ainsi, pour un moteur à turbine à gaz donné pour un aéronef, l'homme du métier reconnaîtrait immédiatement que des conditions de croisière signifient le point de fonctionnement du moteur à mi-croisière d'une mission donnée (qui peut être désignée dans l'industrie en tant que « mission économique ») d'un aéronef auquel le moteur à turbine à gaz est conçu pour être fixé. En ce sens, la mi-croisière est le point dans un cycle de vol d'aéronef au niveau duquel 50 % du carburant total qui est brûlé entre la fin de la montée et le début de la descente a été brûlé (ce qui peut être approximé par le point médian – en termes de temps et/ou de distance – entre la fin de la montée et le début de la descente. Des conditions de croisière définissent ainsi un point de fonctionnement du moteur à

turbine à gaz qui fournit une poussée qui assurerait un fonctionnement en régime permanent (c'est-à-dire le maintien d'une altitude constante et d'un nombre de Mach constant) à mi-croisière d'un aéronef auquel il est conçu pour être fixé, en tenant compte du nombre de moteurs fournis sur cet aéronef. Par exemple lorsqu'un moteur est conçu pour être fixé à un aéronef qui a deux moteurs du même type, aux conditions de croisière le moteur fournit la moitié de la poussée totale qui serait requise pour un fonctionnement en régime permanent de cet aéronef à mi-croisière.

[0262] En d'autres termes, pour un moteur à turbine à gaz donné pour un aéronef, les conditions de croisière sont définies en tant que point de fonctionnement du moteur qui fournit une poussée spécifiée (requis pour fournir – en combinaison avec n'importe quels autres moteurs sur l'aéronef – un fonctionnement en régime permanent de l'aéronef auquel il est conçu pour être fixé à un nombre de Mach à mi-croisière donné) aux conditions atmosphériques à mi-croisière (définies par l'atmosphère type internationale selon ISO 2533 à l'altitude à mi-croisière). Pour n'importe quel moteur à turbine à gaz donné pour un aéronef, la poussée à mi-croisière, les conditions atmosphériques et le nombre de Mach sont connus, et donc le point de fonctionnement du moteur aux conditions de croisière est clairement défini.

[0263] Strictement à titre d'exemple, la vitesse avant à la condition de croisière peut être n'importe quel point dans la plage allant de Mach 0,7 à 0,9, par exemple 0,75 à 0,85, par exemple 0,76 à 0,84, par exemple 0,77 à 0,83, par exemple 0,78 à 0,82, par exemple 0,79 à 0,81, par exemple de l'ordre de Mach 0,8, de l'ordre de Mach 0,85 ou dans la plage allant de 0,8 à 0,85. N'importe quelle vitesse unique au sein de ces plages peut faire partie de la condition de croisière. Pour un certain aéronef, les conditions de croisière peuvent être à l'extérieur de ces plages, par exemple en dessous de Mach 0,7 ou au-dessus de Mach 0,9.

[0264] Strictement à titre d'exemple, les conditions de croisière peuvent correspondre à des conditions atmosphériques types (selon l'atmosphère type internationale, ISA) à une altitude qui est dans la plage allant de 10 000 m à 15 000 m, par exemple dans la plage allant de 10 000 m à 12 000 m, par exemple dans la plage allant de 10 400 m à 11 600 m (à peu près 38 000 pieds), par exemple dans la plage allant de 10 500 m à 11 500 m, par exemple dans la plage allant de 10 600 m à 11 400 m, par exemple dans la plage allant de 10 700 m (à peu près 35 000 pieds) à 11 300 m, par exemple dans la plage allant de 10 800 m à 11 200 m, par exemple dans la plage allant de 10 900 m à 11 100 m, par exemple de l'ordre de 11 000 m. Les conditions de croisière peuvent correspondre à des conditions atmosphériques types à n'importe quelle altitude donnée dans ces plages.

[0265] Strictement à titre d'exemple, les conditions de croisière peuvent correspondre à un point de fonctionnement du moteur qui fournit un niveau de poussée requis connu (par

exemple une valeur dans la plage allant de 30 kN à 35 kN) à un nombre de Mach avant de 0,8 et des conditions atmosphériques types (selon l'atmosphère type internationale) à une altitude de 38 000 pieds (11 582 m). Strictement à titre d'exemple supplémentaire, les conditions de croisière peuvent correspondre à un point de fonctionnement du moteur qui fournit un niveau de poussée requis connu (par exemple une valeur dans la plage allant de 50 kN à 65 kN) à un nombre de Mach avant de 0,85 et des conditions atmosphériques types (selon l'atmosphère type internationale) à une altitude de 35 000 pieds (10 668 m).

- [0266] En cours d'utilisation, un moteur à turbine à gaz décrit ici peut fonctionner aux conditions de croisière définies ailleurs dans le présent document. De telles conditions de croisière peuvent être déterminées par les conditions de croisière (par exemple les conditions à mi-croisière) d'un aéronef auquel au moins un (par exemple 2 ou 4) moteur à turbine à gaz peut être monté afin de fournir une poussée de propulsion.
- [0267] Selon un aspect, on fournit un aéronef comprenant un moteur à turbine à gaz tel que décrit ici. L'aéronef selon cet aspect est l'aéronef pour lequel le moteur à turbine à gaz a été conçu pour être fixé. Ainsi, les conditions de croisière selon cet aspect correspondent à la mi-croisière de l'aéronef, telle que définie ailleurs dans le présent document.
- [0268] Selon un aspect, on fournit un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz tel que décrit ici. Le fonctionnement peut être aux conditions de croisière telles que définies ailleurs dans le présent document (par exemple en termes de poussée, de conditions atmosphériques et de nombre de Mach).
- [0269] Selon un aspect, on fournit un procédé de fonctionnement d'un aéronef comprenant un moteur à turbine à gaz tel que décrit ici. Le fonctionnement selon cet aspect peut inclure (ou peut être) un fonctionnement à la mi-croisière de l'aéronef, tel que défini ailleurs dans le présent document.
- [0270] Tandis que dans les agencements décrits ici la source d'entraînement pour la soufflante de propulsion est fournie par un moteur à turbine à gaz, l'homme du métier aura à l'esprit l'applicabilité des configurations de réducteur décrites ici à d'autres formes de propulseur d'aéronef comprenant des types d'entraînement alternatifs. Par exemple, les agencements de réducteur précités peuvent être utilisés dans des propulseurs d'aéronef comprenant une soufflante de propulsion entraînée par un moteur électrique. Dans de telles circonstances, le moteur électrique peut être configuré pour fonctionner à des vitesses de rotation plus élevées et ainsi peut avoir un plus faible diamètre de rotor et peut être à plus haute densité de puissance. Les configurations de réducteur des aspects susmentionnés peuvent être employées pour réduire la vitesse de rotation d'entrée pour la soufflante ou l'hélice pour lui permettre de fonctionner à un régime à rendement plus favorable. Ainsi, selon un aspect, on fournit une unité de

propulsion électrique pour un aéronef, comprenant une machine électrique configurée pour entraîner une soufflante de propulsion via un réducteur, le réducteur et/ou ses entrée/sortie/supports étant tels que décrits ici.

- [0271] L'homme du métier comprendrait que, sauf exclusivité mutuelle, une caractéristique ou un paramètre décrit en relation avec l'un quelconque des aspects ci-dessus peut être appliqué à tout autre aspect. Par ailleurs, sauf exclusivité mutuelle, toute caractéristique ou tout paramètre décrit ici peut être appliqué à tout aspect et/ou associé à toute autre caractéristique ou tout autre paramètre décrit ici.
- [0272] Des modes de réalisation vont maintenant être décrits à titre d'exemple uniquement, en référence aux Figures, sur lesquelles :
- [0273] [Fig.1] est une vue latérale en coupe d'un moteur à turbine à gaz ;
- [0274] [Fig.2] est une vue latérale en coupe rapprochée d'une partie amont d'un moteur à turbine à gaz ;
- [0275] [Fig.3] est une vue partiellement écorchée d'un réducteur pour un moteur à turbine à gaz ;
- [0276] [Fig.4] est un diagramme schématique illustrant des ajustements automatiques de partage de charge ;
- [0277] [Fig.5] est un diagramme schématique illustrant la rigidité torsionnelle d'une poutre en porte-à-faux ;
- [0278] [Fig.6] est un diagramme schématique illustrant la rigidité d'engrènement d'engrenages ;
- [0279] [Fig.7] est une vue latérale d'un porte-satellites illustrant la rigidité torsionnelle ;
- [0280] [Fig.8] est une vue de face d'un porte-satellites différent de celui montré sur la [Fig.7], illustrant la rigidité torsionnelle du porte-satellites ;
- [0281] [Fig.9] est une vue de face du porte-satellites de la [Fig.8], illustrant la rigidité torsionnelle ;
- [0282] [Fig.10] est une vue de face/en coupe d'un porte-satellites comprenant des ergots ;
- [0283] [Fig.11] est un diagramme schématique illustrant la rigidité globale d'engrènement de réducteur ;
- [0284] [Fig.12] est une vue latérale en coupe d'un moteur, illustrant la transmission ;
- [0285] [Fig.13] est une vue latérale en coupe d'un moteur, illustrant l'arbre de cœur, et plus particulièrement l'arbre d'entrée de réducteur ;
- [0286] [Fig.14] est un diagramme schématique illustrant la rigidité torsionnelle de l'arbre d'entrée de réducteur
- [0287] [Fig.15] est un diagramme schématique illustrant le raccordement de l'arbre de soufflante à un réducteur en étoile ;
- [0288] [Fig.16] est un diagramme schématique illustrant le raccordement de l'arbre de soufflante à un réducteur planétaire ;

- [0289] [Fig.17] est un diagramme schématique illustrant la rigidité torsionnelle d'arbre de soufflante dans un moteur avec un réducteur en étoile ;
- [0290] [Fig.18] est un diagramme schématique illustrant une partie d'un moteur avec un réducteur en étoile ;
- [0291] [Fig.19] est un graphique de déplacement en fonction de la charge, illustrant une région élastique au sein de laquelle des rigidités de composants peuvent être déterminées ;
- [0292] [Fig.20] inclut une vue latérale et une vue de face/radiale du support de réducteur illustrant la rigidité torsionnelle du support de réducteur ; et
- [0293] [Fig.21] illustre un procédé.
- [0294] La [Fig.1] illustre un moteur à turbine à gaz 10 ayant un axe de rotation principal 9. Le moteur 10 comprend une admission d'air 12 et une soufflante de propulsion 23 qui génère deux flux d'air : un flux d'air de cœur A et un flux d'air de contournement B. Le moteur à turbine à gaz 10 comprend un cœur 11 qui reçoit le flux d'air A. Le cœur de moteur 11 comprend, en série de flux axial, un compresseur basse pression 14, un compresseur haute pression 15, un équipement de combustion 16, une turbine haute pression 17, une turbine basse pression 19 et une tuyère d'échappement de cœur 20. Une nacelle 21 entoure le moteur à turbine à gaz 10 et définit un conduit de contournement 22 et une tuyère d'échappement de contournement 18. Le flux d'air de contournement B s'écoule à travers le conduit de contournement 22. La soufflante 23 est fixée à, et entraînée par, la turbine basse pression 19 par l'intermédiaire d'un arbre 26 et d'un réducteur épicycloïdal 30.
- [0295] En cours d'utilisation, le flux d'air de cœur A est accéléré et comprimé par le compresseur basse pression 14 et dirigé dans le compresseur haute pression 15 où une compression supplémentaire a lieu. L'air comprimé évacué du compresseur haute pression 15 est dirigé dans l'équipement de combustion 16 où il est mélangé à du carburant et le mélange est brûlé. Les produits de combustion chauds résultants se dilatent alors, et entraînent de ce fait, les turbines haute pression et basse pression 17, 19 avant d'être évacués à travers la tuyère 20 pour fournir une certaine poussée de propulsion. La turbine haute pression 17 entraîne le compresseur haute pression 15 par un arbre d'interconnexion approprié 27. La soufflante 23 fournit généralement la majorité de la poussée de propulsion. Le réducteur épicycloïdal 30 est une boîte de réduction.
- [0296] Un agencement donné à titre d'exemple pour un moteur à turbine à gaz à soufflante à engrenages 10 est montré sur la [Fig.2]. La turbine basse pression 19 (voir [Fig.1]) entraîne l'arbre 26, qui est couplé à une roue solaire, ou engrenage solaire, 28 de l'agencement d'engrenage épicycloïdal 30. Radialement vers l'extérieur de l'engrenage solaire 28 et s'engrenant avec celui-ci, il y a une pluralité d'engrenages satellites 32 qui

sont couplés ensemble par un porte-satellites 34. Le porte-satellites 34 force les engrenages satellites 32 à changer d'orientation autour de l'engrenage solaire 28 en synchronisme tout en permettant à chaque engrenage satellite 32 de tourner autour de son propre axe. Le porte-satellites 34 est couplé par l'intermédiaire de liaisons 36 à la soufflante 23 afin d'entraîner sa rotation autour de l'axe de moteur 9. Radialement vers l'extérieur des engrenages satellites 32 et s'engrenant avec ceux-ci, il y a un anneau ou couronne dentée 38 qui est accouplé, par l'intermédiaire de liaisons 40, à une structure de support stationnaire 24.

[0297] Les liaisons 36 peuvent être désignées arbre de soufflante 36, l'arbre de soufflante 36 comprenant éventuellement deux parties d'arbre 36a, 36b ou plus couplées ensemble. Par exemple, l'arbre de soufflante 36 peut comprendre une partie d'arbre de sortie de réducteur 36a s'étendant à partir du réducteur 30 et une partie de soufflante 36b s'étendant entre la partie d'arbre de sortie de réducteur et la soufflante 23. Dans le mode de réalisation montré sur les Figures 1 et 2, le réducteur 30 est un réducteur planétaire et la partie d'arbre de sortie de réducteur 36a est raccordée au porte-satellites 34 – elle peut pour cette raison être désignée arbre de sortie de porte-satellite 36a. Dans des réducteurs en étoile 30, la partie d'arbre de sortie de réducteur 36a peut être raccordée à la couronne dentée 38 – elle peut pour cette raison être désignée arbre de sortie de couronne 36a. Dans le mode de réalisation montré sur les Figures 1 et 2, la partie de soufflante 36b de l'arbre de soufflante 36 raccorde la partie d'arbre de sortie de réducteur 36a à la soufflante 23. La sortie du réducteur 30 est pour cette raison transférée à la soufflante 23, pour faire tourner la soufflante, via l'arbre de soufflante 36. Dans des variantes de réalisation, l'arbre de soufflante 36 peut comprendre un composant unique, ou plus de deux composants. Sauf indication contraire ou lorsque c'est apparent pour l'homme du métier, n'importe quelle chose décrite par rapport à un moteur 10 avec un réducteur en étoile 30 peut de manière égale être appliquée à un moteur avec un réducteur planétaire 30, et inversement.

[0298] Il convient de noter que les termes « turbine basse pression » et « compresseur basse pression » tels qu'ils sont utilisés ici peuvent être pris pour indiquer les étages de turbine de plus basse pression et les étages de compresseur de plus basse pression (c'est-à-dire n'incluant pas la soufflante 23) respectivement et/ou les étages de turbine et de compresseur qui sont reliés ensemble par l'arbre d'interconnexion 26 avec la vitesse de rotation la plus basse dans le moteur (c'est-à-dire n'incluant pas l'arbre de sortie de réducteur qui entraîne la soufflante 23). Dans une certaine littérature, la « turbine basse pression » et le « compresseur basse pression » auxquels il est fait référence ici peuvent en variante être connus sous le nom de « turbine à pression intermédiaire » et « compresseur à pression intermédiaire ». Lorsqu'une telle nomenclature alternative est utilisée, la soufflante 23 peut être désignée premier étage de com-

pression ou étage de compression de plus basse pression.

[0299] Le réducteur épicycloïdal 30 est montré à titre d'exemple de façon plus détaillée sur la [Fig.3]. Chacun parmi l'engrenage solaire 28, les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38 comprend des dents autour de sa périphérie pour s'engrener avec les autres engrenages. Cependant, pour la clarté, seules des parties données à titre d'exemple des dents sont illustrées sur la [Fig.3]. Il y a quatre engrenages satellites 32 illustrés, bien qu'il sera apparent au lecteur spécialiste que plus ou moins d'engrenages satellites 32 puissent être fournis dans le champ d'application de l'invention. Des applications pratiques d'un réducteur épicycloïdal planétaire 30 comprennent généralement au moins trois engrenages satellites 32.

[0300] Le réducteur épicycloïdal 30 illustré à titre d'exemple sur les Figures 2 et 3 est du type planétaire, en ce que le porte-satellites 34 est couplé à un arbre de sortie par l'intermédiaire de liaisons 36, avec la couronne dentée 38 fixe. Cependant, n'importe quel autre type approprié de réducteur épicycloïdal 30 peut être utilisé. À titre d'exemple supplémentaire, le réducteur épicycloïdal 30 peut être un agencement en étoile, dans lequel le porte-satellites 34 est maintenu fixe, avec la couronne (ou anneau) dentée 38 autorisée à tourner. Dans un tel agencement, la soufflante 23 est entraînée par la couronne dentée 38. À titre d'autre exemple alternatif, le réducteur 30 peut être un réducteur différentiel dans lequel la couronne dentée 38 et le porte-satellites 34 sont l'un et l'autre autorisés à tourner.

[0301] On aura à l'esprit que l'agencement montré sur les Figures 2 et 3 est à titre d'exemple uniquement, et que diverses alternatives sont dans le champ d'application de la présente description. Strictement à titre d'exemple, n'importe quel agencement approprié peut être utilisé pour positionner le réducteur 30 dans le moteur 10 et/ou pour relier le réducteur 30 au moteur 10. À titre d'exemple supplémentaire, les connexions (telles que les liaisons 36, 40 sur l'exemple de la [Fig.2]) entre le réducteur 30 et d'autres parties du moteur 10 (telles que l'arbre d'entrée 26, l'arbre de sortie et la structure fixe 24) peuvent avoir n'importe quel degré souhaité de rigidité ou de flexibilité. À titre d'exemple supplémentaire, n'importe quel agencement approprié des paliers entre des parties rotatives et stationnaires du moteur (par exemple entre les arbres d'entrée et de sortie depuis le réducteur et les structures fixes, telles que le carter de réducteur) peut être utilisé, et la description n'est pas limitée à l'agencement donné à titre d'exemple de la [Fig.2]. Par exemple, lorsque le réducteur 30 a un agencement en étoile (décrit ci-dessus), l'homme du métier comprendrait aisément que l'agencement des liaisons de sortie et de support et des emplacements de palier serait typiquement différent de celui montré à titre d'exemple sur la [Fig.2].

[0302] Ainsi, la présente description s'étend à un moteur à turbine à gaz ayant n'importe quel agencement de styles de réducteur (par exemple en étoile ou planétaire), de structures

de support, d'agencement d'arbres d'entrée et de sortie, et d'emplacements de palier.

[0303] Éventuellement, le réducteur peut entraîner des composants supplémentaires et/ou alternatifs (par exemple le compresseur à pression intermédiaire et/ou un surpresseur).

[0304] D'autres moteurs à turbine à gaz auxquels la présente description peut être appliquée peuvent avoir des configurations alternatives. Par exemple, de tels moteurs peuvent avoir un autre nombre de compresseurs et/ou de turbines et/ou un autre nombre d'arbres d'interconnexion. À titre d'exemple supplémentaire, le moteur à turbine à gaz montré sur la [Fig.1] a une tuyère à flux divisé 18, 20 ce qui signifie que le flux à travers le conduit de contournement 22 a sa propre tuyère 18 qui est indépendante de, et radialement à l'extérieur de, la tuyère de moteur de cœur 20. Cependant, ceci n'est pas limitant, et n'importe quel aspect de la présente description peut également s'appliquer à des moteurs dans lesquels le flux à travers le conduit de contournement 22 et le flux à travers le cœur 11 sont mélangés, ou combinés, avant (ou en amont de) une tuyère unique, qui peut être dénommée tuyère à flux mélangé. L'une et/ou l'autre des tuyères (qu'elles soient à flux mélangé ou divisé) peuvent avoir une aire fixe ou variable. Alors que l'exemple décrit se rapporte à un turboréacteur à double flux, la description peut s'appliquer, par exemple, à n'importe quel type de moteur à turbine à gaz, tel qu'un rotor ouvert (dans lequel l'étage de soufflante n'est pas entouré par une nacelle) ou un turbopropulseur, par exemple.

[0305] La géométrie du moteur à turbine à gaz 10, et des composants de celui-ci, est définie par un système d'axes classique, comprenant une direction axiale (qui est alignée sur l'axe de rotation 9), une direction radiale (dans la direction du bas vers le haut sur la [Fig.1]) et une direction circonférentielle (perpendiculaire à la page sur la vue de la [Fig.1]). Les directions axiale, radiale et circonférentielle sont mutuellement perpendiculaires.

[0306] Dans l'agencement décrit, le porte-satellites 34 comprend deux plaques 34a, 34b ; en particulier une plaque avant 34a et une plaque arrière 34b. Chaque plaque 34a, 34b s'étend dans un plan radial, avec la plaque avant 34a se trouvant plus à l'avant dans le moteur 10 / plus près de la soufflante 23 que la plaque arrière 34b.

[0307] Le porte-satellites 34 peut prendre n'importe quelle forme appropriée. Par exemple, le porte-satellites peut être ou non symétrique autour de son point médian axial. Strictement à titre d'exemple, dans l'agencement décrit, le porte-satellites 34 n'est pas symétrique autour de son point médian axial, mais à la place la plaque arrière 34b est plus rigide que la plaque avant 34a (par exemple de 50 à 300 %) pour compenser une variation de couple asymétrique à travers le réducteur 30. Dans certains modes de réalisation, aucune plaque avant 34a ne peut être fournie, ou seulement une plus petite plaque avant 34a. Dans certains modes de réalisation, les plaques 34a, 34b du porte-satellites 34 peuvent avoir des rigidités égales (par exemple, dans divers agencements

de réducteur planétaire ; des plaques arrière 34b plus rigides peuvent être préférées dans certains agencements de réducteur en étoile).

- [0308] Une pluralité de broches 33 s'étendent à travers le porte-satellites 34 (entre les plaques avant et arrière 34a, b dans l'agencement qui est décrit), comme montré, par exemple, sur les Figures 7 à 10. Les broches 33 forment une partie du porte-satellites 34. Chaque broche 33 a un engrenage satellite 34 monté sur celle-ci.
- [0309] La rigidité de porte-satellites dans une région au niveau de chacune des extrémités avant et arrière de chaque broche 33 est conçue pour être relativement basse dans les modes de réalisation qui sont décrits, pour faciliter une distribution de charge plus régulière ; c'est-à-dire pour améliorer le facteur de partage de charge. Cela peut être décrit en tant que montages souples pour chaque broche 33. Les montages souples 33a, 33b peuvent permettre un certain mouvement des broches 33 les unes par rapport aux autres, et par rapport aux plaques de porte-satellites 34a, 34b, ce qui permet à des différences entre les engrenages satellites 34, ou d'autres défauts de fabrication, d'être prises en compte sans différence significative de charge entre différents engrenages satellites 34. Dans divers modes de réalisation, les montages souples 34a, 34b peuvent être fournis par une partie de la broche 33, par un composant indépendant, et/ou par une partie de la plaque de porte-satellites 34a, 34b respective.
- [0310] Les montages souples 34a, 34b peuvent être conçus pour s'adapter à des mouvements pour traiter un ou plusieurs parmi la précision et le jeu de positionnement du palier de porte-satellites, l'excentricité de broche de satellite de la surface de palier par rapport à la ou aux caractéristique(s) de montage, l'excentricité des dents d'engrenage satellite par rapport au palier, la variation/les tolérances de fabrication d'espacement et d'épaisseur des dents d'engrenage satellite, la variation/les tolérances de fabrication d'espacement et d'épaisseur des dents d'engrenage solaire, et/ou la précision et le jeu de positionnement du palier de ligne principale d'arbre d'entrée de réducteur, ou similaires. Par exemple, dans divers modes de réalisation les montages souples 34a, 34b peuvent être agencés pour permettre environ 500 μm de mouvement de broche.
- [0311] La taille, la conception et/ou le matériau de broche peuvent être ajustés pour fournir des rigidités appropriées au porte-satellites 34. Dans certains agencements, tels que celui montré sur la [Fig.10], des ergots 34c sont fournis, s'étendant entre les plaques de porte-satellites 34a, 34b et au-delà des engrenages satellites 32. La présence/absence d'ergots 34c, et le nombre, la forme et/ou le(s) matériau(x) du ou des ergot(s) peuvent varier dans divers modes de réalisation, et peuvent être ajustés pour fournir des rigidités appropriées au porte-satellites 34.
- [0312] L'utilisation de flexibilité au sein du réducteur 30 pour améliorer le partage de charge est illustrée schématiquement sur la [Fig.4], qui montre un réducteur planétaire 30 avec trois engrenages satellites 32a, 32b, 32c. Dans cet exemple, l'engrenage solaire 28 est

légèrement décentré par rapport à la couronne dentée 38, et en particulier est plus près de deux engrenages satellites 32a et 32b qu'il ne l'est par rapport au troisième engrenage satellite 32c. Dans l'exemple schématique montré, il n'y a aucun contact entre le troisième engrenage satellite 32c, laissant les deux autres engrenages satellites 32a, 32b prendre 50 % de la charge chacun, plutôt qu'environ 33 %. Cet exemple relativement extrême est fourni pour la facilité de référence uniquement – dans la réalité, des situations dans lesquelles un contact avec un engrenage satellite 32c est réduit, mais pas complètement éliminé, seraient plus probables, par exemple donnant un pourcentage de partage de charge de 20:40:40 ou 26:37:37 ou 31:34:34 ou similaires plutôt que le partage de charge uniforme idéal de 1/3:1/3:1/3 (c'est-à-dire 33:33:33 en tant que pourcentage de partage de charge, arrondi au nombre entier le plus proche).

- [0313] Dans l'exemple montré sur la [Fig.4], chacun des deux engrenages satellites 32a, 32b en contact avec l'engrenage solaire 28 exerce une force F_a , F_b sur l'engrenage solaire 28. La force résultante, F_R , sur l'engrenage solaire 28 pousse l'engrenage solaire 28 en direction du troisième engrenage satellite 32c, ce qui rétablit un contact et rend le partage de charge entre satellites 32 plus uniforme. Un montage souple de l'engrenage solaire 28/une flexibilité dans l'arbre d'entrée de cœur 26 facilite ce ré-équilibre. De tels montages souples de l'engrenage solaire 28 peuvent être conçus pour s'adapter à des mouvements pour traiter un ou plusieurs parmi la précision et le jeu de positionnement de palier de porte-satellites, la variation d'espacement et d'épaisseur des dents d'engrenages solaires et/ou satellites, et/ou la précision et le jeu de positionnement du palier de ligne principale d'arbre d'entrée de réducteur, ou similaires. Par exemple, dans divers modes de réalisation un tel montage souple peut être agencé pour permettre environ 1000 μm de mouvement d'engrenage solaire.
- [0314] L'homme du métier comprendra qu'un effet similaire s'appliquerait si l'un des engrenages satellites 32 était plus près de l'engrenage solaire 28 que les autres ; poussant l'engrenage satellite 32 pertinent vers l'arrière en direction de la couronne dentée 38, ou si l'un des engrenages satellites 32 était plus grand ou plus petit que les autres. Un montage souple des broches 33/une flexibilité dans le porte-satellites 34 facilite ce ré-équilibre. Le fait d'avoir un nombre impair d'engrenages satellites 32 (par exemple 3, 5 ou 7 engrenages satellites) peut faciliter cette redistribution automatique de partage de charge.
- [0315] De petites variations entre engrenages satellites 32 et/ou des désalignements de broches 33 ou arbres 26 peuvent pour cette raison être pris en compte par la flexibilité au sein du réducteur 30.
- [0316] Les définitions générales suivantes de rigidités et d'autres paramètres peuvent être utilisées ici :

[0317] *Rigidité torsionnelle*

[0318] La [Fig.5] illustre la définition de la rigidité torsionnelle d'un arbre 401 ou autre corps. Un couple, τ , appliqué à l'extrémité libre de la poutre amène une déformation de rotation, θ (par exemple une torsion) sur la longueur de la poutre. La rigidité torsionnelle est le couple appliqué pour un angle de torsion donné c'est-à-dire τ/θ . La rigidité torsionnelle a des unités SI de Nm/rad.

[0319] Une rigidité torsionnelle linéaire efficace peut être déterminée pour un composant ayant un rayon donné. La rigidité torsionnelle linéaire efficace est définie en termes d'une force tangentielle équivalente appliquée à un point sur ce rayon (avec la grandeur du couple divisée par le rayon) et la distance δ (avec la grandeur du rayon multipliée par θ) parcourue par un point correspondant à la déformation rotationnelle θ du composant.

[0320] *Diamètre de réducteur*

[0321] Tel qu'il est utilisé ici, le diamètre de réducteur est le diamètre de la couronne dentée 38, et plus spécifiquement le diamètre de cercle primitif (DCP) de la couronne dentée 38. L'homme du métier comprendra que le diamètre de couronne dentée limite un diamètre minimal du réducteur 30, et est représentatif de la taille de réducteur. La taille et la forme d'un carter de réducteur à l'extérieur du diamètre de couronne dentée peuvent varier en fonction des matériaux, des résistances requises, de l'espace disponible, des emplacements de systèmes auxiliaires et similaires. Le DCP de la couronne dentée 38 est pour cette raison considéré comme une mesure plus significative et transférable de la taille du réducteur 30 qu'une étendue d'un carter.

[0322] Le cercle primitif d'un engrenage est un cercle imaginaire qui roule sans glissement avec le cercle primitif de n'importe quel autre engrenage avec lequel le premier engrenage est engrené. Le cercle primitif passe à travers les points où les dents de deux engrenages se rencontrent à mesure que les engrenages engrenés tournent – le cercle primitif d'un engrenage passe généralement par un point médian de la longueur des dents de l'engrenage. Le DCP peut être grossièrement estimé en prenant la moyenne du diamètre entre les pointes des dents d'engrenage et le diamètre entre les bases des dents d'engrenage. Dans divers modes de réalisation le DCP de la couronne dentée 38, qui peut également être représenté comme un diamètre du réducteur 30, peut être d'environ 0,55 à 1,2 m, et éventuellement dans la plage allant de 0,57 à 1,0 m.

[0323] *Rigidité d'engrènement d'engrenages*

[0324] Une rigidité d'engrènement d'engrenages est définie comme la résistance à la déformation causée par la force de contact agissant sur les dents des engrenages le long de la ligne d'action de la force de contact. Le concept de la rigidité d'engrènement d'engrenages est illustré sur la [Fig.6], qui montre deux engrenages 402, 403 qui s'engrènent conjointement de sorte qu'une rotation du premier engrenage 402 entraîne

la rotation du deuxième 403. La force de contact entre eux agit le long d'une ligne d'action 404. La ligne d'action 404 est une tangente commune au cercle de base 405, 406 de l'un et l'autre des engrenages 402, 403. Les cercles de base 405, 406 sont définis comme les cercles à partir desquels la forme de développante des dents est définie comme il serait compris par l'homme du métier. La rigidité d'engrènement d'engrenages est exprimée en tant que rigidité linéaire le long de la ligne d'action de la force de contact, et est considérée comme une valeur moyennée sur la révolution d'au moins l'un des engrenages respectifs 402, 403 (éventuellement une révolution complète de l'engrenage avec la plupart des dents dans des modes de réalisation dans lesquels les nombres de dents ne sont pas égaux), et éventuellement sur un cycle complet du réducteur revenant à sa position initiale.

[0325] La rigidité d'engrènement d'engrenages est un paramètre standard utilisé dans une large mesure dans le domaine des réducteurs, et serait comprise par l'homme du métier.

[0326] La rigidité d'engrènement d'engrenages est évaluée en isolement du porte-satellites 34 – le porte-satellites 34 est traité comme étant raide (infiniment rigide) / la rigidité du porte-satellites 34 est ignorée, de façon à évaluer la contribution à la rigidité à partir des engrènements d'engrenages uniquement. La rigidité d'engrènement d'engrenages d'une paire d'engrenages, ou la rigidité globale d'engrènement d'engrenages d'un réducteur 30, peut être représentée comme une résistance au mouvement lorsque l'arbre de sortie 36 est maintenu stationnaire tandis que l'arbre d'entrée 26 est mis en rotation.

[0327] Des définitions plus spécifiques de rigidités se rapportant à des modes de réalisation décrits ici sont fournies ci-dessous pour la facilité de compréhension.

Rigidité torsionnelle de porte-satellites

[0328] Le porte-satellites 34 maintient les engrenages satellites 32 en place. Dans divers agencements incluant le mode de réalisation qui est décrit, le porte-satellites 34 comprend une plaque avant 34a et une plaque arrière 34b, et des broches 33 s'étendant entre les plaques, comme illustré sur les Figures 7 à 10. Les broches 33 sont agencées pour être parallèles à l'axe de moteur 9. Dans des variantes de réalisation, une plaque 34b peut être fournie uniquement sur un côté - aucune plaque ou seulement une plaque partielle peut être fournie sur l'autre côté du porte-satellites 34. Dans le mode de réalisation montré sur la [Fig.10], le porte-satellites 34 comprend en outre des ergots 34c, qui peuvent également être dénommés coins ou flasque, entre les plaques avant et arrière 34a, 34b. Les ergots 34c peuvent augmenter la rigidité globale du porte-satellites 34.

[0329] La rigidité du porte-satellites 34 est sélectionnée pour être relativement élevée pour réagir à des forces centrifuges et/ou pour maintenir un alignement d'engrenages. L'homme du métier comprendra que la rigidité est une mesure du déplacement qui

résulte de n'importe quels forces ou moments appliqués, et peut ne pas se rapporter à une résistance du composant. En conséquence, pour réagir à une charge élevée, n'importe quelle rigidité est acceptable pour autant que le déplacement résultant soit tolérable. L'ampleur de rigidité souhaitée pour maintenir un déplacement dans des limites acceptables dépend pour cette raison de la position et de l'orientation des engrenages, ce qui est généralement désigné alignement (ou désalignement) d'engrenages.

- [0330] La rigidité torsionnelle de porte-satellites est une mesure de la résistance du porte-satellites 34 à un couple appliqué, τ , comme illustré sur la [Fig.7] (coupe transversale axiale) et les Figures 8 à 10 (coupe transversale radiale). L'axe du couple est parallèle à l'axe de moteur 9. Les lignes diagonales de la plaque 34b à l'extrémité arrière du porte-satellites 30 sur la [Fig.7] indiquent que la plaque 34b est traitée comme raide et non rotative (comme pour un montage de poutre en porte-à-faux). Dans des modes de réalisation avec une seule plaque 34a, les extrémités des broches 33 (et des ergots 34c s'ils sont présents) plus éloignées de la plaque unique 34a sont plutôt maintenues en place.
- [0331] Le couple, τ , est appliqué au porte-satellites 34 (à la position du point médian axial de la plaque avant 34a) et amène une déformation rotationnelle, θ (par exemple une torsion) sur la longueur du porte-satellites 34. La torsion amène le porte-satellites 34 à « s'enrouler » à mesure que les extrémités des broches 33 (et des ergots 34c s'ils sont présents) sont maintenues à un rayon fixe sur les plaques de porte-satellites 34a, 34b. L'angle selon lequel un point sur un cercle imaginaire 902 sur la plaque avant 34a passant à travers l'axe longitudinal de chaque broche 33 se déplace est θ , où θ est l'angle mesuré en radians. Le cercle imaginaire 902 peut être désigné diamètre de cercle primitif de broche (DCP de broche). Dans divers modes de réalisation, le DCP de broche peut être dans la plage allant de 0,38 à 0,65 m, par exemple étant égal à 0,4 m ou 0,55 m. Une rigidité torsionnelle linéaire efficace peut pour cette raison être définie pour le porte-satellites 34 comme décrit ci-dessus, en utilisant le rayon r du cercle imaginaire 902 (par exemple comme illustré sur la [Fig.8]).
- [0332] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle du porte-satellites 34 est supérieure ou égale à $1,60 \times 10^8$ Nm/rad, et éventuellement supérieure ou égale à $2,7 \times 10^8$ Nm/rad. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité torsionnelle du porte-satellites 34 peut être supérieure ou égale à $1,8 \times 10^8$ Nm/rad, et éventuellement peut être supérieure ou égale à $2,5 \times 10^8$ Nm/rad (et éventuellement peut être égale à $4,83 \times 10^8$ Nm/rad). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle du porte-satellites 34 peut être supérieure ou égale à $6,0 \times 10^8$ Nm/rad et éventuellement peut être supérieure ou

égale à $1,1 \times 10^9$ Nm/rad (et éventuellement peut être égale à $2,17 \times 10^9$ Nm/rad).

- [0333] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle du porte-satellites 34 est dans la plage allant de $1,60 \times 10^8$ à $1,00 \times 10^{11}$ Nm/rad, et éventuellement dans la plage allant de $2,7 \times 10^8$ à 1×10^{10} Nm/rad. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité torsionnelle du porte-satellites 34 peut être dans la plage allant de $1,8 \times 10^8$ à $4,8 \times 10^9$ Nm/rad, et éventuellement peut être dans la plage allant de $2,5 \times 10^8$ à $6,5 \times 10^8$ Nm/rad (et éventuellement peut être égale à $4,83 \times 10^8$ Nm/rad). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle du porte-satellites 34 peut être dans la plage allant de $6,0 \times 10^8$ à $2,2 \times 10^{10}$ Nm/rad et éventuellement peut être dans la plage allant de $1,1 \times 10^9$ à $3,0 \times 10^9$ Nm/rad (et éventuellement peut être égale à $2,17 \times 10^9$ Nm/rad).
- [0334] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites 34 peut être supérieure ou égale à $7,00 \times 10^9$ N/m, et éventuellement supérieure ou égale à $9,1 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites 34 peut être supérieure ou égale à $7,70 \times 10^9$ N/m. Dans d'autres modes de réalisation de ce type, la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites 34 peut être supérieure ou égale à $9,1 \times 10^9$ N/m, éventuellement supérieure ou égale à $1,1 \times 10^{10}$ N/m (et éventuellement peut être égale à $1,26 \times 10^{10}$ N/m). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites 34 peut être supérieure ou égale à $1,2 \times 10^{10}$ N/m et éventuellement peut être supérieure ou égale à $2,1 \times 10^{10}$ N/m (et éventuellement peut être égale à $2,88 \times 10^{10}$ N/m).
- [0335] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites 34 peut être dans la plage allant de $7,00 \times 10^9$ à $1,20 \times 10^{11}$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $9,1 \times 10^9$ à $8,0 \times 10^{10}$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites 34 peut être dans la plage allant de $9,1 \times 10^9$ à $6,0 \times 10^{10}$ N/m, et éventuellement peut être dans la plage allant de 7×10^9 à 2×10^{10} N/m, ou de $8,5 \times 10^9$ à $2,0 \times 10^{10}$ N/m (et éventuellement peut être égale à $1,26 \times 10^{10}$ N/m). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites 34 peut être dans la plage allant de $1,2 \times 10^{10}$ à $1,2 \times 10^{11}$ N/m et éventuellement peut être dans la plage allant de $1,0 \times 10^{10}$ à $5,0 \times 10^{10}$

N/m (et éventuellement peut être égale à $2,88 \times 10^{10}$ N/m).

- [0336] La rigidité torsionnelle du porte-satellites 34 peut être contrôlée de façon à être dans une plage souhaitée en réglant un ou plusieurs paramètres, y compris le(s) matériau(x) de porte-satellites, la géométrie de porte-satellites, et la présence ou l'absence d'ergots.

Rigidités d'engrènement d'engrenages

- [0337] Comme montré sur la [Fig.3], les engrenages satellites 32 viennent en prise à la fois avec l'engrenage solaire 28 et la couronne dentée 38. Le réducteur épicycloïdal 30 a pour cette raison une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38 et une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et l'engrenage solaire 28, chaque rigidité d'engrènement d'engrenages étant définie de la façon habituelle décrite ci-dessus. Chaque engrenage satellite 32 a moins de dents que la couronne dentée 38. Dans le mode de réalisation qui est décrit, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38 est considérée comme une valeur moyennée sur une révolution complète de :
- [0338] (i) pour un réducteur en étoile 30 : la couronne dentée 38, le porte-satellites 34 étant stationnaire ; ou
- [0339] (ii) pour un réducteur planétaire 30 : le porte-satellites 34, la couronne dentée 38 étant stationnaire.
- [0340] Le moyennage sur une rotation complète peut permettre à d'éventuelles asymétries dans les engrenages (par exemple du fait de la tolérance de fabrication) d'être prises en compte. Dans des variantes de réalisation, la valeur moyennée sur un cycle complet du réducteur revenant à sa position initiale, sur une rotation unique d'un engrenage satellite 32, ou juste sur une interaction de dent unique (c'est-à-dire sur le changement d'angle de roulement depuis une dent sélectionnée faisant un contact avec l'engrenage opposé puis perdant le contact avec l'engrenage opposé), peut être utilisée à la place. En outre, dans l'agencement qui est décrit, une moyenne des valeurs obtenues pour chaque engrenage satellite 32 est utilisée. L'homme du métier comprendra que les valeurs pour chaque satellite 32 doivent être les mêmes à plus ou moins les tolérances, des déviations significatives éventuelles suggérant une erreur de fabrication ou un engrenage endommagé.
- [0341] Dans divers modes de réalisation, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38 est supérieure ou égale à $1,40 \times 10^9$ N/m, et éventuellement supérieure ou égale à $2,45 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38 peut être supérieure ou égale à $2,4 \times 10^9$ N/m, et éventuellement supérieure ou égale à $2,5 \times 10^9$, et

éventuellement peut être égale à $2,62 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38 peut être supérieure ou égale à $2,8 \times 10^9$ N/m, et éventuellement supérieure ou égale à $3,2 \times 10^9$ (et éventuellement peut être égale à $3,50 \times 10^9$ N/m).

[0342] Dans divers modes de réalisation, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38 est dans la plage allant de $1,40 \times 10^9$ à $2,00 \times 10^{10}$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,45 \times 10^9$ à $1,05 \times 10^{10}$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38 peut être dans la plage allant de $2,4 \times 10^9$ à $7,5 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,5 \times 10^9$ à $5,5 \times 10^9$ N/m, et éventuellement peut être égale à $2,62 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38 peut être dans la plage allant de $2,8 \times 10^9$ à $1,05 \times 10^{10}$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $3,2 \times 10^9$ à $6,5 \times 10^9$ N/m (et éventuellement peut être égale à $3,50 \times 10^9$ N/m).

[0343] La rigidité d'engrènement d'engrenages satellites à couronne dentée peut être contrôlée pour être dans les limites de la plage souhaitée en ajustant des paramètres tels que la taille de dent et les matériaux, comme pour d'autres rigidités d'engrènement d'engrenages.

[0344] Dans le mode de réalisation qui est décrit, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et l'engrenage solaire 28 est considérée comme une valeur moyennée sur une révolution complète de :

[0345] (i) si l'engrenage solaire 28 a plus de dents que chaque engrenage satellite 32, l'engrenage solaire 28 ; ou

[0346] (ii) si chaque engrenage satellite 32 a plus de dents que l'engrenage solaire 28, l'engrenage satellite 32.

[0347] L'homme du métier comprendra que la rigidité d'engrènement d'engrenages peut varier en fonction du nombre de dents sur chaque engrenage qui sont en contact à la fois, et également de la ou des partie(s) d'une dent donnée qui sont en contact avec une dent donnée sur un engrenage engrené à la fois (par exemple pointe à racine, milieu à milieu, ou racine à pointe) – celles-ci varient généralement avec l'angle de roulement, et un changement progressif de rigidité d'engrènement d'engrenages peut être observée lorsqu'un contact avec une dent est perdu et/ou qu'un contact avec une autre dent est

obtenu. Utiliser des dents d'engrenage hélicoïdales peut aider à lisser un tel changement progressif éventuel du fait de différentes parties de la dent hélicoïdale perdant/obtenant un contact avec la dent opposée, car l'angle de roulement change, mais une variation, et souvent des discontinuités, sur le processus d'interaction de dents sont généralement attendues. À un minimum, les rigidités d'engrènement d'engrenages utilisées sont pour cette raison moyennées sur au moins un processus complet d'interaction de dents (c'est-à-dire sur le changement d'angle de roulement depuis une dent sélectionnée faisant un contact avec l'engrenage opposé puis perdant le contact avec l'engrenage opposé). Le moyennage sur une rotation complète d'un engrenage, ou éventuellement du réducteur 30 entier, peut permettre à d'éventuelles asymétries dans les engrenages/variations entre des dents sur le même engrenage (par exemple du fait de la tolérance de fabrication) d'être prises en compte. Dans certains modes de réalisation, la valeur moyennée sur un cycle complet du réducteur revenant à sa position initiale peut être utilisée à la place.

[0348] Dans divers modes de réalisation, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et l'engrenage solaire 28 est supérieure ou égale à $1,20 \times 10^9$ N/m, et éventuellement supérieure ou égale à $2,0 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et l'engrenage solaire 28 peut être supérieure ou égale à $1,9 \times 10^9$ N/m, et éventuellement supérieure ou égale à $2,0 \times 10^9$ N/m, et éventuellement peut être égale à $2,16 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et l'engrenage solaire 28 peut être supérieure ou égale à $2,3 \times 10^9$ N/m, et éventuellement supérieure ou égale à $2,8 \times 10^9$ N/m, et éventuellement peut être égale à $3,04 \times 10^9$ N/m.

[0349] Dans divers modes de réalisation, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et l'engrenage solaire 28 est dans la plage allant de $1,20 \times 10^9$ à $1,60 \times 10^{10}$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,0 \times 10^9$ à $9,5 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et l'engrenage solaire 28 peut être dans la plage allant de $1,9 \times 10^9$ à $6,5 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,0 \times 10^9$ à $3,0 \times 10^9$ N/m, et éventuellement peut être égale à $2,16 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et l'engrenage solaire 28

peut être dans la plage allant de $2,3 \times 10^9$ à $9,5 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $2,8 \times 10^9$ à $4,0 \times 10^9$ N/m (et éventuellement peut être égale à $3,04 \times 10^9$ N/m).

[0350] La rigidité d'engrènement d'engrenages satellites à engrenage solaire peut être contrôlée pour être dans les limites de la plage souhaitée en ajustant des paramètres tels que la taille de dent et les matériaux, comme pour d'autres rigidités d'engrènement d'engrenages.

[0351] Une rigidité globale d'engrènement d'engrenages pour le réducteur 30 est également définie. La rigidité globale d'engrènement d'engrenages, T, du réducteur 30 pour un réducteur 30 ayant N engrenages satellites, où N est un nombre entier supérieur ou égal à deux, peut être définie comme :

[0352] [Math.40]

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{\sum_{n=1}^N P_n^S} + \frac{1}{\sum_{n=1}^N P_n^R}$$

[0353] où :

[0354] P_n^S est la rigidité d'engrènement d'engrenages entre l'engrenage satellite 32 et l'engrenage solaire 28 pour le nième engrenage satellite 32 ; et

[0355] P_n^R est la rigidité d'engrènement d'engrenages entre l'engrenage satellite 32 et la couronne dentée 38 pour le nième engrenage satellite 32.

[0356] La somme sur les engrenages satellites ($\sum_{n=1}^N P_n$) peut être remplacée par N fois la rigidité d'engrènement d'engrenages appropriée (moyenne) telle que définie ci-dessus, à la fois pour l'engrènement d'engrenage solaire ($\sum_{n=1}^N P_n^S$) et l'engrènement de couronne dentée ($\sum_{n=1}^N P_n^R$).

[0357] Dans le mode de réalisation qui est décrit, la valeur moyennée sur un cycle complet du réducteur 30 revenant à sa position initiale est utilisée.

[0358] La rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30 est illustrée sur la Figure 11, qui montre schématiquement les raccordements entre l'engrenage solaire 28 et le porte-satellites 34 (via les engrenages satellites 32, avec des rigidités d'engrènement d'engrenages P_n^S) et les raccordements entre le porte-satellites 34 et la couronne dentée 38 (via les engrenages satellites 32, avec des rigidités d'engrènement d'engrenages P_n^R).

[0359] Dans divers modes de réalisation, la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30 est supérieure ou égale à $1,05 \times 10^9$ N/m, éventuellement dans la plage allant de $1,05 \times 10^9$ à $8,00 \times 10^9$ N/m, et éventuellement en outre dans la plage allant de $1,08 \times 10^9$ à $4,9 \times 10^9$ N/m, ou à $3,4 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du

réducteur 30 peut être dans la plage allant de $1,05 \times 10^9$ à $3,6 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $1,08 \times 10^9$ à $1,28 \times 10^9$ N/m, et éventuellement peut être égale à $1,18 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30 peut être dans la plage allant de $1,2 \times 10^9$ à $4,9 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $1,4 \times 10^9$ à $2,2 \times 10^9$ N/m (et éventuellement peut être égale à $1,63 \times 10^9$ N/m).

- [0360] L'homme du métier comprendra que des dimensions de dent et de réducteur, et les matériaux d'engrenage, peuvent être sélectionnés comme il convient pour obtenir une rigidité d'engrènement d'engrenages souhaitée. Par exemple, la taille de dent peut être sélectionnée en considérant deux facteurs concurrents – une résistance en flexion minimale requise de la dent peut définir une taille minimale pour une dent d'un matériau donné, et une quantité maximale autorisée de glissement entre des dents peut définir une limite supérieure de taille pour une dent. L'homme du métier comprendra que de plus grandes dents peuvent entraîner davantage de production de chaleur au niveau de l'engrènement d'engrenages, et/ou un contact excessif entre des engrenages engrenés, ce qui peut gaspiller de l'énergie et/ou augmenter l'usure sur les engrenages. Le fait d'avoir un plus grand nombre de dents plus petites (pour un diamètre d'engrenage donné), par exemple 80 dents ou plus, est pour cette raison généralement préférable, avec une limite inférieure étant définie par une résistance en flexion minimale acceptable de la dent.

Rigidité torsionnelle de transmission

- [0361] La rigidité torsionnelle de transmission est une mesure de la résistance de la transmission entière – de l'arbre d'entrée de réducteur 26 à l'interface avec la soufflante 23 - à un couple appliqué, τ , comme illustré sur la [Fig.12]. Elle peut être décrite comme la résistance à la torsion, ou à l'enroulement, de la transmission d'arbre. L'axe du moment est parallèle à l'axe de moteur 9.
- [0362] En particulier, la transmission peut être définie entre le palier 26c de l'arbre de cœur 26 (au niveau ou près de l'extrémité arrière de l'arbre d'entrée de réducteur 26a, comme décrit ci-dessous) et la position d'entrée de soufflante, Y, telle que définie ci-dessous. Le palier 26c (raccordant l'arbre 26 à la structure de support stationnaire 24) et le raccordement du support de réducteur 40 à la structure de support stationnaire 24 sont maintenus de façon raide (non rotative) comme indiqué par les cadres à lignes diagonales sur la [Fig.12]. Un couple est ensuite appliqué à l'arbre de soufflante 36 au niveau de la position axiale de la position d'entrée de soufflante. Dans le but de mesurer la rigidité torsionnelle de transmission, l'arbre d'entrée de réducteur 26 est maintenu pour ne pas tourner à l'emplacement du palier 26c. Un angle de rotation θ est mesuré au niveau de la position d'entrée de soufflante.

- [0363] Les rigidités d'engrènement d'engrenages sont incluses dans la rigidité de transmission – le remplissage noir sur la [Fig.12] indique des composants qui contribuent à la rigidité de transmission (à savoir l'arbre d'entrée de réducteur 26, l'arbre de sortie/soufflante 36, le réducteur 30 et le support de réducteur 40).
- [0364] Le couple, τ , est appliqué à l'arbre de soufflante 36 (au niveau de la position d'entrée de soufflante, Y) et provoque une déformation rotationnelle sur la longueur de la transmission. L'angle duquel se déplace un point sur la circonférence d'arbre de soufflante au niveau de la position d'entrée de soufflante est θ , où θ est l'angle mesuré en radians. Une rigidité torsionnelle linéaire efficace peut pour cette raison être définie pour la transmission telle que décrite précédemment, en utilisant le rayon, r , de l'arbre de soufflante 36. Dans des modes de réalisation dans lesquels le rayon de l'arbre de soufflante varie, le rayon au niveau de la position d'entrée de soufflante, Y, peut être utilisé.
- [0365] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission est supérieure ou égale à $1,60 \times 10^8$ N/m, et éventuellement supérieure ou égale à $3,8 \times 10^8$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission peut être supérieure ou égale à $3,8 \times 10^8$ N/m, et éventuellement peut être supérieure ou égale à $4,2 \times 10^8$ N/m (et éventuellement peut être égale à $4,8 \times 10^8$ N/m). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission peut être supérieure ou égale à $3,8 \times 10^8$ N/m, et éventuellement peut être supérieure ou égale à $7,7 \times 10^8$ N/m (et éventuellement peut être égale à $8,2 \times 10^8$ N/m).
- [0366] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission est dans la plage allant de $1,60 \times 10^8$ à $3,20 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $3,8 \times 10^8$ à $1,9 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission peut être dans la plage allant de $3,8 \times 10^8$ à $8,6 \times 10^8$ N/m, et éventuellement peut être dans la plage allant de $4,2 \times 10^8$ à $5,4 \times 10^8$ N/m (et éventuellement peut être égale à $4,8 \times 10^8$ N/m). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission peut être dans la plage allant de $3,8 \times 10^8$ à $3,2 \times 10^9$ N/m et éventuellement peut être dans la plage allant de $7,7 \times 10^8$ à $9,3 \times 10^8$ N/m (et éventuellement peut être égale à $8,2 \times 10^8$ N/m).
- [0367] La rigidité torsionnelle de la transmission peut pour cette raison être représentée comme une rigidité torsionnelle combinée de l'arbre de soufflante 36, du réducteur 30

(la rigidité globale d'engrènement de réducteur), de l'arbre de cœur 26 (arbre d'entrée d'engrenage solaire 26) et du support de réducteur 40. Pour ajuster la rigidité torsionnelle de la transmission à une valeur souhaitée, l'homme du métier comprendra que l'un quelconque ou plusieurs quelconques des paramètres abordés pour les composants de la transmission, tels que décrits ailleurs dans le présent document, peuvent être ajustés comme il convient.

[0368] La rigidité globale d'engrènement de réducteur est telle que définie précédemment. Les rigidités torsionnelles des autres composants de transmission peuvent être telles que définies ci-dessous :

[0369] Rigidité torsionnelle d'arbre d'entrée de réducteur

[0370] Dans l'agencement qui est décrit, l'arbre d'entrée de réducteur 26a entraîne l'engrenage solaire 28. L'arbre d'entrée de réducteur 26a peut pour cette raison être désigné arbre d'entrée d'engrenage solaire 26a. L'arbre d'entrée de réducteur 26a peut être un arbre d'entrée d'engrenage solaire 26a dans des agencements en étoile (ainsi que planétaires). L'arbre d'entrée de réducteur 26a peut également être désigné partie de l'arbre de cœur 26 – une partie antérieure 26a de l'arbre de cœur 26 fournit l'entrée vers le réducteur 30.

[0371] L'arbre de cœur 26 comprend pour cette raison un arbre d'entrée de réducteur 26a, qui tourne avec le reste de l'arbre de cœur 26 mais peut avoir une rigidité différente du reste de l'arbre de cœur. Dans l'agencement qui est décrit par rapport aux Figures 1 et 2, l'arbre de cœur s'étend entre la turbine 19 et le réducteur 30, raccordant la turbine 19 au compresseur 14, et la turbine et le compresseur au réducteur 30. Une partie postérieure 26b de l'arbre de cœur 26 s'étend entre la turbine 19 et le compresseur 14, raccordant la turbine au compresseur. Une partie antérieure 26a s'étend entre le compresseur 14 et le réducteur, raccordant la turbine et le compresseur au réducteur 30. Comme cette partie antérieure fournit le couple au réducteur 30, elle est désignée arbre d'entrée de réducteur. Dans l'agencement montré, un palier 26c est présent sur l'arbre de cœur 26 au niveau ou près de la position axiale au niveau de laquelle la partie postérieure 26b rencontre l'arbre d'entrée de réducteur 26a.

[0372] Dans certains réducteurs 30, le porte-satellites 34 peut être entraîné par l'arbre de cœur 26, et plus spécifiquement par l'arbre d'entrée de réducteur 26a, par exemple – dans de tels modes de réalisation, l'arbre d'entrée de réducteur 26a peut ne pas être un arbre d'entrée d'engrenage solaire 26a. Cependant, cela peut rendre le support de l'engrenage solaire 28 plus difficile.

[0373] Dans l'agencement décrit, l'arbre de cœur 26 est divisé en deux sections comme montré sur la [Fig.13] ; une première section 26a (l'arbre d'entrée de réducteur) s'étendant à partir du réducteur 30 et raccordée à l'engrenage solaire 28, et une deuxième section 26b (qui peut être désignée arbre de turbine) s'étendant vers l'arrière

à partir de la première section et raccordée à la turbine 19. Dans l'agencement décrit, la première section 26a est conçue pour avoir une rigidité plus basse que la deuxième section 26b – l'arbre d'entrée de réducteur 26a peut pour cette raison fournir un montage souple pour l'engrenage solaire 28 tout en maintenant la raideur ailleurs dans le moteur 10. Dans l'agencement décrit, la deuxième section 26b est conçue pour être effectivement raide (par comparaison avec la rigidité de la première section 26a). La deuxième section 26b raccordant la turbine 19 et le compresseur 14 et le réducteur 30 peut être désignée arbre de turbine 26b. L'arbre de turbine 26b est agencé pour transmettre les charges torsionnelles pour entraîner le compresseur et le réducteur 30, ainsi que pour gérer les charges axiales de compresseur et de turbine.

- [0374] Dans des variantes de réalisation, l'arbre de cœur 26 peut ne pas être divisé en sections de rigidité différente, et peut à la place avoir une rigidité constante. Dans des modes de réalisation alternatifs ou supplémentaires, le cœur 26 peut être divisé en un plus grand nombre de sections.
- [0375] L'arbre de cœur 26 est monté en utilisant un palier 26c – le palier 26c est le premier reposant sur l'arbre de cœur 26 axialement en aval du réducteur 30. Dans l'agencement décrit, le palier 26c est sur la deuxième section 26b de l'arbre 26 – dans d'autres modes de réalisation, il peut être sur une section d'arbre différente, ou sur la seule. Les rigidités de l'arbre d'entrée de réducteur 26a sont mesurées en maintenant le palier 26c raide, et en considérant que le raccordement du palier 26c au reste 26b de l'arbre de cœur 26 est raide, de telle sorte que seules les rigidités de la première partie 26a sont considérées (le reste étant traité comme effectivement raide). Dans le but de déterminer la rigidité torsionnelle, l'arbre d'entrée de réducteur 26a est considéré comme étant libre à l'extrémité à laquelle le couple appliqué τ est appliqué.
- [0376] La rigidité torsionnelle d'arbre d'entrée de réducteur est une mesure de la résistance de l'arbre 26a à un couple appliqué, τ , comme illustré sur la [Fig.14]. Elle peut être décrite comme la résistance à la torsion, ou à l'enroulement, de l'arbre 26a. L'axe du moment est parallèle à l'axe de moteur 9. Le cadre à lignes diagonales 402 à l'emplacement du palier 26c de l'arbre 26a est montré pour indiquer le raccordement au palier 26c / à l'arbre 26 à la position du palier étant traitée comme raide et non rotative (comme pour un montage de poutre en porte-à-faux). L'arbre 26a est autrement traité comme un corps libre (la rigidité d'engrènement engrenage solaire-engrenage satellite n'est pas incluse). Un couple, τ , est appliqué à l'arbre 26a (au niveau de la position avant – la position du point médian axial de l'engrenage solaire 28) et provoque une déformation rotationnelle, θ (par exemple une torsion) sur la longueur de l'arbre 26a. θ est mesuré à la position d'application du couple. Comme décrit précédemment, l'arbre de cœur 26 est maintenu pour être non rotatif à l'emplacement du palier 26c, de telle sorte que la valeur de la torsion augmente de zéro à θ sur la longueur de la première

partie d'arbre 26a.

- [0377] Dans le mode de réalisation montré, la position du point médian axial de l'engrenage solaire 28 est également au niveau ou près de l'extrémité avant de l'arbre 26. Dans des variantes de réalisation, l'arbre 26 peut s'étendre davantage vers l'avant de l'engrenage solaire 28 ; la position vers l'avant utilisée pour l'application du couple, de la force ou du moment est toujours considérée comme étant la position du point médian axial de l'engrenage solaire 28 dans de tels modes de réalisation.
- [0378] L'angle duquel un point sur la circonférence d'arbre au niveau de la position vers l'avant se déplace est θ , où θ est l'angle mesuré en radians. Une rigidité torsionnelle linéaire efficace peut pour cette raison être définie pour l'arbre d'entrée de réducteur 26a tel que décrit précédemment, en utilisant le rayon, r , de l'arbre d'entrée de réducteur 26a. Dans des modes de réalisation dans lesquels le rayon de l'arbre d'entrée de réducteur 26a varie, le rayon de l'arbre 26a au niveau de l'interface avec l'engrenage solaire 28 peut être utilisé en guise de rayon r (c'est-à-dire le rayon au niveau de l'extrémité avant de l'arbre pour le mode de réalisation montré).
- [0379] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle de l'arbre d'entrée de réducteur 26a est supérieure ou égale à $1,4 \times 10^6$ Nm/radian, et éventuellement supérieure ou égale à $1,6 \times 10^6$ Nm/radian. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité torsionnelle de l'arbre d'entrée de réducteur peut être supérieure ou égale à $1,4 \times 10^6$ Nm/radian ou 2×10^6 Nm/radian. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle de l'arbre d'entrée de réducteur peut être supérieure ou égale à 3×10^6 Nm/radian ou 5×10^6 Nm/radian.
- [0380] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle de l'arbre d'entrée de réducteur 26a est dans la plage allant de $1,4 \times 10^6$ à $2,5 \times 10^8$ Nm/radian, et éventuellement dans la plage allant de $1,6 \times 10^6$ à $2,5 \times 10^7$ Nm/radian. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité torsionnelle de l'arbre d'entrée de réducteur peut être dans la plage allant de $1,4 \times 10^6$ à $2,0 \times 10^7$ Nm/radian, et éventuellement peut être dans la plage allant de $1,8 \times 10^6$ à $3,0 \times 10^6$ Nm/radian (et éventuellement peut être égale à $2,0 \times 10^6$ Nm/radian). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle de l'arbre d'entrée de réducteur peut être dans la plage allant de 3×10^6 à 1×10^8 Nm/radian et éventuellement peut être dans la plage allant de 5×10^6 à 6×10^6 Nm/radian (et éventuellement peut être égale à $5,7 \times 10^6$ Nm/radian).

- [0381] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre d'entrée de réducteur 26a est supérieure ou égale à $4,0 \times 10^8$ N/m, et éventuellement supérieure ou égale à $4,3 \times 10^8$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre d'entrée de réducteur peut être supérieure ou égale à $4,0 \times 10^8$ N/m ou $4,4 \times 10^8$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre d'entrée de réducteur peut être supérieure ou égale à $4,3 \times 10^8$ N/m ou $6,0 \times 10^8$ N/m.
- [0382] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre d'entrée de réducteur est dans la plage $4,0 \times 10^8$ à $3,0 \times 10^{10}$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $4,3 \times 10^8$ à $9,0 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre d'entrée de réducteur peut être dans la plage allant de $4,0 \times 10^8$ à $1,5 \times 10^{10}$ N/m, et éventuellement peut être dans la plage allant de $4,4 \times 10^8$ à $5,4 \times 10^8$ N/m (et éventuellement peut être égale à $4,9 \times 10^8$ N/m, et éventuellement $4,92 \times 10^8$ N/m). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre d'entrée de réducteur peut être dans la plage allant de $4,3 \times 10^8$ à $3,0 \times 10^{10}$ N/m et éventuellement peut être dans la plage allant de $5,0 \times 10^8$ ou $6,0 \times 10^8$ à $8,0 \times 10^8$ N/m (et éventuellement peut être égale à $6,8 \times 10^8$ N/m, et éventuellement $6,84 \times 10^8$ N/m).
- [0383] Un ou plusieurs parmi le(s) matériau(x), le diamètre et la structure (par exemple creux ou plein, épaisseur de paroi) de l'arbre d'entrée de réducteur 26a peuvent être ajustés pour obtenir une rigidité dans les limites de la plage souhaitée.

Rigidité torsionnelle d'arbre de soufflante

- [0384] L'arbre de soufflante 36 est défini comme le composant de transfert de couple qui s'étend de la sortie du réducteur 30 à l'entrée de soufflante. Il inclut pour cette raison une partie ou la totalité d'un éventuel arbre de sortie de réducteur et arbre d'entrée de soufflante qui peut être fourni entre ces points. Dans le but de définir la rigidité de l'arbre de soufflante 36 on considère qu'il s'étend entre une position d'entrée de soufflante, Y, et une position de sortie de réducteur, X, et qu'il inclut la totalité des composants de transfert de couple entre ces points. Il n'inclut pas pour cette raison d'éventuels composants du réducteur (par exemple le porte-satellites ou la plaque de raccordement couplée à celui-ci) qui transmettent des forces distinctes, plutôt que le couple d'arbre de soufflante. La position de sortie de réducteur (X) peut pour cette

raison être définie comme le point de raccordement entre l'arbre de soufflante 36 et le réducteur 30. La position d'entrée de soufflante (Y) peut être définie comme le point de raccordement entre l'arbre de soufflante 36 et la soufflante.

- [0385] La rigidité torsionnelle de l'arbre de soufflante 36 est mesurée entre les extrémités avant et arrière de l'arbre de soufflante ; l'extrémité avant étant l'interface avec la soufflante 23 et l'extrémité arrière étant l'interface avec le réducteur 30.
- [0386] La rigidité torsionnelle d'arbre de soufflante est une mesure de la résistance de l'arbre 36 à un couple appliqué, τ , comme illustré sur la [Fig.17]. Elle peut être décrite comme la résistance à la torsion, ou à l'enroulement, de l'arbre 36. L'axe du moment est parallèle à l'axe de moteur 9. En référence aux Figures 15 et 17, où le réducteur 30 est un réducteur en étoile, la position de sortie de réducteur est définie comme le point de raccordement 702 entre la couronne dentée 38 et l'arbre de soufflante 36. Plus spécifiquement, il s'agit du point de raccordement à l'espace annulaire de la couronne dentée 38 (n'importe quel composant de raccordement s'étendant à partir de la surface externe de l'espace annulaire étant considéré comme faisant partie de la couronne dentée). Là où le point de raccordement est formé par une interface s'étendant dans une direction ayant une composante axiale, le point de raccordement, X, est considéré comme étant la ligne médiane axiale de cette interface comme illustré sur la [Fig.17]. L'arbre de soufflante 36 inclut tous les composants de transmission de couple jusqu'au point de raccordement 702 avec la couronne dentée 38. Il inclut pour cette raison n'importe quelles parties flexibles ou liaisons 704 de l'arbre de soufflante 36 qui peuvent être fournies, et n'importe quel(s) raccordement(s) 706 (par exemple des raccordements cannelés) entre elles.
- [0387] Là où le réducteur 30 a une configuration planétaire, la position de sortie de réducteur est de nouveau définie comme le point de raccordement entre l'arbre de soufflante 36 et le réducteur 30. Un exemple de cela est illustré sur la [Fig.16], qui montre un porte-satellites comprenant une plaque avant 34a et une plaque arrière 34b, avec une pluralité de broches 33 s'étendant entre elles et sur lequel les engrenages satellites sont montés. L'arbre de soufflante 36 est raccordé à la plaque avant 34a via un raccordement cannelé 708. Dans des agencements tels que celui-ci, la position de sortie de réducteur est considérée comme n'importe quel point sur l'interface entre l'arbre de soufflante 36 et la plaque avant 34a. La plaque avant 34a est considérée comme transmettant des forces distinctes, plutôt qu'un couple unique, et ainsi est considérée comme faisant partie du réducteur 30 plutôt que de l'arbre de soufflante. La [Fig.16] montre seulement un exemple d'un type de raccordement entre l'arbre de soufflante et le porte-satellites 34. Dans des modes de réalisation ayant différents agencements de raccordement, la position de sortie de réducteur est toujours considérée comme étant au niveau de l'interface entre des composants transmettant un couple (c'est-à-dire qui

font partie de l'arbre de soufflante) et ceux transmettant des forces distinctes (par exemple qui font partie du réducteur). Le raccordement cannelé 708 n'est qu'un exemple d'un raccordement qui peut être formé entre l'arbre de soufflante 36 et le réducteur 30 (c'est-à-dire entre l'arbre de soufflante et la plaque avant 34b dans le mode de réalisation actuellement décrit). Dans d'autres modes de réalisation, l'interface qui forme la position de sortie de réducteur peut être formée, par exemple, par un raccordement de type curvic ®, un assemblage boulonné ou un autre agencement denté ou mécaniquement encliqueté.

[0388] La position d'entrée de soufflante, Y, est définie comme un point sur l'arbre de soufflante 36 au niveau du point médian axial de l'interface entre la soufflante 23 et l'arbre de soufflante 36. Dans le mode de réalisation actuellement décrit, la soufflante 23 comprend un bras de support 23a agencé pour raccorder la soufflante 23 à l'arbre de soufflante 36. Le bras de support 23a est raccordé à l'arbre de soufflante par un couplage cannelé 36a qui s'étend sur la longueur d'une partie de l'arbre de soufflante 36. La position d'entrée de soufflante est définie comme le point médian axial du couplage cannelé comme indiqué par l'axe Y sur la [Fig.17]. Le couplage cannelé montré sur la [Fig.17] n'est qu'un exemple d'un couplage qui peut former l'interface entre la soufflante et l'arbre de soufflante. Dans d'autres modes de réalisation, par exemple, un raccordement de type curvic ®, un assemblage boulonné ou un autre agencement denté ou mécaniquement encliqueté peut être utilisé. La position d'entrée de soufflante, Y, peut être insensible au type de réducteur.

[0389] L'arbre de soufflante 36 a un degré de flexibilité caractérisé en partie par sa rigidité torsionnelle.

[0390] La couronne dentée 38 à lignes diagonales sur la [Fig.17] indique la couronne dentée 38 étant traitée comme étant raide et non rotative dans le but d'évaluer la rigidité torsionnelle. Un couple, τ , est appliqué à l'arbre 36 au niveau de la position d'entrée de soufflante, Y, et provoque une déformation rotationnelle, θ (par exemple une torsion) sur la longueur de l'arbre 36. L'angle duquel se déplace un point sur la circonférence d'arbre au niveau de la position d'entrée de soufflante est θ , lorsque θ est l'angle mesuré en radians. Une rigidité torsionnelle linéaire efficace peut pour cette raison être définie pour l'arbre de soufflante 36 tel que décrit précédemment, en utilisant le rayon, r , de l'arbre de soufflante 36. Dans des modes de réalisation dans lesquels le rayon de l'arbre de soufflante 36 varie, tel que le mode de réalisation décrit, le rayon de l'arbre 36 au niveau de la position d'entrée de soufflante peut être utilisé en guise de rayon r (c'est-à-dire le rayon au niveau de l'extrémité avant de l'arbre pour le mode de réalisation montré). Dans le but de déterminer la rigidité torsionnelle, l'arbre de soufflante 36 est considéré comme étant libre à l'extrémité à laquelle le couple appliqué τ est appliqué.

- [0391] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle de l'arbre de soufflante 36 est égale ou supérieure à $1,3 \times 10^7$ Nm/rad, et éventuellement égale ou supérieure à $1,4 \times 10^7$ Nm/rad. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm la rigidité torsionnelle de l'arbre de soufflante 36 peut être égale ou supérieure à $1,3 \times 10^7$ Nm/radian, et éventuellement peut être égale ou supérieure à $1,4 \times 10^7$ Nm/radian (et éventuellement peut être égale à $1,8 \times 10^7$ Nm/radian). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm la rigidité torsionnelle de l'arbre de soufflante 36 peut être égale ou supérieure à $2,5 \times 10^7$ Nm/radian, et éventuellement peut être égale ou supérieure à $3,5 \times 10^7$ Nm/radian (et éventuellement peut être égale à $5,2 \times 10^7$ Nm/radian).
- [0392] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle de l'arbre de soufflante 36 est dans la plage allant de $1,3 \times 10^7$ à $2,5 \times 10^9$ Nm/rad, et éventuellement dans la plage allant de $1,4 \times 10^7$ à $3,0 \times 10^8$ Nm/rad. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm la rigidité torsionnelle de l'arbre de soufflante 36 peut être dans la plage allant de $1,3 \times 10^7$ à $2,0 \times 10^8$ Nm/radian, et éventuellement peut être dans la plage allant de $1,3 \times 10^7$ à $2,3 \times 10^7$ Nm/radian (et éventuellement peut être égale à $1,8 \times 10^7$ Nm/radian). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle de l'arbre de soufflante 36 peut être dans la plage allant de $2,5 \times 10^7$ à $2,5 \times 10^9$ Nm/radian et éventuellement peut être dans la plage allant de $3,5 \times 10^7$ à $7,5 \times 10^7$ Nm/radian (et éventuellement peut être égale à $5,2 \times 10^7$ Nm/radian).
- [0393] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante 36 peut être supérieure ou égale à $1,2 \times 10^9$ N/m, et éventuellement supérieure ou égale à $1,35 \times 10^9$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante 36 peut être supérieure ou égale à $1,2 \times 10^9$ N/m, et éventuellement peut être supérieure à $1,3 \times 10^9$ Nm/radian (et éventuellement peut être égale à $1,5 \times 10^9$ N/m). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante 36 peut être supérieure ou égale à $1,5 \times 10^9$ N/m et éventuellement peut être supérieure ou égale à $1,8 \times 10^9$ Nm/radian (et éventuellement peut être égale à $2,1 \times 10^9$ N/m).
- [0394] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante 36 est dans la plage allant de $1,2 \times 10^9$ à $2,0 \times 10^{10}$ N/m, et éventuellement

dans la plage allant de $1,35 \times 10^9$ à $1,0 \times 10^{10}$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante 36 peut être dans la plage allant de $1,2 \times 10^9$ à $1,5 \times 10^{10}$ N/m, et éventuellement peut être dans la plage allant de $1,3 \times 10^9$ à $2,3 \times 10^9$ Nm/radian (et éventuellement peut être égale à $1,5 \times 10^9$ N/m). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante 36 peut être dans la plage allant de $1,5 \times 10^9$ à $2,0 \times 10^{10}$ N/m, et éventuellement peut être dans la plage allant de $1,8 \times 10^9$ à $3,5 \times 10^9$ Nm/radian (et éventuellement peut être égale à $2,1 \times 10^9$ N/m).

- [0395] Un ou plusieurs parmi le(s) matériau(x), le diamètre et la structure (par exemple creux ou plein, épaisseur de paroi) de l'arbre de soufflante 36 peuvent être ajustés pour obtenir une rigidité dans les limites de la plage souhaitée.

Rigidité torsionnelle de support de réducteur

- [0396] Un mode de réalisation donné à titre d'exemple du moteur à turbine à gaz est montré sur la [Fig.18], qui montre une région du cœur de moteur 11 autour du réducteur 30 en gros plan. Les mêmes numéros de référence ont été utilisés pour des composants correspondant à ceux montrés sur les Figures 1 à 3. Dans l'agencement montré sur la [Fig.18] le réducteur 30 a un agencement en étoile, dans lequel la couronne dentée 38 est couplée à l'arbre de soufflante 36 et le porte-satellites 34 est maintenu dans une position fixe par rapport à la structure statique 502, 24 du cœur de moteur 11. Comme indiqué ailleurs dans le présent document, toutes les fonctionnalités et caractéristiques décrites ici peuvent s'appliquer à un réducteur en étoile et à un réducteur planétaire, sauf mention explicite contraire.

- [0397] Le cœur de moteur 11 comprend un support de réducteur 40 (correspondant à la liaison décrite en référence à la [Fig.2]) agencé pour supporter au moins partiellement le réducteur 30 dans une position fixe à l'intérieur du moteur. Le support de réducteur est couplé au niveau d'une première extrémité à la structure de support stationnaire 24 qui s'étend à travers le conduit de cœur transportant le flux d'air de cœur A comme illustré sur la [Fig.18]. Dans l'agencement actuellement décrit, la structure de support stationnaire 24 est ou comprend un stator de section de moteur (ESS) qui agit à la fois en tant que composant structural pour fournir un support stationnaire pour des composants de cœur tel que le support de réducteur 40, et en tant qu'aube directrice servant à diriger le flux d'air à partir de la soufflante 23. Dans d'autres modes de réalisation, la structure de support stationnaire 24 peut comprendre une entretoise s'étendant à travers le trajet d'écoulement de gaz de cœur et une aube de stator indépendante servant à diriger le flux d'air. Dans le présent mode de réalisation, le support

de réducteur 40 est couplé au niveau d'une deuxième extrémité au porte-satellites 34. Le support de réducteur 40 agit pour cette raison à l'encontre de la rotation du porte-satellites 34 par rapport à la structure statique du cœur de moteur 11. Dans des modes de réalisation où le réducteur 30 est dans un agencement planétaire, le support de réducteur 40 est couplé à la couronne dentée 38 de façon à résister à sa rotation par rapport à la structure statique du cœur de moteur 11.

- [0398] Le support de réducteur 40 est défini entre le point au niveau duquel il se raccorde au réducteur (par exemple au porte-satellites 34 dans le présent mode de réalisation avec un réducteur en étoile 30, ou à la couronne dentée 38 dans des modes de réalisation planétaires) et un point au niveau duquel il se raccorde à la structure de support stationnaire 24. Le support de réducteur 40 peut être formé par n'importe quel nombre de composants indépendants fournissant un couplage entre ces deux points. Le support de réducteur 40 se raccorde au réducteur 30 vers l'engrenage ou ensemble d'engrenages statique – c'est-à-dire vers la couronne dentée 38 d'un réducteur planétaire ou le porte-satellites/ensemble de porte-satellites 34 d'un réducteur en étoile.
- [0399] Le support de réducteur 40 a un degré de flexibilité. La rigidité torsionnelle de support de réducteur est une mesure de la résistance du support 40 à un couple appliqué, τ , comme illustré sur la [Fig.20]. Elle peut être décrite comme la résistance à la torsion, ou à l'enroulement, du support 40. L'axe du moment est parallèle à l'axe de moteur 9.
- [0400] Pour un réducteur en étoile 30, la rigidité torsionnelle du support de réducteur 40 est définie entre un cercle 902 passant à travers le centre de chaque engrenage satellite 32 de l'ensemble d'engrenages satellites (c'est-à-dire à travers l'axe longitudinal de chaque broche 33) et l'interface vers la structure de support stationnaire 24, qui est traitée comme étant fixe. La charge torsionnelle est appliquée au niveau du porte-satellites 34, et mise en réaction au niveau de la structure de support stationnaire 24.
- [0401] Pour un réducteur planétaire 30, la rigidité torsionnelle du support de réducteur 40 est définie entre le diamètre de cercle primitif (DCP) de la couronne dentée 38, et l'interface vers la structure de support stationnaire 24, qui est traitée comme étant fixe. La charge torsionnelle est appliquée au niveau de la couronne dentée 38, et mise en réaction au niveau de la structure de support stationnaire 24.
- [0402] Les lignes diagonales sur la structure de support stationnaire 24 sont fournies pour indiquer le raccordement au support 40 étant traité comme raide et non rotatif.
- [0403] Pour l'exemple d'un réducteur planétaire 30, un couple, τ , est appliqué aux dents de la couronne dentée 38 et provoque une déformation rotationnelle, θ (par exemple une torsion) du support 40. L'angle par lequel se déplace un point sur le DCP est θ , où θ est l'angle mesuré en radians. Une rigidité torsionnelle linéaire efficace peut pour cette raison être définie pour le support de réducteur 40 pour un réducteur planétaire 30

comme décrit précédemment en utilisant le rayon $r = \text{DCP}/2$. Ici, r est le rayon de la couronne dentée 38 (c'est-à-dire la moitié du DCP de la couronne dentée).

- [0404] Dans divers modes de réalisation le DCP de la couronne dentée 38, qui peut également être représenté comme un diamètre du réducteur 30, peut être supérieur ou égal à 0,55 m, et éventuellement supérieur ou égal à 0,57 m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, le diamètre de réducteur peut être supérieur ou égal à 0,55 m, et peut être égal à 0,61 m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le diamètre de réducteur peut être supérieur ou égal à 0,75 m, et peut être égal à 0,87 m.
- [0405] Dans divers modes de réalisation le diamètre du réducteur 30 peut être dans la plage allant de 0,55 m à 1,2 m, et éventuellement dans la plage allant de 0,57 à 1,0 m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm le diamètre de réducteur peut être dans la plage allant de 0,55 à 0,70 m, et éventuellement peut être dans la plage allant de 0,58 à 0,65 m (et éventuellement peut être égal à 0,61 m). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le diamètre de réducteur peut être dans la plage allant de 0,75 à 1,0 m, et éventuellement peut être dans la plage allant de 0,8 à 0,9 m (et éventuellement peut être égal à 0,87 m).
- [0406] De manière correspondante, une rigidité torsionnelle linéaire efficace peut pour cette raison être définie pour le support de réducteur 40 pour un réducteur en étoile 30 tel que décrit ci-dessus en utilisant le rayon r du cercle 902 passant à travers l'axe longitudinal de chaque broche 33 sur le porte-satellites 34. Le diamètre de ce cercle 902 peut être décrit comme un DCP de l'ensemble d'engrenages satellites, ou un DCP de broche, ce qui fournit $r = \text{DCP}/2$ comme pour l'exemple de réducteur planétaire. Dans divers modes de réalisation le DCP de l'ensemble d'engrenages planétaires (le DCP de broche) peut être dans la plage allant de 0,38 à 0,65 m, par exemple étant égal à 0,4 m ou 0,55 m.
- [0407] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle du support de réducteur 40 est supérieure ou égale à $4,2 \times 10^7$ Nm/rad, et éventuellement supérieure ou égale à $4,8 \times 10^7$ Nm/rad. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm la rigidité torsionnelle du support de réducteur 40 peut être supérieure ou égale à $4,2 \times 10^7$ Nm/rad, et éventuellement peut être supérieure ou égale à 5×10^7 Nm/rad (et éventuellement peut être égale à $6,1 \times 10^7$ Nm/rad). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est

dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle du support de réducteur 40 peut être supérieure ou égale à $7,0 \times 10^7$ Nm/rad, et éventuellement peut être supérieure ou égale à 9×10^7 Nm/rad (et éventuellement peut être égale à $1,8 \times 10^8$ Nm/rad).

[0408] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle du support de réducteur 40 est dans la plage allant de $4,2 \times 10^7$ à $1,0 \times 10^{10}$ Nm/rad, et éventuellement dans la plage allant de $4,8 \times 10^7$ à $1,0 \times 10^9$ Nm/rad. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm la rigidité torsionnelle du support de réducteur 40 peut être dans la plage allant de $4,2 \times 10^7$ à $6,0 \times 10^8$ Nm/rad, et éventuellement peut être dans la plage allant de 5×10^7 à 7×10^7 Nm/rad (et éventuellement peut être égale à $6,1 \times 10^7$ Nm/rad). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle du support de réducteur 40 peut être dans la plage allant de $7,0 \times 10^7$ à $1,0 \times 10^{10}$ Nm/rad, et éventuellement peut être dans la plage allant de 9×10^7 à 4×10^8 Nm/rad (et éventuellement peut être égale à $1,8 \times 10^8$ Nm/rad).

[0409] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur 40 est supérieure ou égale à $7,1 \times 10^8$ N/m, et éventuellement supérieure ou égale à $8,4 \times 10^8$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm la rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur 40 peut être supérieure ou égale à $7,1 \times 10^8$ N/m, et éventuellement peut être supérieure ou égale à 8×10^8 N/m (et éventuellement peut être égale à $9,2 \times 10^8$ N/m). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur 40 peut être supérieure ou égale à $9,0 \times 10^8$ N/m, et éventuellement peut être supérieure ou égale à $1,0 \times 10^9$ N/m (et éventuellement peut être égale à $1,2 \times 10^9$ N/m).

[0410] Dans divers modes de réalisation, la rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur 40 est dans la plage allant de $7,1 \times 10^8$ à $6,0 \times 10^{10}$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $8,4 \times 10^8$ à $3,0 \times 10^{10}$ N/m. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm la rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur 40 peut être dans la plage allant de $7,1 \times 10^8$ à $5,0 \times 10^{10}$ N/m, et éventuellement peut être dans la plage allant de 8×10^8 à 1×10^9 N/m (et éventuellement peut être égale à $9,2 \times 10^8$ N/m). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur 40 peut être dans la plage allant de $9,0 \times 10^8$ à $6,0 \times 10^{10}$ N/m, et éventuellement peut être dans la

plage allant de $9,0 \times 10^8$ ou $1,0 \times 10^9$ N/m à $2,0 \times 10^9$ N/m (et éventuellement peut être égale à $1,2 \times 10^9$ N/m).

- [0411] Un ou plusieurs parmi la géométrie du support de réducteur 40, les matériaux, et le type de raccordement pour le raccordement à la structure de support stationnaire 24 peuvent être sélectionnés ou ajustés comme il convient pour obtenir la rigidité souhaitée. L'homme du métier comprendra que la rigidité du support de réducteur 40 peut être définie de manière correspondante pour des modes de réalisation avec des réducteurs épicycloïdaux différents.
- [0412] L'inventeur a trouvé que des rapports particuliers des paramètres définis ci-dessus ont un impact significatif sur la performance de réducteur. En particulier, une, certaine ou la totalité des conditions ci-dessous peut s'appliquer à n'importe quel mode de réalisation :
- [0413] Dans divers modes de réalisation, la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30 est supérieure ou égale à $1,05 \times 10^9$ N/m, et éventuellement dans la plage allant de $1,05 \times 10^9$ à $8,00 \times 10^9$ N/m. Le diamètre de réducteur et/ou la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30 dans de tels modes de réalisation peuvent se trouver dans n'importe laquelle des plages spécifiées ci-dessus.
- [0414] Dans divers modes de réalisation, un rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire de :
- [0415] [Math.42]

$$\frac{\text{rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38}}{\text{rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et l'engrenage solaire 28}}$$
- [0416] est inférieur ou égal à 1,28, et éventuellement inférieur ou égal à 1,235 ou inférieur ou égal à 1,23. Dans des modes de réalisation alternatifs ou supplémentaires, le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire peut être supérieur ou égal à 0,9, et éventuellement dans la plage allant de 0,9 à 1,3. ou de 0,90 à 1,28.
- [0417] Dans divers modes de réalisation, le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire est dans la plage allant de $9,00 \times 10^{-1}$ à $1,28 \times 10^0$ (c'est-à-dire 0,900 à 1,28), et éventuellement de 0,95 à 1,23. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire peut être dans la plage allant de 0,95 à 1,28, et éventuellement peut être dans la plage allant de 0,95 à 1,23 (et éventuellement peut être égal à 1,21). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire peut être dans la plage allant de 0,9 à 1,23 (et éventuellement peut être égal à 1,15).
- [0418] Dans divers modes de réalisation, un produit des composantes du rapport

d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire, c'est-à-dire la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38 multipliée par la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et l'engrenage solaire 28, peut être calculé. La valeur de ce produit, dans divers modes de réalisation, peut être supérieure ou égale à $4,7 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $1,5 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement peut être supérieure ou égale à $5,1 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $1,3 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la valeur de produit peut être supérieure ou égale à $4,7 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $8,0 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la valeur de produit peut être supérieure ou égale à $6,0 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $1,5 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0419] Dans divers modes de réalisation, un rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire de :

[0420] [Math.43]

rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites 34

rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et l'engrenage solaire 28

[0421] est supérieur ou égal à $2,60 \times 10^{-1}$.

[0422] Dans divers modes de réalisation, le rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire peut être supérieur ou égal à $2,60 \times 10^{-1}$, et éventuellement supérieur ou égal à $4,5 \times 10^0$, et éventuellement en outre supérieur ou égal à 5,1. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm le rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire peut être supérieur ou égal à 0,6, et éventuellement peut être supérieur ou égal à 2 ou 5 (et éventuellement peut être égal à 5,82). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire peut être supérieur ou égal à 0,94, et éventuellement supérieur ou égal à 5 (et éventuellement peut être égal à 9,47).

[0423] Dans divers modes de réalisation, le rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire est dans la plage allant de $2,60 \times 10^{-1}$ à $1,10 \times 10^3$, et éventuellement de $4,5 \times 10^0$ ou $5,1 \times 10^0$ à $9,5 \times 10^1$ (c'est-à-dire de 4,5 ou 5,1 à 95). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm le rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire peut être dans la plage allant de 0,6 à 58, et éventuellement peut être dans la plage allant de 2 ou 5 à 10 (et éventuellement peut être

égal à 5,82). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire peut être dans la plage allant de 0,94 à 95, et éventuellement dans la plage allant de 5 à 16 (et éventuellement peut être égal à 9,47).

[0424] Dans divers modes de réalisation, un produit des composantes du rapport d'engrènement de porte-satellites à engrenage solaire, c'est-à-dire la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites 34 multipliée par la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et l'engrenage solaire 28, peut être calculé. La valeur de ce produit, dans divers modes de réalisation, peut être supérieure ou égale à $5,0 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $2,0 \times 10^{22} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement peut être supérieure ou égale à $1,8 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $1,0 \times 10^{21} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la valeur de produit peut être supérieure ou égale à $1,8 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $8,0 \times 10^{20} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la valeur de produit peut être supérieure ou égale à $5,0 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $8,0 \times 10^{21} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0425] Dans divers modes de réalisation, un rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée de :

[0426] [Math.46]

$$\frac{\text{rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites 34}}{\text{rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38}}$$

[0427] est supérieur ou égal à 0,2.

[0428] Dans divers modes de réalisation, le rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée peut être supérieur ou égal à $2,00 \times 10^{-1}$ (c'est-à-dire 0,200), et éventuellement peut être supérieur ou égal à $3,8 \times 10^0$ (c'est-à-dire 3,8). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm le rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée peut être supérieur ou égal à 3,8, et éventuellement supérieur ou égal à 3,9 (et éventuellement peut être égal à 4,79). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm le rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée peut être supérieur ou égal à 4,0, et éventuellement peut être supérieur ou égal à 5 (et éventuellement peut être égal à 8,24).

[0429] Dans divers modes de réalisation, le rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée est dans la plage allant de $2,00 \times 10^{-1}$ à $9,00 \times 10^2$, et éventuellement de

$3,8 \times 10^0$ à $9,0 \times 10^1$ (c'est-à-dire de 3,8 à 90). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, le rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée peut être dans la plage allant de 3,8 à 90, et éventuellement peut être dans la plage allant de 3,9 à 7,0 (et éventuellement peut être égal à 4,79). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée peut être dans la plage allant de 4,0 à $5,0 \times 10^2$, et éventuellement dans la plage allant de 5 à 20 (et éventuellement peut être égal à 8,24).

[0430] Dans divers modes de réalisation, un produit des composantes du rapport d'engrènement de porte-satellites à couronne dentée, c'est-à-dire la rigidité torsionnelle linéaire efficace du porte-satellites 34 multipliée par la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38, peut être calculé. La valeur de ce produit, dans divers modes de réalisation, peut être supérieure ou égale à $5,0 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $2,6 \times 10^{22} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement peut être supérieure ou égale à $2,2 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $2,6 \times 10^{21} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la valeur de produit peut être supérieure ou égale à $2,2 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $2,6 \times 10^{21} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la valeur de produit peut être supérieure ou égale à $2,5 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $6,0 \times 10^{21} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0431] Dans divers modes de réalisation, un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission de :

[0432] [Math.47]

la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30
rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission

[0433] est inférieur ou égal à 11, et éventuellement inférieur ou égal à 4,6.

[0434] Dans divers modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission est inférieur ou égal à 2,7, et éventuellement inférieur ou égal à 2,70.

[0435] Dans divers modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission est dans la plage allant de $3,4 \times 10^{-1}$ à $1,1 \times 10^1$ (c'est-à-dire de 0,34 à 11), et éventuellement dans la plage allant de 0,90 à 4,6. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission peut être dans la plage allant de 1,4 à 2,7, et éventuellement peut être dans la plage allant de 2,0 à 2,6 (et éventuellement peut être égal à 2,45). Dans certains

modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à transmission peut être dans la plage allant de 0,50 à 4,6, et éventuellement dans la plage allant de 1,2 à 2,3 (et éventuellement peut être égal à 1,99).

[0436] Dans divers modes de réalisation, un produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et de transmission de :

[0437] [Math.48]

rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30 $\times$ *rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission*

[0438] est supérieur ou égal à $1,6 \times 10^{17} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement supérieur ou égal à $3,2 \times 10^{17} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et de transmission peut être supérieur ou égal à $4,2 \times 10^{17} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et de transmission peut être supérieur ou égal à $5,8 \times 10^{17} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0439] Dans divers modes de réalisation, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et de transmission est dans la plage allant de $1,6 \times 10^{17}$ à $2,9 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement dans la plage allant de $3,2 \times 10^{17}$ à $1,5 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et de transmission peut être dans la plage allant de $4,2 \times 10^{17}$ à $1,5 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et de transmission peut être dans la plage allant de $5,8 \times 10^{17}$ à $2,9 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0440] Dans divers modes de réalisation, un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de soufflante de :

[0441] [Math.49]

la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30
la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante 36

[0442] est inférieur ou égal à 1,6, et éventuellement supérieur à 0,3.

[0443] Dans divers modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de soufflante peut être inférieur ou égal à $1,6 \times 10^0$ (c'est-à-dire 1,6), et éventuellement peut être inférieur ou égal à 0,85. Dans certains modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de soufflante peut être inférieur ou égal à 0,80, et éventuellement peut être inférieur ou égal à 0,79 ou 0,75.

- [0444] Dans divers modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de soufflante peut être dans la plage allant de $3,0 \times 10^{-1}$ (c'est-à-dire 0,30) à $1,6 \times 10^0$ (c'est-à-dire 1,6), et éventuellement peut être dans la plage allant de 0,4 à 0,85. Dans certains modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de soufflante peut être dans la plage allant de 0,45 à 0,80, et éventuellement peut être dans la plage allant de 0,50 à 0,75. Par exemple, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de soufflante peut être au moins essentiellement égal à 0,78, par exemple valant 0,782 ou 0,778.
- [0445] Dans divers modes de réalisation, un produit des composantes du rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de soufflante, c'est-à-dire la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30 multipliée par la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de soufflante 36, peut être calculé. La valeur de ce produit, dans divers modes de réalisation, peut être supérieure ou égale à $1,3 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $5,0 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement peut être supérieure ou égale à $1,4 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $3,0 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, la valeur de produit peut être supérieure ou égale à $1,5 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $8,5 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, la valeur de produit peut être supérieure ou égale à $1,7 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement inférieure à $5,0 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.
- [0446] Dans divers modes de réalisation, un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de cœur de :
- [0447] [Math.50]
la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30
la rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de cœur 26
- [0448] est supérieur ou égal à 0,2, et éventuellement inférieur ou égal à 90 ou inférieur ou égal à 29, et éventuellement en outre inférieur ou égal à 2,9.
- [0449] Dans divers modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de cœur est inférieur ou égal à $2,9 \times 10^1$, et éventuellement inférieur ou égal à $9,0 \times 10^1$. Dans certains modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de cœur peut être inférieur ou égal à 2,4, et éventuellement peut être inférieur ou égal à 2,40. Dans certains modes de réalisation le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de cœur peut être inférieur ou égal à $2,9 \times 10^1$, et éventuellement peut être inférieur ou égal à 2,50, ou à 2,38.
- [0450] Dans divers modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de cœur est dans la plage allant de $2,0 \times 10^{-1}$ à $2,9 \times 10^1$, et éventuellement dans la

plage allant de $9,0 \times 10^{-1}$ à $9,0 \times 10^1$. Dans certains modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de cœur peut être dans la plage allant de $2,0 \times 10^{-1}$ à 2,4, et éventuellement peut être dans la plage allant de 2,25 à 2,4 (et éventuellement peut être égal à 2,40). Dans certains modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à arbre de cœur peut être dans la plage allant de 2,4 à $2,9 \times 10^1$, et éventuellement peut être dans la plage allant de 2,10 à 2,50 (et éventuellement peut être égal à 2,38).

[0451] Dans divers modes de réalisation, un produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et d'arbre de cœur de :

[0452] [Math.51]

rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30 $\times$ *rigidité torsionnelle linéaire efficace de l'arbre de cœur 26*

[0453] est dans la plage allant de $1,0 \times 10^{17}$ à $3,0 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement dans la plage allant de $4,5 \times 10^{17}$ à $9,0 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et d'arbre de cœur peut être dans la plage allant de $4,5 \times 10^{17}$ à $8,0 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et d'arbre de cœur peut être dans la plage allant de $8,0 \times 10^{17}$ à $3,0 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0454] Dans divers modes de réalisation, un rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à support de réducteur de :

[0455] [Math.52]

la rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30
la rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur 40

[0456] est dans la plage allant de $6,5 \times 10^{-2}$ à $2,6 \times 10^1$, et éventuellement dans la plage allant de 1,0 à 1,6.

[0457] Dans divers modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à support de réducteur est dans la plage allant de $6,5 \times 10^{-2}$ à $2,6 \times 10^1$, et éventuellement dans la plage allant de $2,6 \times 10^{-1}$ à 8,0. Dans certains modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à support de réducteur peut être dans la plage allant de $6,5 \times 10^{-2}$ à 1,1, ou de $6,5 \times 10^{-2}$ à 1,4, et éventuellement peut être dans la plage allant de 1,20 à 1,32 (et éventuellement peut être égal à 1,29). Dans certains modes de réalisation, le rapport de rigidité d'engrènement d'engrenages à support de réducteur peut être dans la plage allant de 1,1 à $2,6 \times 10^1$, et éventuellement peut être dans la plage allant de 1,34 à 1,60 (et éventuellement peut être égal à 1,37).

[0458] Dans divers modes de réalisation, un produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et de support de réducteur de :

[0459] [Math.53]

rigidité globale d'engrènement d'engrenages du réducteur 30 × la rigidité torsionnelle linéaire efficace du support de réducteur 40

[0460] est supérieur ou égal à $2,0 \times 10^{17} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement supérieur ou égal à $9,0 \times 10^{17} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et d'arbre de cœur peut être supérieur ou égal à $5,0 \times 10^{17} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et d'arbre de cœur peut être supérieur ou égal à $1,0 \times 10^{18} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0461] Dans divers modes de réalisation, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et de support de réducteur est dans la plage allant de $2,0 \times 10^{17}$ à $4,1 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$, et éventuellement dans la plage allant de $9,0 \times 10^{17}$ à $2,1 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et d'arbre de cœur peut être dans la plage allant de $5,0 \times 10^{17}$ à $1,0 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le produit de rigidité d'engrènement d'engrenages et d'arbre de cœur peut être dans la plage allant de $1,0 \times 10^{18}$ à $4,1 \times 10^{19} \text{ N}^2\text{m}^{-2}$.

[0462] La [Fig.19] illustre comment les rigidités définies ici peuvent être mesurées. La [Fig.19] montre un tracé du déplacement δ résultant de l'application d'une charge L (par exemple une force, un moment ou un couple) appliquée à un composant pour lequel la rigidité est mesurée. À des niveaux de charge allant de zéro à L_P il y a une région non linéaire dans laquelle un déplacement est causé par un mouvement du composant (ou un mouvement relatif de parties indépendantes du composant) à mesure qu'il est chargé, plutôt que par une déformation du composant ; par exemple en déplacement au sein du dégagement entre les parties. À des niveaux de charge supérieurs à L_Q la limite élastique du composant a été dépassée et la charge appliquée ne cause plus de déformation élastique – une déformation plastique ou une cassure du composant peut se produire à la place. Entre les points P et Q la charge appliquée et le déplacement résultant ont une relation linéaire. La rigidité définie ici peut être déterminée en mesurant le gradient de la région linéaire entre les points P et Q (avec la rigidité étant l'inverse de ce gradient). Le gradient peut être trouvé pour une région de la région linéaire aussi grande que possible pour augmenter la précision de la mesure en fournissant un déplacement plus grand à mesurer. Par exemple, le gradient peut être trouvé en appliquant une charge égale ou juste supérieure à L_P et égale ou juste inférieure à L_Q . Des valeurs pour L_P et L_Q peuvent être estimées avant un essai sur la base

de caractéristiques de matériaux de façon à appliquer des charges appropriées. Bien que le déplacement soit désigné δ dans la présente description, l'homme du métier comprendra que des principes équivalents s'appliqueraient à un déplacement linéaire ou angulaire.

- [0463] Les rigidités définies ici, sauf indication contraire, sont pour le(s) composant(s) correspondant(s) lorsque le moteur est arrêté (c'est-à-dire à vitesse nulle/sur le banc). Les rigidités ne varient généralement pas significativement sur la plage de fonctionnement du moteur ; la rigidité aux conditions de croisière de l'aéronef auquel le moteur est utilisé (ces conditions de croisière étant telles que définies ailleurs dans le présent document) peut pour cette raison être la même que pour le moment où le moteur n'est pas en cours d'utilisation. Cependant, lorsque la rigidité varie sur la plage de fonctionnement du moteur, les rigidités définies ici doivent être comprises comme étant des valeurs pour le moment où le moteur est à la température ambiante et immobile.
- [0464] La présente description concerne également des procédés 1300 de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz 10 sur un aéronef. Les procédés 1300 sont illustrés sur la [Fig.21].
- [0465] Le procédé 1300 comprend le démarrage et le fonctionnement 1302 du moteur 10 (par exemple circulation au sol sur une piste, décollage, et montée de l'aéronef, comme approprié) pour atteindre des conditions de croisière. Une fois que les conditions de croisière ont été atteintes, le procédé 1300 comprend alors le fonctionnement 1304 du moteur à turbine à gaz 10, qui peut être tel que décrit dans un ou plusieurs modes de réalisation ailleurs dans le présent document, pour fournir une propulsion dans des conditions de croisière.
- [0466] Le moteur à turbine à gaz 10 est tel que, et/ou est exploité de telle sorte que, n'importe lesquels ou la totalité des paramètres ou rapports définis ici sont au sein de la plage spécifiée.
- [0467] Le couple sur l'arbre de cœur 26 peut être désigné couple d'entrée, car celui-ci est le couple qui est délivré en entrée au réducteur 30. Le couple fourni par la turbine 19 à l'arbre de cœur (c'est-à-dire le couple sur l'arbre de cœur) aux conditions de croisière peut être supérieur ou égal à 10 000 Nm, et éventuellement supérieur ou égal à 11 000 Nm. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, le couple sur l'arbre de cœur 26 aux conditions de croisière peut être supérieur ou égal à 10 000 ou 11 000 Nm (et éventuellement peut être égal à 12 760 Nm). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le couple sur l'arbre de cœur 26 aux conditions de croisière peut être supérieur ou égal à 25 000 Nm, et éventuellement supérieur ou égal à 30 000 Nm (et éventuellement peut être égal à

34 000 Nm).

- [0468] Le couple sur l'arbre de cœur aux conditions de croisière peut être dans la plage allant de 10 000 à 50 000 Nm, et éventuellement de 11 000 à 45 000 Nm. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, le couple sur l'arbre de cœur 26 aux conditions de croisière peut être dans la plage allant de 10 000 à 15 000 Nm, et éventuellement de 11 000 à 14 000 Nm (et éventuellement peut être égal à 12 760 Nm). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le couple sur l'arbre de cœur 26 aux conditions de croisière peut être dans la plage allant de 25 000 Nm à 50 000 Nm, et éventuellement de 30 000 à 40 000 Nm (et éventuellement peut être égal à 34 000 Nm).
- [0469] Dans des conditions de poussée maximale au décollage (PMD), le couple sur l'arbre de cœur 26 peut être supérieur ou égal à 28 000 Nm, et éventuellement supérieur ou égal à 30 000 Nm. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, le couple sur l'arbre de cœur 26 dans des conditions PMD peut être supérieur ou égal à 28 000, et éventuellement supérieur ou égal à 35 000 Nm (et éventuellement peut être égal à 36 300 Nm). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le couple sur l'arbre de cœur 26 dans des conditions PMD peut être supérieur ou égal à 70 000 Nm, et éventuellement supérieur ou égal à 80 000 ou 82 000 Nm (et éventuellement peut être égal à 87 000 Nm).
- [0470] Dans des conditions de poussée maximale au décollage (PMD), le couple sur l'arbre de cœur 26 peut être dans la plage allant de 28 000 Nm à 135,000 Nm, et éventuellement dans la plage allant de 30 000 à 110 000 Nm. Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 240 à 280 cm, le couple sur l'arbre de cœur 26 dans des conditions PMD peut être dans la plage allant de 28 000 à 50 000 Nm, et éventuellement de 35 000 à 38 000 Nm (et éventuellement peut être égal à 36 300 Nm). Dans certains modes de réalisation, par exemple dans des modes de réalisation dans lesquels le diamètre de soufflante est dans la plage allant de 330 à 380 cm, le couple sur l'arbre de cœur 26 dans des conditions PMD peut être dans la plage allant de 70 000 Nm à 135 000 Nm, et éventuellement de 80 000 à 90 000 Nm ou 82 000 à 92 000 Nm (et éventuellement peut être égal à 87 000 Nm).
- [0471] Le couple a des unités de [force]x[distance] et peut être exprimé en unités de Newton mètres (N.m), et est défini de la façon habituelle comme il serait compris par l'homme du métier.

[0472] Il sera entendu que l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits ci-dessus et que diverses modifications et améliorations peuvent être apportées sans s'écarter des concepts décrits ici. Sauf exclusion mutuelle, toute caractéristique peut être employée séparément ou en combinaison avec d'autres caractéristiques et la description s'étend à et inclut toutes les combinaisons et sous-combinaisons d'une ou plusieurs caractéristiques décrites ici.

Revendications

[Revendication 1]

Moteur à turbine à gaz (10) pour un aéronef comprenant :

un cœur de moteur (11) comprenant une turbine (19), un compresseur (14) et un arbre de cœur (26) raccordant la turbine au compresseur ;

une soufflante (23) située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et

un réducteur (30) agencé pour recevoir une entrée à partir de l'arbre de cœur (26) et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante (23) de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, le réducteur (30) étant un réducteur épicycloïdal comprenant :

un engrenage solaire (28), une pluralité d'engrenages satellites (32), une couronne dentée (38) et un porte-satellites (34) sur lequel les engrenages satellites (32) sont montés, le réducteur (30) ayant une rigidité globale d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et la couronne dentée (38) et une rigidité globale d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et l'engrenage solaire (28),

et dans lequel le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire de :

$$\frac{\text{la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et la couronne dentée (38)}}{\text{la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et l'engrenage solaire (28)}}$$

est dans la plage allant de 0,90 à 1,28.

[Revendication 2]

Moteur à turbine à gaz (10) selon la revendication 1 dans lequel le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire est dans la plage allant de 0,95 à 1,23.

[Revendication 3]

Moteur à turbine à gaz (10) selon la revendication 1 ou la revendication 2 dans lequel le réducteur (30) a un diamètre de réducteur défini comme le diamètre de cercle primitif de la couronne dentée (38), et le diamètre de réducteur est dans la plage allant de 0,55 m à 1,2 m, et éventuellement de 0,57 à 1,0 m.

[Revendication 4]

Moteur à turbine à gaz (10) selon une quelconque revendication précédente dans lequel :

(i) une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et la couronne dentée (38) est dans la plage allant de $1,4 \times 10^9$ à $1,05 \times 10^{10}$ N/m ; et/ou

(ii) une rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages sa-

tellites (32) et l'engrenage solaire (28) est dans la plage allant de $1,20 \times 10^9$ à $9,5 \times 10^9$ N/m.

[Revendication 5]

Moteur à turbine à gaz (10) selon une quelconque revendication précédente, dans lequel soit :

(i) la soufflante (23) a un diamètre de soufflante dans la plage allant de 220 à 230 cm, et le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire est dans la plage allant de 0,95 à 1,28 ; soit

(ii) la soufflante (23) a un diamètre de soufflante dans la plage allant de 240 à 280 cm, et le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire est dans la plage allant de 0,95 à 1,28 ; soit

(iii) la soufflante (23) a un diamètre de soufflante dans la plage allant de 330 à 380 cm, et le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire est dans la plage allant de 0,90 à 1,23 ;.

[Revendication 6]

Moteur à turbine à gaz (10) selon une quelconque revendication précédente, dans lequel la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et la couronne dentée (38) multipliée par la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et l'engrenage solaire (28) est dans la plage allant de $4,7 \times 10^{18}$ N²m⁻² à $1,5 \times 10^{19}$ N²m⁻².

[Revendication 7]

Moteur à turbine à gaz (10) selon une quelconque revendication précédente dans lequel une rigidité torsionnelle du porte-satellites (34) est supérieure ou égale à $1,60 \times 10^8$ Nm/rad.

[Revendication 8]

Moteur à turbine à gaz (10) selon une quelconque revendication précédente dans lequel :

la soufflante a un diamètre de soufflante dans la plage allant de 240 cm à 280 cm, et la vitesse de rotation de la soufflante aux conditions de croisière est dans la plage allant de 1700 tr/min à 2500 tr/min, et éventuellement dans la plage allant de 1800 tr/min à 2300 tr/min ; ou

la soufflante a un diamètre de soufflante dans la plage allant de 330 cm à 380 cm, et la vitesse de rotation de la soufflante aux conditions de croisière est dans la plage allant de 1200 tr/min à 2000 tr/min, et éventuellement dans la plage allant de 1300 tr/min à 1800 tr/min.

[Revendication 9]

Moteur à turbine à gaz (10) selon une quelconque revendication précédente, dans lequel le porte-satellites (34) comprend une plaque avant (34a) et une plaque arrière (34b) et des broches (33) s'étendant entre elles, chaque broche (33) étant agencée pour avoir un engrenage satellite (32) monté sur celle-ci, et dans lequel éventuellement le porte-satellites (34) comprend en outre des ergots (34c) s'étendant entre les

plaques avant et arrière (34a, 34b), les ergots (34c) étant agencés pour passer entre des engrenages satellites adjacents (32).

[Revendication 10]

Moteur à turbine à gaz (10) selon une quelconque revendication précédente, dans lequel :

la turbine est une première turbine (19), le compresseur est un premier compresseur (14), et l'arbre de cœur est un premier arbre de cœur (26) ; le cœur de moteur comprend en outre une deuxième turbine (17), un deuxième compresseur (15), et un deuxième arbre de cœur (27) raccordant la deuxième turbine au deuxième compresseur ; et la deuxième turbine, le deuxième compresseur, et le deuxième arbre de cœur sont agencés pour tourner à une vitesse de rotation supérieure à celle du premier arbre de cœur.

[Revendication 11]

Moteur à turbine à gaz (10) selon une quelconque revendication précédente, dans lequel le moteur comprend un arbre de soufflante s'étendant entre le réducteur (30) et la soufflante (23), et un support de réducteur (40) agencé pour monter le réducteur (30) à l'intérieur du moteur (10), l'arbre de soufflante (36), l'arbre de cœur (26), le réducteur (30) et le support de réducteur (40) formant ensemble une transmission, et dans lequel la rigidité torsionnelle linéaire efficace de la transmission est supérieure ou égale à $1,60 \times 10^8$ N/m.

[Revendication 12]

Moteur à turbine à gaz (10) selon une quelconque revendication précédente, dans lequel :

- (i) un rapport d'engrenage du réducteur (30) est dans la plage allant de 3,1 à 3,4; et/ou
- (ii) une poussée spécifique du moteur (10) en croisière est dans la plage allant de 95 à 105 NKg⁻¹s ; et/ou
- (iii) un rapport de contournement en croisière est dans la plage allant de 10 à 12 ; et/ou
- (iv) le réducteur (30) comprend un nombre impair d'engrenages satellites (32), et éventuellement comprend 3, 5 ou 7 engrenages satellites (32) ; et/ou
- (v) la soufflante (23) a un diamètre de soufflante supérieur à 220 cm et inférieur ou égal à 230 cm ; et/ou
- (vi) la vitesse de rotation de la soufflante (23) aux conditions de croisière est inférieure à 2500 tr/min.

[Revendication 13]

Moteur à turbine à gaz (10) selon une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel :

- (i) un rapport d'engrenage du réducteur (30) est dans la plage allant de

3,1 à 3,8; et/ou

(ii) une poussée spécifique du moteur (10) en croisière est dans la plage allant de 80 à 90 NKg⁻¹s ; et/ou

(iii) un rapport de contournement en croisière est dans la plage allant de 13 à 15 ; et/ou

(iv) le réducteur (30) comprend un nombre impair d'engrenages satellites (32), et éventuellement comprend 3, 5 ou 7 engrenages satellites (32) ; et/ou

(v) la soufflante (23) a un diamètre de soufflante supérieur à 330 cm et inférieur ou égal à 360 cm ; et/ou

(vi) la vitesse de rotation de la soufflante (23) aux conditions de croisière est inférieure à 2300 tr/min.

[Revendication 14]

Procédé (1300) de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz (10) pour un aéronef comprenant : un cœur de moteur (11) comprenant une turbine (19), un compresseur (14) et un arbre de cœur (26) raccordant la turbine au compresseur ;

une soufflante (23) située en amont du cœur de moteur, la soufflante comprenant une pluralité d'aubes de soufflante ; et

un réducteur (30) agencé pour recevoir une entrée depuis l'arbre de cœur (26) et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante (23) de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, le réducteur (30) étant un réducteur épicycloïdal comprenant un engrenage solaire (28), une pluralité d'engrenages satellites (32), une couronne dentée (38) et un porte-satellites (34) sur lequel les engrenages satellites (32) sont montés, le réducteur (30) ayant une rigidité globale d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et la couronne dentée (38) et une rigidité globale d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et l'engrenage solaire (28),

et dans lequel le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire de :

$\frac{\text{la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et la couronne dentée (38)}}{\text{la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et l'engrenage solaire (28)}}$

est dans la plage allant de 0,90 à 1,28.

[Revendication 15]

Procédé (1300) selon la revendication 14, dans lequel le procédé comprend l'entraînement du réducteur (30) avec un couple d'entrée :

(i) supérieur ou égal à 10 000 Nm en croisière ; et/ou

(ii) supérieur ou égal à 28 000 Nm à la poussée maximale au décollage.

[Revendication 16] Propulseur (10) pour un aéronef comprenant :

une soufflante (23) comprenant une pluralité de pales de soufflante ;

un réducteur (30) ; et

une unité motrice (11) pour entraîner la soufflante (23) via le réducteur (30) ;

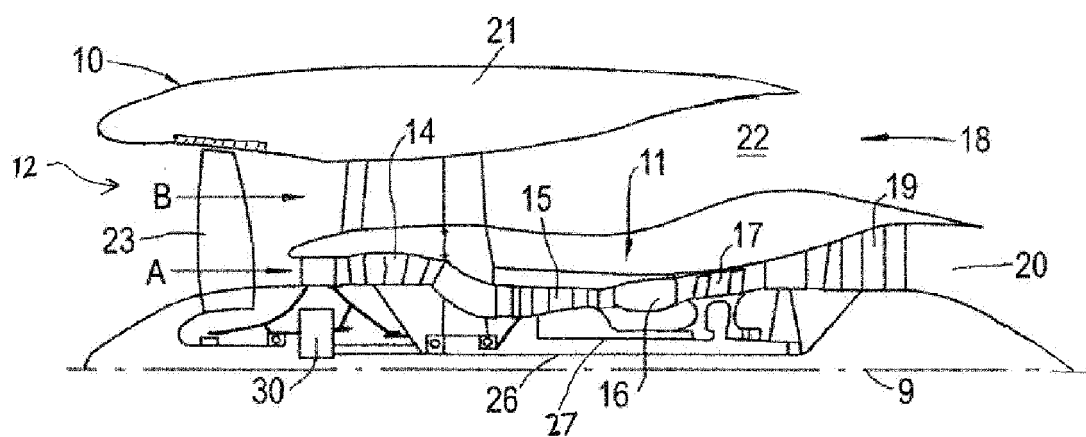
dans lequel le réducteur (30) est un réducteur épicycloïdal agencé pour recevoir une entrée depuis un arbre de cœur (26) entraîné par l'unité motrice (11) et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante (23) de façon à entraîner la soufflante à une vitesse de rotation plus basse que l'arbre de cœur, et comprend un engrenage solaire (28), une pluralité d'engrenages satellites (32), une couronne dentée (38) et un porte-satellites (34) sur lequel les engrenages satellites (32) sont montés, le réducteur (30) ayant une rigidité globale d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et la couronne dentée (38) et une rigidité globale d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et l'engrenage solaire (28),

et dans lequel le rapport d'engrènement de couronne dentée à engrenage solaire de :

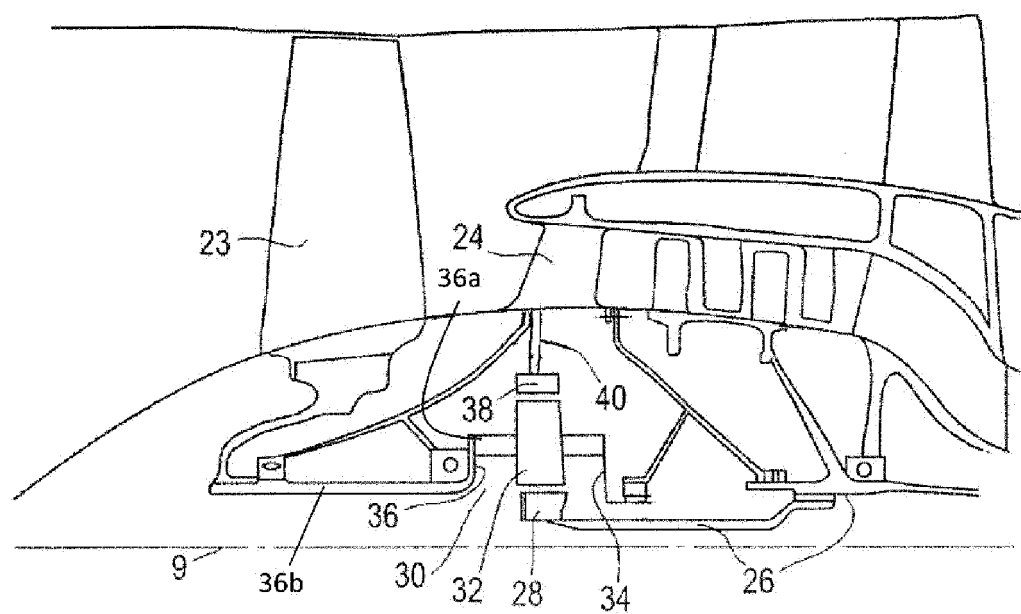
$$\frac{\text{la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et la couronne dentée (38)}}{\text{la rigidité d'engrènement d'engrenages entre les engrenages satellites (32) et l'engrenage solaire (28)}}$$

est dans la plage allant de 0,90 à 1,28.

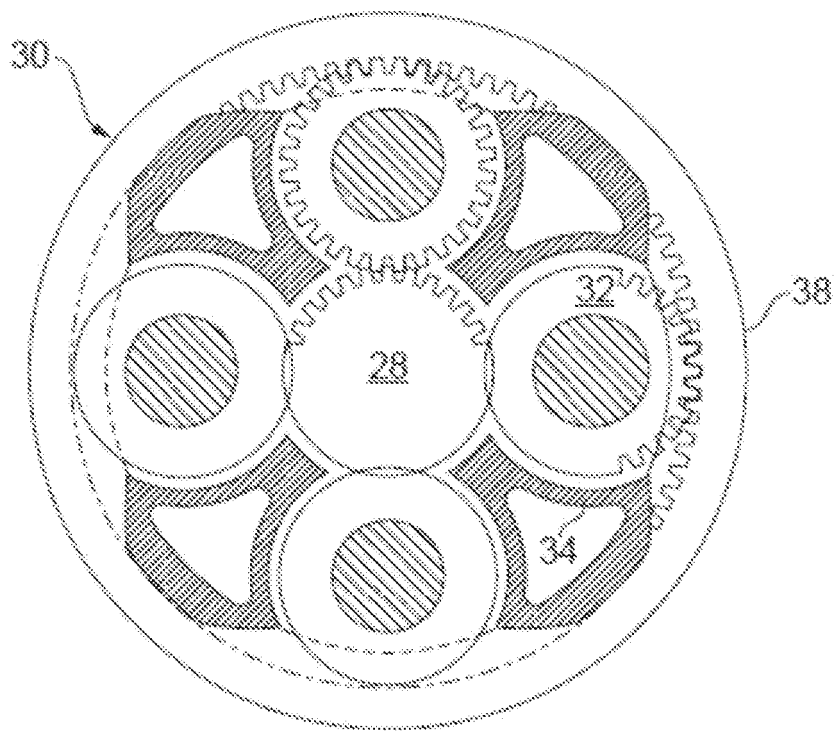
[Fig. 1]



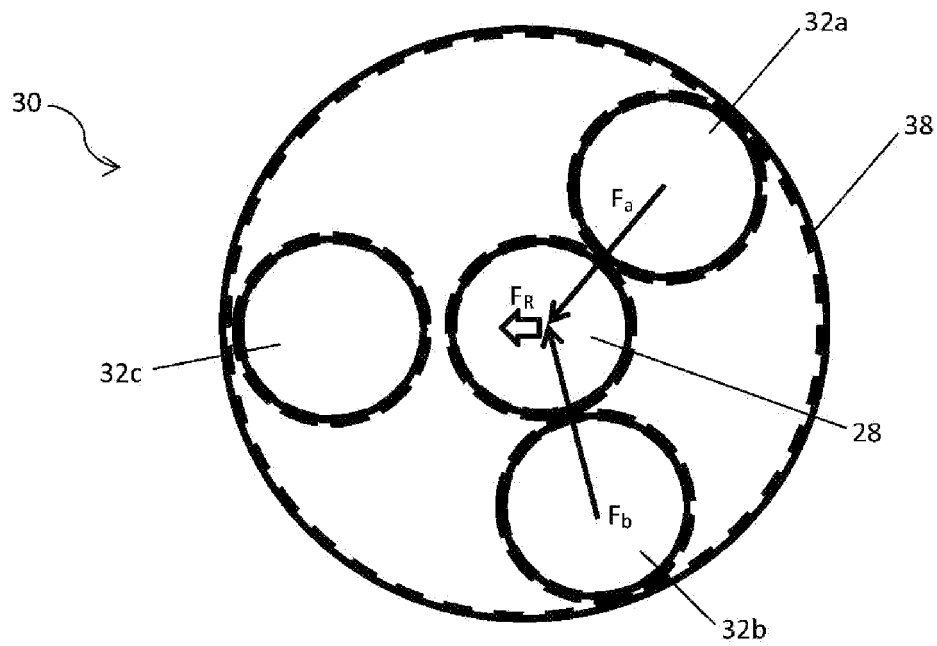
[Fig. 2]



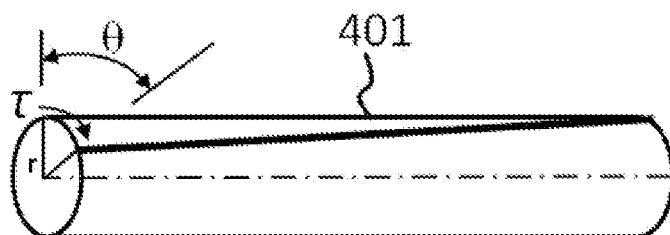
[Fig. 3]



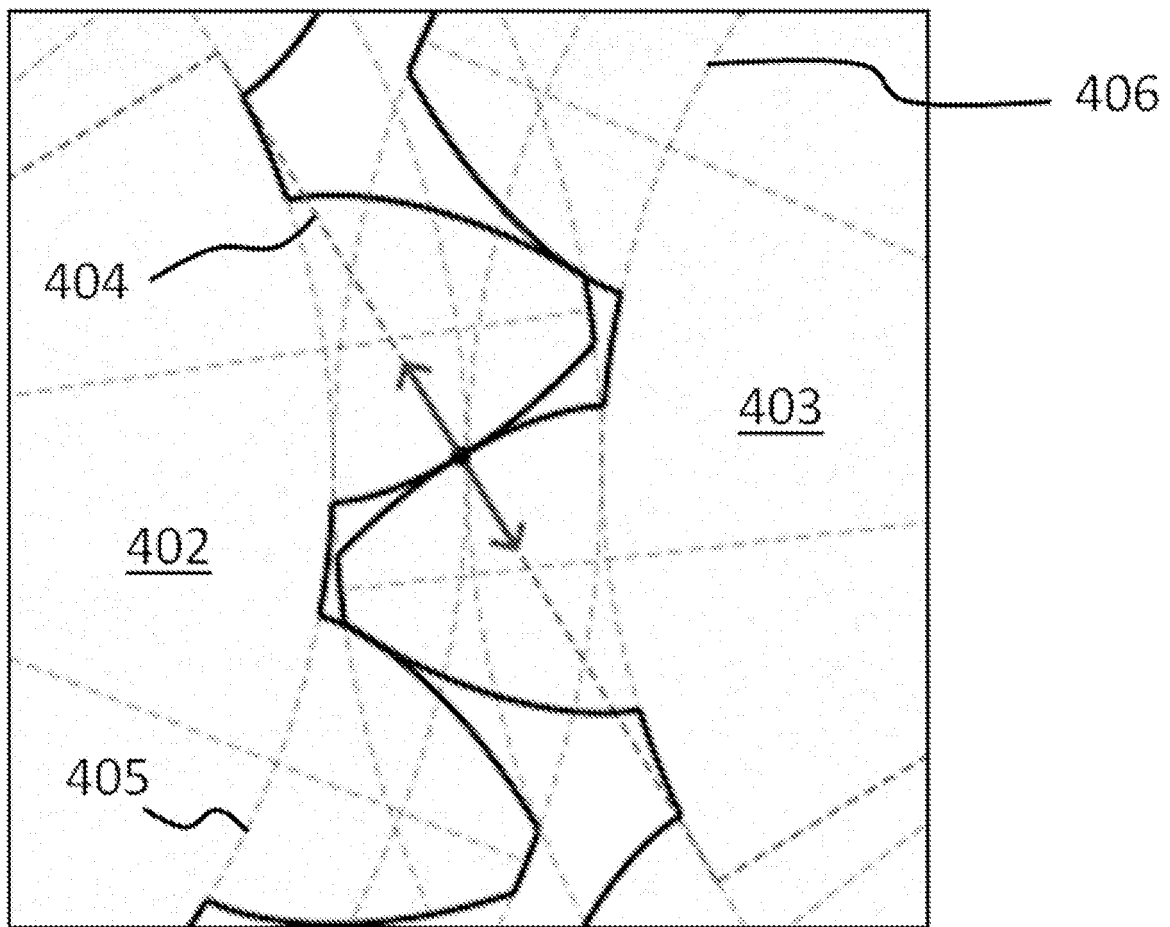
[Fig. 4]



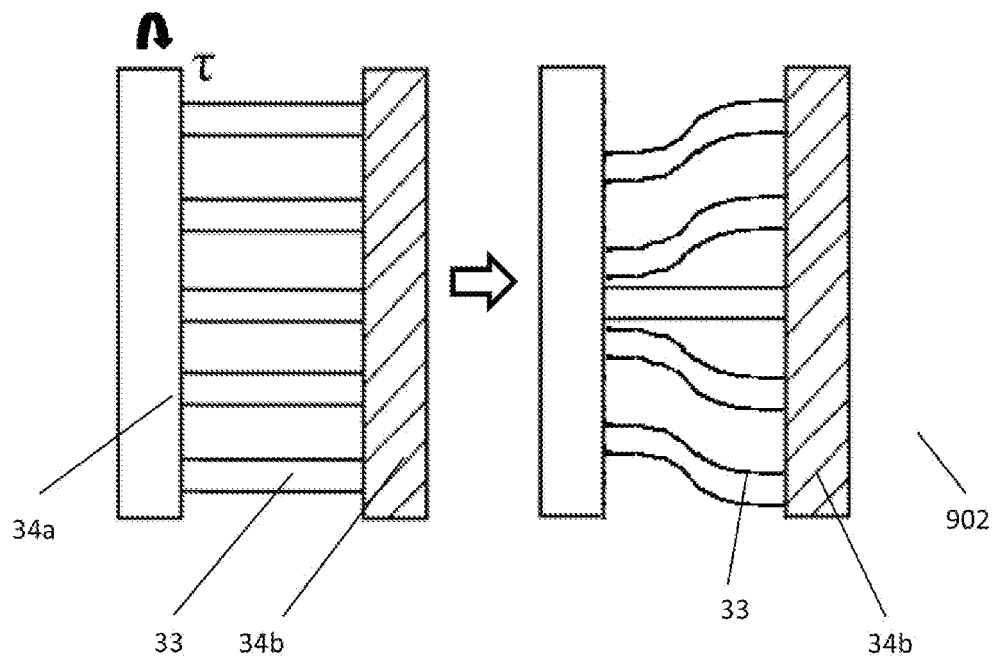
[Fig. 5]



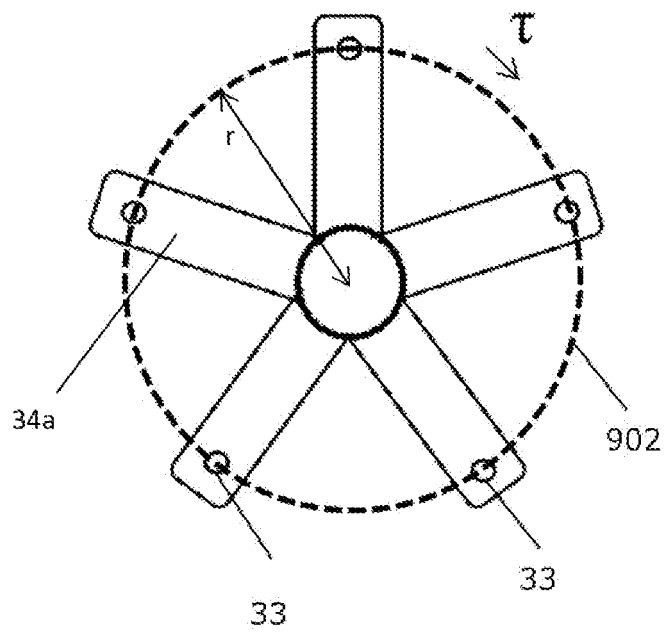
[Fig. 6]



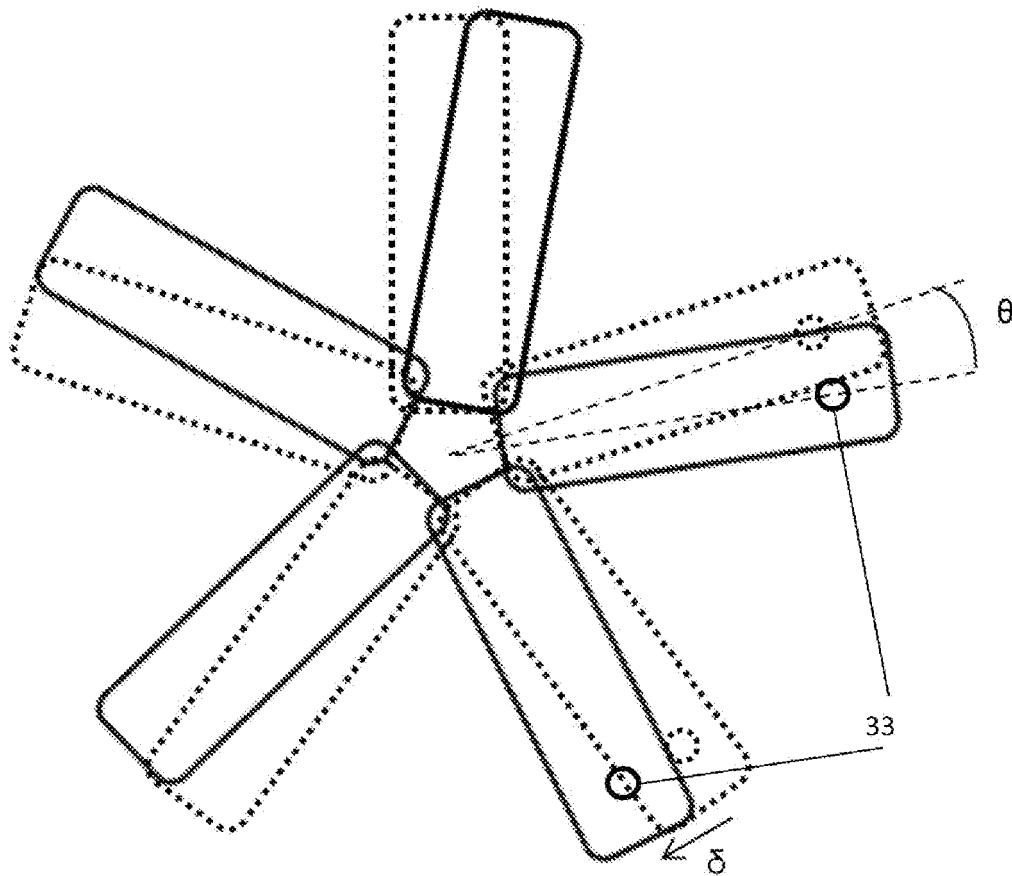
[Fig. 7]



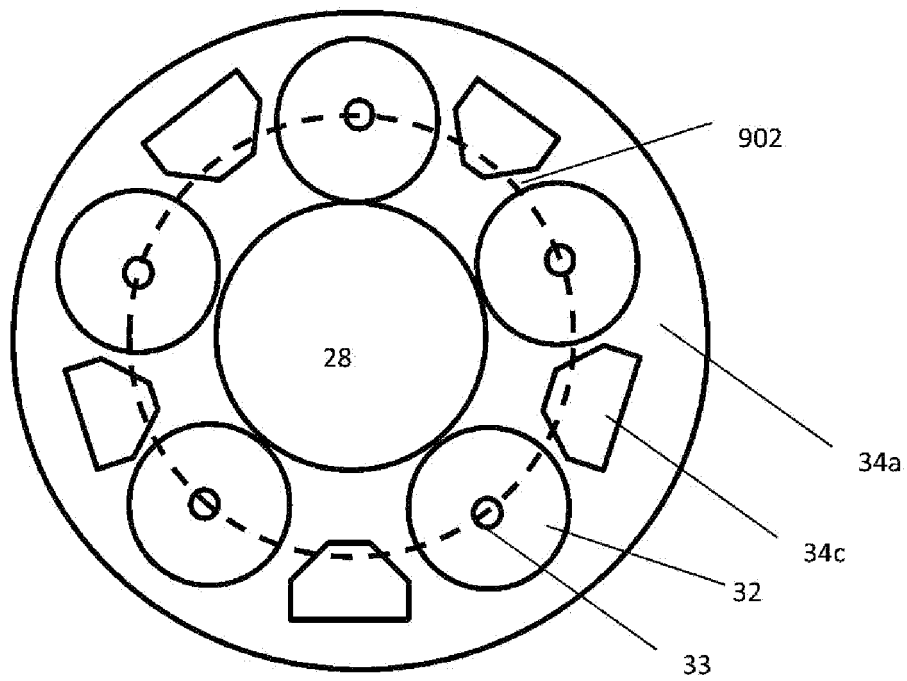
[Fig. 8]



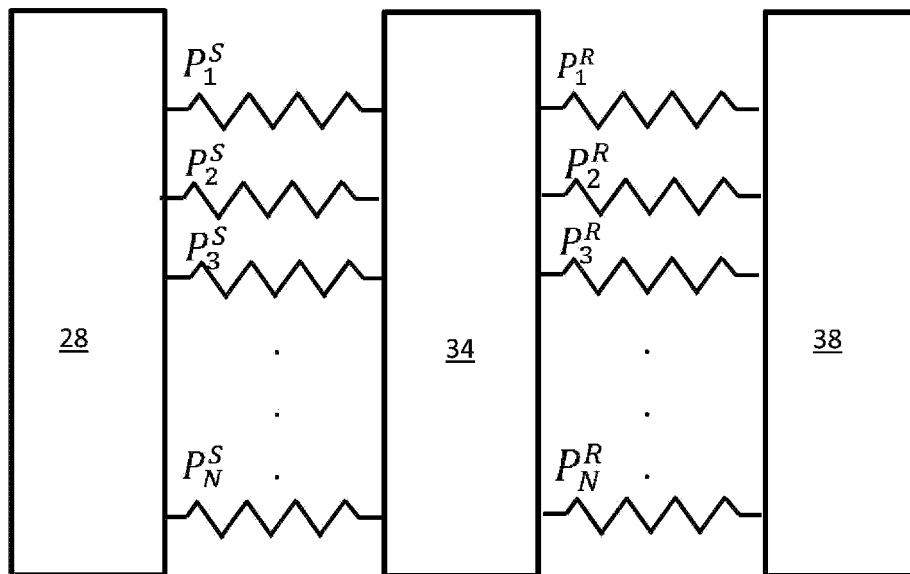
[Fig. 9]



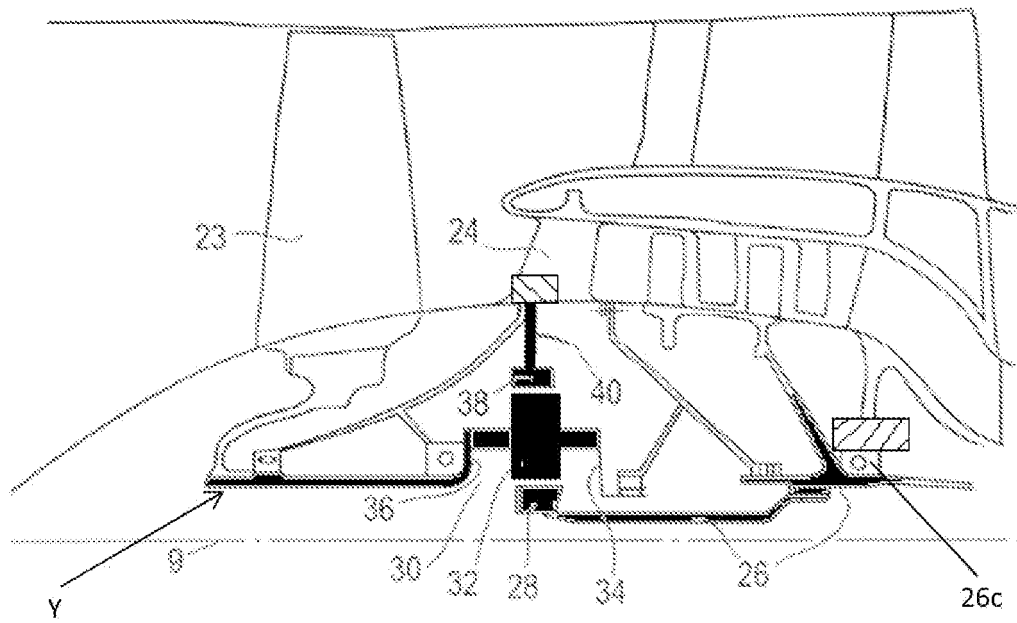
[Fig. 10]



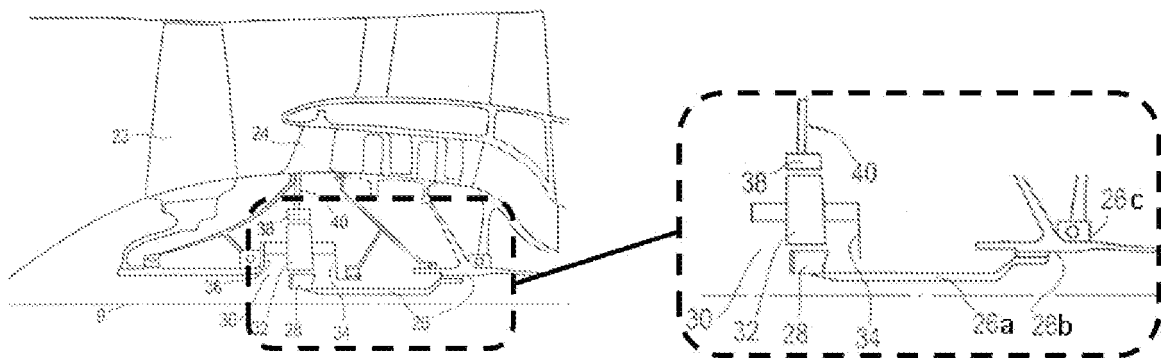
[Fig. 11]



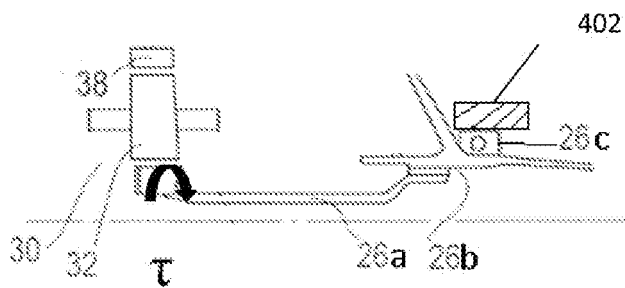
[Fig. 12]



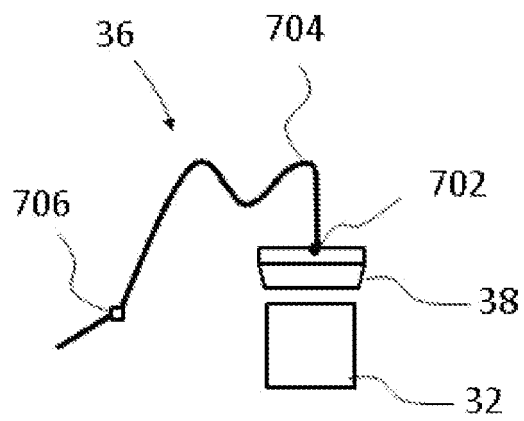
[Fig. 13]



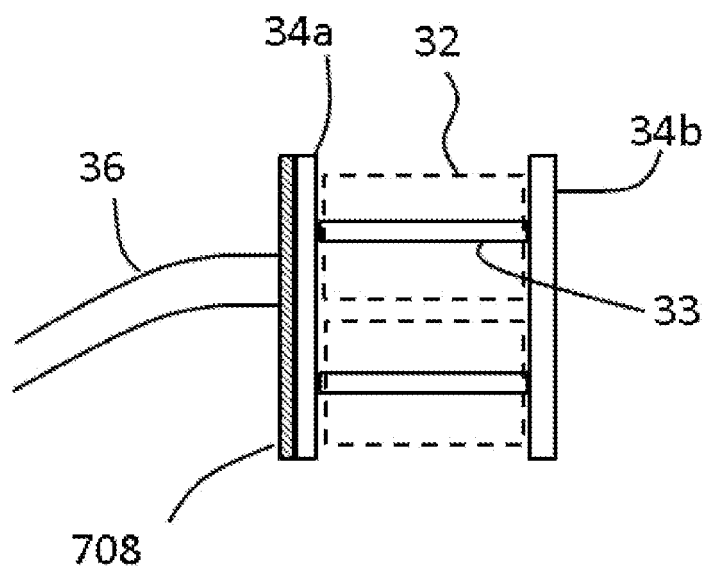
[Fig. 14]



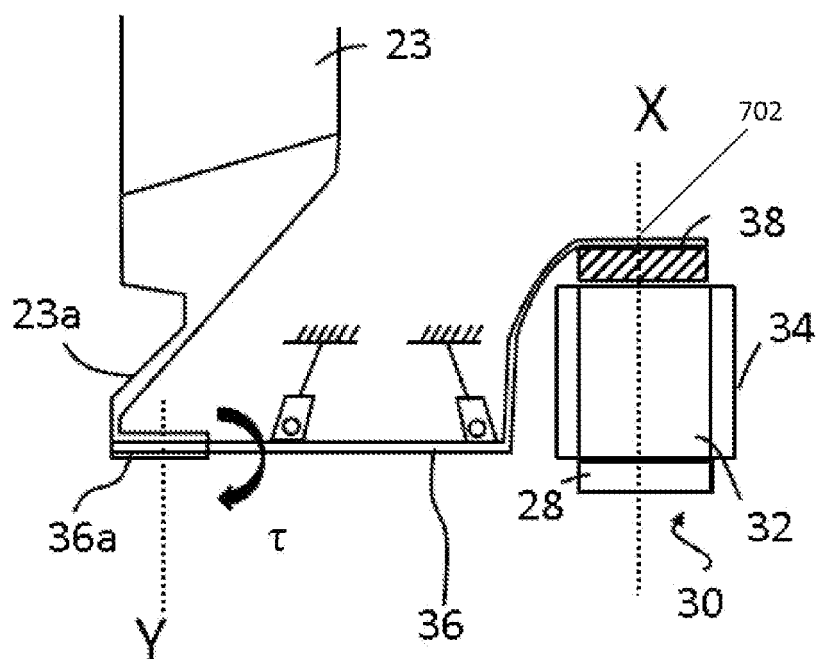
[Fig. 15]



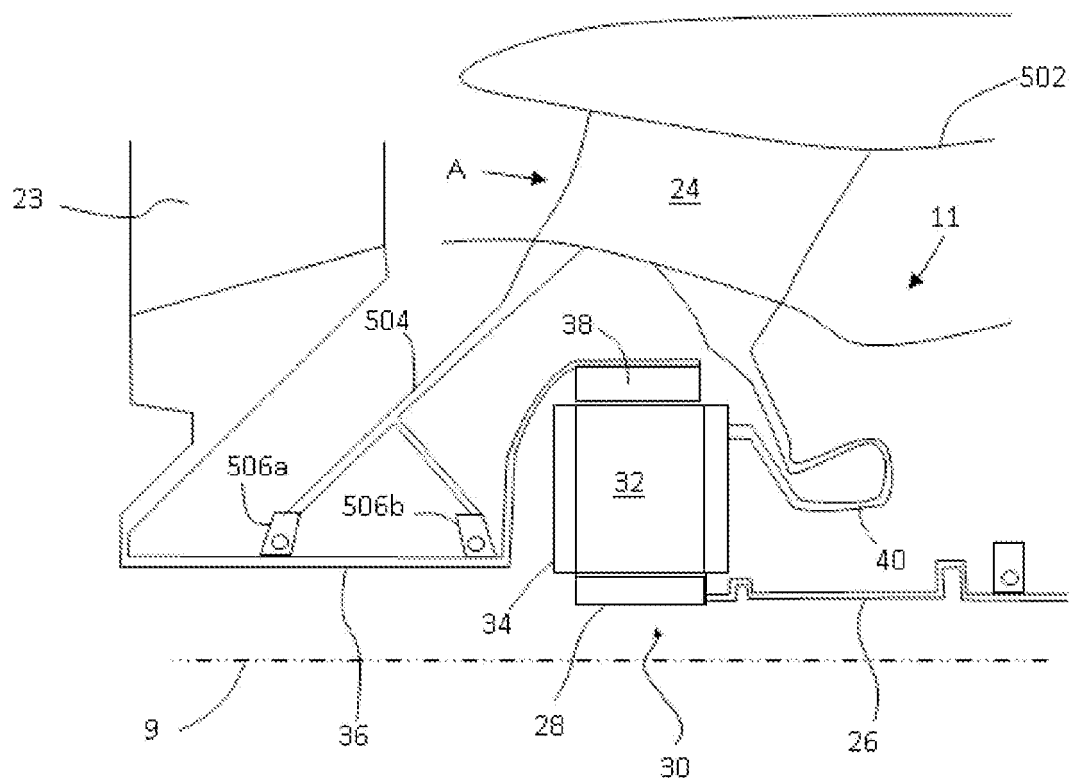
[Fig. 16]



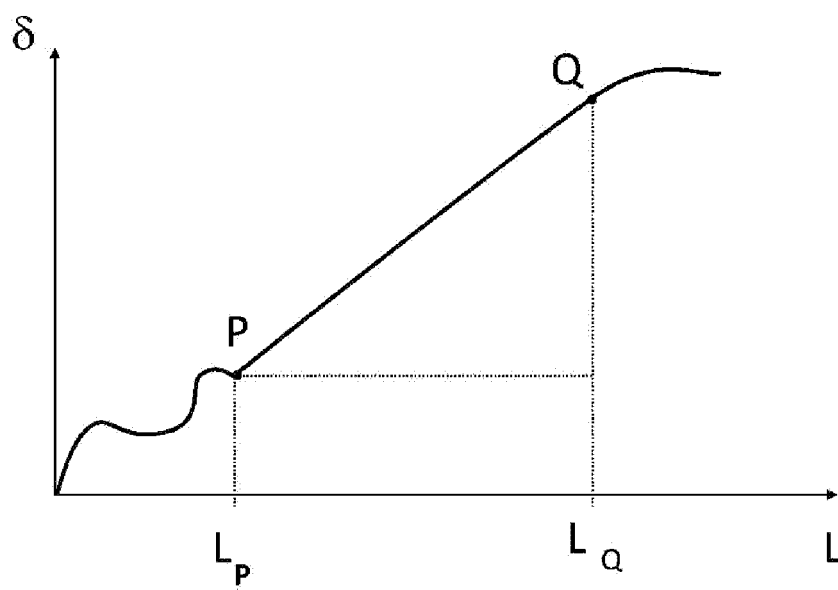
[Fig. 17]



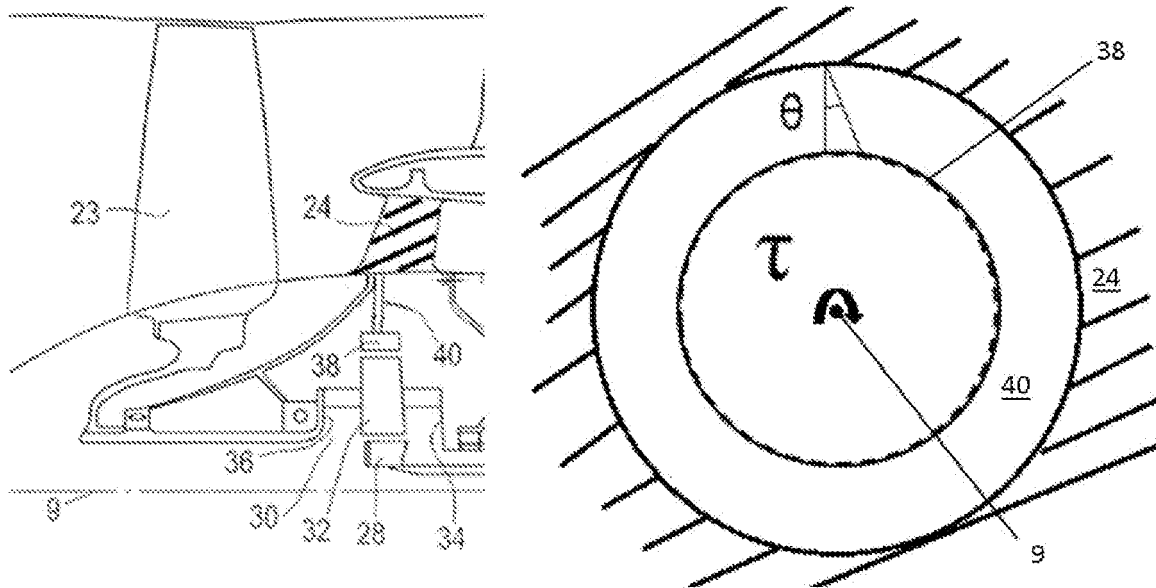
[Fig. 18]



[Fig. 19]



[Fig. 20]



[Fig. 21]

