

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication : **3 144 217**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : **23 14174**

51 Int Cl⁸ : *F 02 K 3/08 (2024.01), F 02 C 7/06*

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 14.12.23.

30 Priorité : 21.12.22 GB 2219408.8.

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 28.06.24 Bulletin 24/26.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : *Rolls-Royce plc Société de droit étranger — GB.*

72 Inventeur(s) : BEMMENT Craig W, KEELER Benjamin J, MADDEN Christopher P, MINELLI Andrea, SWANN Peter et YATES Martin K.

73 Titulaire(s) : *Rolls-Royce plc Société de droit étranger.*

74 Mandataire(s) : *NOVAGRAAF TECHNOLOGIES.*

54 Fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz.

57 Un procédé (11000) de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz (10) est divulgué, le moteur à turbine à gaz (10) comprenant un cœur de moteur (11) comprenant une chambre de combustion (16) agencée pour brûler un carburant ; une turbine (19), la turbine comprenant une pluralité d'aubes de turbine (19') ; un compresseur (14) agencé pour être utilisé en guise de source d'air de refroidissement pour les aubes de turbine (19') ; et un inducteur (1901) agencé pour accélérer et diriger l'air de refroidissement sur les aubes de turbine (19') et comprenant une pluralité de voies de passage de flux d'air (1903), et une soupape de modulation (1902) agencée pour permettre ou bloquer un flux d'air de refroidissement dans un sous-ensemble des voies de passage ; et un système de gestion de carburant (1500) agencé pour fournir le carburant à la chambre de combustion (16), dans lequel le système de gestion de carburant (1500) comprend : deux échangeurs de chaleur carburant-huile (1004, 1006) à travers lesquels l'huile et le carburant s'écoulent, les échangeurs de chaleur carburant-huile agencés pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant et comprenant un échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004) et un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1006). Le procédé (11000) comprend l'utilisation (11100) de la sou-

pape de modulation (1902) pour ajuster le flux d'air de refroidissement en fonction de la température d'entrée de turbine ; et le transfert (11200) de 200 à 600 kJ/m³ de chaleur au carburant à partir de l'huile dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004) dans des conditions de croisière.

Figure pour l'abrégié : Fig. 6A

FR 3 144 217 - A1



Description

Titre de l'invention : Fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz

- [0001] La présente description se rapporte à des systèmes de propulsion d'aéronef, ainsi que les procédés de fonctionnement d'aéronefs impliquant la gestion de fluides différents.
- [0002] Il existe une attente dans l'industrie aéronautique concernant une tendance à l'utilisation de carburants différents des carburants à base de kérosène traditionnels généralement utilisés actuellement. Ces carburants peuvent présenter des caractéristiques de carburant différentes par rapport aux carburants hydrocarbonés à base de pétrole.
- [0003] Ainsi, il existe un besoin de tenir compte de propriétés de carburant pour ces nouveaux carburants et d'ajuster les procédés de fonctionnement des moteurs à turbine à gaz.
- [0004] Selon un premier aspect, un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0005] un cœur de moteur comprenant une chambre de combustion agencée pour brûler un carburant ; une turbine, la turbine comprenant une pluralité d'aubes de turbine ; un compresseur agencé pour être utilisé en guise de source d'air de refroidissement pour les aubes de turbine ; et un inducteur agencé pour accélérer et diriger l'air de refroidissement sur les aubes de turbine et comprenant une pluralité de voies de passage de flux d'air et une soupape de modulation agencée pour contrôler un flux d'air de refroidissement dans un sous-ensemble des voies de passage ; et
- [0006] un système de gestion de carburant comprenant : deux échangeurs de chaleur carburant-huile à travers lesquels l'huile et le carburant s'écoulent, les échangeurs de chaleur carburant-huile étant agencés pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant et comprenant un échangeur de chaleur carburant-huile primaire et un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire ;
- [0007] dans lequel le procédé comprend :
- [0008] l'utilisation du système de gestion de carburant pour fournir un carburant avec une teneur en soufre inférieure à 30 ppm à la chambre de combustion ; et
- [0009] le contrôle de la soupape de modulation pour ajuster le flux d'air de refroidissement en fonction de la température d'entrée de turbine.
- [0010] Ici, l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire et l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire peuvent être dénommés échangeur de chaleur primaire et échangeur de chaleur secondaire, respectivement, dans un souci de concision.
- [0011] La soupape de modulation peut permettre ou bloquer le flux d'air (flux maximal ou pas de flux) dans une voie de passage donnée ou un sous-ensemble donné de voies de passage, ou peut contrôler le débit de telle sorte que le débit peut varier dans chaque voie de passage ou sous-ensemble de voies de passage.

- [0012] Les inventeurs ont apprécié que l'utilisation de carburants différents des carburants à base de kérosène traditionnels, tels que des carburants d'aviation durables, peut conduire à des propriétés de carburant différentes, et que le fonctionnement du moteur peut être optimisé pour ces différentes propriétés de carburant. La teneur en soufre du carburant doit donc être considérée lors de la prise en compte du transfert de chaleur de l'huile au carburant, car la teneur en soufre est liée à la stabilité thermique du carburant et un carburant moins stable thermiquement peut absorber moins de chaleur avant que des problèmes des performances ne se produisent alors qu'un carburant plus stable thermiquement peut absorber plus de chaleur et ainsi être utilisé pour un refroidissement de moteur plus efficace.
- [0013] Le carburant peut avoir une masse volumique dans la plage allant de 760 à 840 kg/m³ à 15 °C. La masse volumique du carburant peut affecter la distribution de carburant vers, et des motifs de pulvérisation à partir, des tuyères de pulvérisation de carburant de la chambre de combustion pendant une procédure de ré-allumage et/ou pendant le fonctionnement en croisière – la sélection d'un carburant de manière appropriée peut donc améliorer l'efficacité de la combustion et/ou la vitesse de ré-allumage.
- [0014] Le procédé peut comprendre la sélection d'un carburant approprié à utiliser. La sélection du carburant peut comprendre la sélection d'un seul carburant. La sélection du carburant peut comprendre la sélection d'un mélange de carburant. Le carburant choisi peut être le seul carburant à bord de l'aéronef. En tant que telle, la sélection du carburant peut être réalisée pendant le ravitaillement de l'aéronef. Alternativement, le carburant choisi peut être l'un de plusieurs carburants à bord de l'aéronef, ou un mélange d'un ou plusieurs des multiples carburants à bord de l'aéronef ; la sélection peut donc être effectuée en vol, et peut être automatisée. La sélection peut donc être effectuée en vol, ou peut être réalisée avant le décollage.
- [0015] Le carburant peut avoir une teneur en aromatique inférieure ou égale à 10 % en volume. Le carburant peut avoir une teneur en aromatiques de 5 % ou moins en volume. Le carburant peut avoir une teneur en aromatiques de 1 % ou moins en volume.
- [0016] Le carburant peut avoir une teneur en soufre inférieure à 15 ppm.
- [0017] Le carburant peut avoir une masse volumique dans la plage allant de 760 à 840 kg/m³ à 15 °C. Le carburant peut avoir une masse volumique dans la plage allant de 760 à 800 kg/m³ à 15 °C.
- [0018] Selon un deuxième aspect, un moteur à turbine à gaz pour un aéronef est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0019] un cœur de moteur comprenant une chambre de combustion agencée pour brûler un carburant ; une turbine, la turbine comprenant une pluralité d'aubes de turbine ; un compresseur agencé pour être utilisé en guise de source d'air de refroidissement pour

les aubes de turbine ; et un inducteur agencé pour accélérer et diriger l'air de refroidissement sur les aubes de turbine et comprenant une pluralité de voies de passage de flux d'air et une soupape de modulation agencée pour contrôler un flux d'air de refroidissement dans un sous-ensemble des voies de passage, dans lequel la soupape de modulation est conçue pour ajuster le flux d'air de refroidissement en fonction de la température d'entrée de turbine ; et

- [0020] un système de gestion de carburant agencé pour fournir le carburant à la chambre de combustion, dans lequel le système de gestion de carburant comprend : deux échangeurs de chaleur carburant-huile à travers lesquels l'huile et le carburant s'écoulent, les échangeurs de chaleur carburant-huile étant agencés pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant et comprenant un échangeur de chaleur carburant-huile primaire et un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire ;
- [0021] dans lequel le carburant a une teneur en soufre inférieure à 30 ppm.
- [0022] Le moteur à turbine à gaz peut donc être utilisé pour mettre en œuvre le procédé du premier aspect, et peut offrir les mêmes effets techniques et avantages.
- [0023] Le cœur de moteur peut comprendre en outre un arbre de cœur reliant la turbine au compresseur. Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre une soufflante située en amont du cœur de moteur, dans lequel la soufflante est entraînée (directement ou indirectement) par l'arbre de cœur.
- [0024] Le moteur à turbine à gaz peut être un moteur à entraînement direct.
- [0025] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre un réducteur accessoire et un arbre de pompe, dans lequel le réducteur accessoire reçoit une entrée provenant de l'arbre de cœur et délivre en sortie un entraînement à la pompe à carburant par l'intermédiaire de l'arbre de pompe. La vitesse de pompe peut donc être liée à la vitesse de rotation de l'arbre de cœur, et peut présenter, au moyen du réducteur accessoire, une relation de vitesse fixe entre l'arbre de cœur (ou dans certaines architectures de moteur, un autre arbre intermédiaire) et la pompe à carburant. Dans certaines mises en œuvre, le réducteur accessoire peut plutôt être agencé pour fournir un nombre fixe de vitesses différentes pour une vitesse d'arbre de cœur donnée.
- [0026] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre des chambres de palier de moteur. Ces chambres de palier de moteur peuvent être refroidies à l'aide de l'écoulement d'huile avant l'écoulement de l'huile dans les échangeurs de chaleur carburant-huile. L'huile sortant des chambres de palier de moteur peut être plus chaude que l'huile entrant dans les chambres de palier de moteur. La voie d'écoulement de l'huile peut être une boucle, de telle sorte que l'huile est refroidie par les échangeurs de chaleur carburant-huile avant d'entrer dans les chambres de palier de moteur, puis l'huile plus chaude sortant des chambres de palier de moteur est remise en circulation vers les échangeurs de chaleur carburant-huile.

- [0027] Il est envisagé que toutes les caractéristiques décrites pour le premier ou deuxième aspect puissent également s'appliquer à l'autre parmi le premier ou le deuxième aspect.
- [0028] Selon un autre aspect, un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0029] un cœur de moteur comprenant une chambre de combustion agencée pour brûler un carburant ; une turbine, la turbine comprenant une pluralité d'aubes de turbine ; un compresseur agencé pour être utilisé en guise de source d'air de refroidissement pour les aubes de turbine ; et un inducteur agencé pour accélérer et diriger l'air de refroidissement sur les aubes de turbine et comprenant une pluralité de voies de passage de flux d'air et une soupape de modulation agencée pour contrôler un flux d'air de refroidissement dans un sous-ensemble des voies de passage ; et
- [0030] un système de gestion de carburant agencé pour fournir le carburant à la chambre de combustion, dans lequel le système de gestion de carburant comprend : deux échangeurs de chaleur carburant-huile à travers lesquels l'huile et le carburant s'écoulent, les échangeurs de chaleur carburant-huile étant agencés pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant et comprenant un échangeur de chaleur carburant-huile primaire et un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire ;
- [0031] dans lequel le procédé comprend :
- [0032] l'utilisation du système de gestion de carburant pour fournir un carburant avec une masse volumique dans la plage allant de 760 à 840 kg/m³ à 15 °C à la chambre de combustion ; et
- [0033] le contrôle de la soupape de modulation pour ajuster le flux d'air de refroidissement en fonction de la température d'entrée de turbine.
- [0034] Les inventeurs ont apprécié que l'utilisation de carburants différents des carburants à base de kérosène traditionnels, tels que des carburants d'aviation durables, peut conduire à des propriétés de carburant différentes, et que le fonctionnement du moteur peut être optimisé pour ces différentes propriétés de carburant. La masse volumique du carburant doit donc être considérée lors de la prise en compte du transfert de chaleur de l'huile au carburant, car un carburant de masse volumique inférieure à 15 °C est susceptible de nécessiter moins d'apport thermique pour atteindre une masse volumique souhaitée pour la combustion qu'un carburant avec une masse volumique supérieure à 15 °C. On aura à l'esprit que des propriétés de carburant à l'entrée de la chambre de combustion peuvent affecter les performances du moteur, par exemple, en raison de la taille des gouttelettes et des caractéristiques de pulvérisation de la tuyère qui influencent le mélange carburant-air et l'efficacité de la combustion.
- [0035] Le carburant peut avoir une teneur en soufre inférieure à 30 ppm.
- [0036] Le carburant peut avoir une teneur en aromatique inférieure ou égale à 10 % en volume.

- [0037] Selon un autre aspect, un moteur à turbine à gaz pour un aéronef est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0038] un cœur de moteur comprenant une chambre de combustion agencée pour brûler un carburant ; une turbine, la turbine comprenant une pluralité d'aubes de turbine ; un compresseur agencé pour être utilisé en guise de source d'air de refroidissement pour les aubes de turbine ; et un inducteur agencé pour accélérer et diriger l'air de refroidissement sur les aubes de turbine et comprenant une pluralité de voies de passage de flux d'air et une soupape de modulation agencée pour contrôler un flux d'air de refroidissement dans un sous-ensemble des voies de passage, dans lequel la soupape de modulation est conçue pour ajuster le flux d'air de refroidissement en fonction de la température d'entrée de turbine ; et
- [0039] un système de gestion de carburant agencé pour fournir le carburant à la chambre de combustion, dans lequel le système de gestion de carburant comprend : deux échangeurs de chaleur carburant-huile à travers lesquels l'huile et le carburant s'écoulent, les échangeurs de chaleur étant agencés pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant et comprenant un échangeur de chaleur carburant-huile primaire et un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire ;
- [0040] dans lequel le carburant a une masse volumique dans la plage allant de 760 à 840 kg/m³ à 15 °C.
- [0041] Le carburant peut avoir une teneur en soufre inférieure à 30 ppm.
- [0042] Selon un troisième aspect, un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0043] un cœur de moteur comprenant une chambre de combustion agencée pour brûler un carburant ; une turbine, la turbine comprenant une pluralité d'aubes de turbine ; un compresseur agencé pour être utilisé en guise de source d'air de refroidissement pour les aubes de turbine ; et un inducteur agencé pour accélérer et diriger l'air de refroidissement sur les aubes de turbine et comprenant une pluralité de voies de passage de flux d'air, et une soupape de modulation agencée pour permettre ou bloquer un flux d'air de refroidissement dans un sous-ensemble des voies de passage ; et
- [0044] un système de gestion de carburant agencé pour fournir le carburant à la chambre de combustion, dans lequel le système de gestion de carburant comprend : deux échangeurs de chaleur carburant-huile à travers lesquels l'huile et le carburant s'écoulent, les échangeurs de chaleur carburant-huile étant agencés pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant et comprenant un échangeur de chaleur carburant-huile primaire et un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire ;
- [0045] dans lequel le procédé comprend :
- [0046] l'utilisation de la soupape de modulation pour ajuster le flux d'air de refroidissement en fonction de la température d'entrée de turbine ; et

- [0047] le contrôle du système de gestion de carburant de manière à transférer entre 200 et 600 kJ/m³ de chaleur au carburant à partir de l'huile dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire dans des conditions de croisière.
- [0048] Le transfert de chaleur est mesuré par mètre cube du carburant à l'entrée de la chambre de combustion. La quantité de chaleur transférée au carburant peut donc être calculée en fonction d'une température de carburant à l'approche ou l'entrée dans la chambre de combustion par comparaison avec une température de carburant dans un réservoir de carburant de l'aéronef. Toute remise en circulation à travers, ou contournement, d'un échangeur de chaleur peut donc être comptabilisée. Comme le transfert de chaleur est mesuré par unité de volume de carburant, cela peut être considéré comme un taux de transfert de chaleur normalisé pour les variations de débit de carburant dans des conditions de croisière
- [0049] Les inventeurs étaient conscients que l'utilisation de carburants différents des carburants à base de kérosène traditionnels, tels que des carburants aviation durables par exemple, peut permettre à plus de chaleur d'être transférée de l'huile au carburant par unité de volume du carburant à travers le système d'échange de chaleur. Des températures de carburant plus élevées à l'entrée dans la chambre de combustion peuvent permettre un rendement de combustion de carburant amélioré, ainsi qu'un refroidissement de l'huile amélioré (lorsque le carburant est à même d'absorber plus de chaleur). Par exemple, un carburant à température supérieure peut être moins visqueux, ce qui peut entraîner un motif de pulvérisation de tuyère et une taille de gouttelette différents au sein de la chambre de combustion, ce qui modifie le mélange carburant-air et améliore le rendement de combustion. Le transfert de chaleur peut être optimisé pour adapter les caractéristiques de pulvérisation de carburant à l'intérieur de la chambre de combustion. De plus, l'huile plus froide peut permettre d'emporter plus de chaleur à l'écart des composants de moteur tels que des paliers pour le même débit d'huile, ou peut permettre d'utiliser un débit d'huile plus faible pour le même niveau de refroidissement.
- [0050] Le contrôle du système de gestion de carburant peut comprendre le contrôle d'un écoulement de carburant à travers les échangeurs de chaleur, par exemple la remise en circulation d'une proportion variable du carburant à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire, et/ou le fait de permettre à une proportion variable du carburant de contourner l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire.
- [0051] Le contrôle du système de gestion de carburant peut comprendre le contrôle de l'écoulement d'huile à travers les échangeurs de chaleur, permettant par exemple à une proportion variable de l'huile de contourner l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire ou l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire, et/ou la remise en circulation d'une proportion variable de l'huile à travers l'échangeur de chaleur

carburant-huile primaire et/ou secondaire.

- [0052] Une ou plusieurs soupapes, pompes, et/ou conduites de remise en circulation ou de contournement peuvent être prévues selon le cas pour faciliter ce contrôle.
- [0053] Le procédé peut comprendre le transfert de 300 à 500 kJ/m³ de chaleur au carburant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire dans des conditions de croisière. Le procédé peut comprendre le transfert de 350 à 450 kJ/m³ de chaleur au carburant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire dans des conditions de croisière. Le procédé peut comprendre le transfert de 400 kJ/m³ de chaleur au carburant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire dans des conditions de croisière.
- [0054] Selon un quatrième aspect, un moteur à turbine à gaz pour un aéronef est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0055] un cœur de moteur comprenant une chambre de combustion agencée pour brûler un carburant ; une turbine, la turbine comprenant une pluralité d'aubes de turbine ; un compresseur agencé pour être utilisé en guise de source d'air de refroidissement pour les aubes de turbine ; et un inducteur agencé pour accélérer et diriger l'air de refroidissement sur les aubes de turbine et comprenant une pluralité de voies de passage de flux d'air et une soupape de modulation agencée pour permettre ou bloquer un flux d'air de refroidissement dans un sous-ensemble des voies de passage, dans lequel la soupape de modulation est conçue pour ajuster le flux d'air de refroidissement en fonction de la température d'entrée de turbine ; et
- [0056] un système de gestion de carburant agencé pour fournir le carburant à la chambre de combustion, dans lequel le système de gestion de carburant comprend : deux échangeurs de chaleur carburant-huile à travers lesquels l'huile et le carburant s'écoulent, les échangeurs de chaleur étant agencés pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant et comprenant un échangeur de chaleur carburant-huile primaire et un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire ;
- [0057] et dans lequel le système de gestion de carburant est agencé pour transférer 200 à 600 kJ/m³ de chaleur au carburant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire dans des conditions de croisière.
- [0058] Les inventeurs sont conscients que, notamment avec l'utilisation de carburants différents des carburants à base de kérosène traditionnels, tels que des carburants d'aviation durable, des propriétés de carburant aux conditions de croisière peuvent être contrôlées par gestion soignée des moteurs afin d'améliorer les performances. Par exemple, le système de gestion de carburant peut remettre en circulation du carburant à travers un ou plusieurs échangeurs de chaleur carburant-huile (par exemple, à l'aide d'une soupape de remise en circulation), et/ou dévier du carburant au-delà d'un ou plusieurs échangeurs de chaleur carburant-huile (par exemple, à l'aide d'une soupape de contournement), ou changer les débits d'huile ou de carburant, de manière à adapter

la quantité de chaleur transférée par unité de volume de carburant. Comme abordé par rapport au troisième aspect, cela peut être utilisé pour optimiser les conditions de combustion.

- [0059] Le système de gestion de carburant peut comprendre en outre une ou plusieurs soupapes, pompes, et/ou conduites de remise en circulation ou de contournement, qui peuvent être utilisées pour contrôler le débit d'huile et/ou de carburant à travers les deux échangeurs de chaleur carburant-huile de manière à ajuster la quantité de chaleur transférée.
- [0060] Le cœur de moteur peut comprendre en outre un arbre de cœur reliant la turbine au compresseur. Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre une soufflante située en amont du cœur de moteur, dans lequel la soufflante est entraînée par l'arbre de cœur.
- [0061] Le moteur à turbine à gaz peut être un moteur à entraînement direct.
- [0062] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre un réducteur accessoire et un arbre de pompe, dans lequel le réducteur accessoire reçoit une entrée provenant de l'arbre de cœur et délivre en sortie un entraînement à la pompe à carburant par l'intermédiaire de l'arbre de pompe. La vitesse de pompe peut donc être liée à la vitesse de rotation de l'arbre de cœur, et peut présenter, au moyen du réducteur accessoire, une relation de vitesse fixe entre l'arbre de cœur (ou dans certaines architectures de moteur, un autre arbre intermédiaire) et la pompe à carburant. Dans certaines mises en œuvre, le réducteur accessoire peut plutôt être agencé pour fournir un nombre fixe de vitesses différentes pour une vitesse d'arbre de cœur donnée.
- [0063] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre des chambres de palier de moteur. Ces chambres de palier de moteur peuvent être refroidies à l'aide de l'écoulement d'huile avant l'écoulement de l'huile dans l'un ou les deux des échangeurs de chaleur carburant-huile. L'huile sortant des chambres de palier de moteur peut être plus chaude que l'huile entrant dans les chambres de palier de moteur. La voie d'écoulement de l'huile peut être une boucle, de telle sorte que l'huile est refroidie par les échangeurs de chaleur carburant-huile avant d'entrer de nouveau dans les chambres de palier de moteur, puis l'huile plus chaude sortant des chambres de palier de moteur est remise en circulation vers les échangeurs de chaleur carburant-huile.
- [0064] Il est envisagé que toutes les caractéristiques décrites pour le troisième ou quatrième aspect puissent également s'appliquer à l'autre parmi le troisième ou quatrième aspect, et que le troisième ou quatrième aspect puisse être utilisé conjointement avec le premier ou deuxième aspect, ou avec l'un ou l'autre des aspects supplémentaires abordés en relation avec les premier et deuxième aspects.
- [0065] Dans n'importe quel ou tous les aspects ci-dessus, une ou plusieurs des caracté-

ristiques décrites ci-dessous peuvent s'appliquer.

- [0066] L'huile peut entrer dans les échangeurs de chaleur carburant-huile à une température plus élevée que le carburant aux conditions de croisière, de telle sorte que les échangeurs de chaleur carburant-huile sont agencés pour transférer de la chaleur de l'huile au carburant.
- [0067] Le carburant peut s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire avant de s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire.
- [0068] L'échangeur de chaleur carburant-huile primaire peut être dénommé échangeur de chaleur carburant-huile principal. La majorité du transfert de chaleur entre l'huile et le carburant peut se produire dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire. La fonction primaire de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire peut être de chauffer le carburant avant qu'il soit fourni à la chambre de combustion. Au moins sensiblement tout le carburant peut passer à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal.
- [0069] L'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire peut être un échangeur de chaleur carburant-huile asservi. Une partie, mais pas la totalité, du carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal peut être dirigée vers l'échangeur de chaleur carburant-huile asservi. L'échangeur de chaleur carburant-huile asservi peut augmenter davantage la température du carburant, fournissant ainsi un refroidissement d'huile supplémentaire, avant de fournir le carburant à utiliser dans des mécanismes d'asservissement du moteur à turbine à gaz (par exemple pour l'actionnement et/ou le chauffage hydraulique à carburant). Ces mécanismes d'asservissement peuvent comporter un système antigivre de nacelle. Les mécanismes d'asservissement peuvent comporter des actionneurs de moteur. Les mécanismes d'asservissement peuvent comporter une soupape asservie de refroidissement de carter de turbine et/ou d'aube de turbine. Seul le carburant qui a traversé l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire peut être utilisé dans ces systèmes auxiliaires. Le carburant utilisé dans ces systèmes peut être renvoyé dans un réservoir de carburant pour remise en circulation ultérieure, ou être recombinaé avec un autre carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal et entrer dans la chambre de combustion.
- [0070] Le carburant qui passe à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire peut ne pas être envoyé à la chambre de combustion, de telle sorte que toute la chaleur transférée de l'huile au carburant qui atteint la chambre de combustion est transférée dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire. On aura à l'esprit que le carburant renvoyé vers le réservoir de carburant à partir des systèmes auxiliaires après passage à travers l'échangeur de chaleur secondaire peut ultérieurement être envoyé à la chambre de combustion, cependant toute chaleur résiduelle transférée de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire sur le passage précédent du

carburant à travers le moteur est susceptible d'être négligeable.

- [0071] Le système de gestion de carburant peut comprendre une pompe à carburant moteur agencée pour pomper le carburant vers la chambre de combustion et/ou l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire. L'échangeur de chaleur carburant-huile primaire peut être en amont de la pompe, de telle sorte que le carburant s'écoule à travers la pompe après sortie de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire. L'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire peut être en aval de la pompe, de telle sorte que le carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire ne s'écoule alors pas à travers la pompe. La pompe peut donc être protégée des températures plus élevées qui peuvent être atteintes pour le carburant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire.
- [0072] Dans des mises en œuvre dans lesquelles du carburant qui passe à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire n'est pas envoyé à la chambre de combustion, toute la chaleur transférée de l'huile au carburant qui atteint la chambre de combustion peut donc être transférée dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire. L'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire peut donc ne pas affecter la température du carburant entrant dans la chambre de combustion.
- [0073] Au moins une partie du carburant peut ne pas passer à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire. Au moins une partie du carburant peut ne pas passer à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire. Un trajet de contournement peut être prévu pour un ou chaque échangeur de chaleur, pour permettre à une partie du carburant de contourner cet échangeur de chaleur.
- [0074] Le système de gestion de carburant peut en outre comprendre une soupape de remise en circulation située en aval de l'échangeur de chaleur primaire et entre l'échangeur de chaleur primaire et la chambre de combustion. La soupape de remise en circulation peut être agencée pour permettre de renvoyer une quantité contrôlée de carburant qui a traversé l'échangeur de chaleur primaire à l'entrée de l'échangeur de chaleur primaire.
- [0075] Le procédé peut donc comprendre le contrôle du débit de carburant à travers les échangeurs de chaleur en contrôlant la quantité de carburant renvoyée à l'entrée de l'échangeur de chaleur primaire. Le carburant remis en circulation peut donc passer à travers au moins deux fois l'échangeur de chaleur primaire, gagnant plus de chaleur.
- [0076] Une partie de carburant peut être dirigée à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire par n'importe quels moyens appropriés tels qu'une ou plusieurs soupapes ou similaires.
- [0077] Approximativement entre 10 % et 30 % du carburant au-delà de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (i.e. du carburant qui a traversé ou contourné l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire) peuvent être délivrés à l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire. Cela peut être décrit comme entre 10 % et 30 % du

carburant sur le trajet de carburant principal en amont de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire. Par exemple, entre 10 % et 20 % ou entre 13 % et 17 % du carburant peuvent être délivrés à l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire. À ce titre, plus du carburant s'écoule généralement de l'échangeur de chaleur primaire vers la chambre de combustion sans s'écouler à travers l'échangeur de chaleur secondaire qu'il s'en écoule à travers l'échangeur de chaleur secondaire. Le trajet d'écoulement de l'échangeur de chaleur primaire vers la chambre de combustion peut donc être décrit comme un trajet principal d'écoulement de carburant, avec une proportion du carburant qui est déviée de ce trajet pour s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire, et éventuellement une partie ou la totalité de cette proportion renvoyée au trajet de flux de carburant principal avant la chambre de combustion.

[0078] Approximativement 0 à 10 %, 20 à 30 %, 20 à 40 %, ou 30 à 40 % du carburant peuvent passer à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire. Dans d'autres exemples, une proportion plus élevée de carburant peut passer à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire.

[0079] Une partie fixe de carburant peut passer à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire. Une partie variable de carburant peut passer à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire ; la variation peut être contrôlée par un système de rétroaction automatisé (par exemple, mis en œuvre par un contrôleur du système de gestion de carburant), facultativement en fonction de données provenant d'un ou plusieurs capteurs de température. Le ou les capteurs de température peuvent être agencés pour détecter une température de carburant ou d'huile.

[0080] Un rapport du transfert de chaleur de l'huile au carburant pour les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire, pour le carburant qui passe à travers les deux échangeurs de chaleur, peut être approximativement entre 70:30 et 90:10. Par exemple, pour le carburant qui passe à travers les deux échangeurs de chaleur, 70 % de la chaleur absorbée par ce carburant peuvent être fournis à ce carburant dans l'échangeur de chaleur primaire et le reste peut être fourni par l'échangeur de chaleur secondaire, pour un rapport de 70:30.

[0081] Le rapport du transfert de chaleur de l'huile au carburant pour les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire peut être approximativement de 80:20.

[0082] Dans d'autres exemples, le rapport du transfert de chaleur de l'huile au carburant pour l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire peut être plus élevé.

[0083] L'huile peut s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire avant l'écoulement à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire. L'huile peut ne pas s'écouler à travers n'importe quels composants qui augmenteraient sa température entre la sortie de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire et l'entrée

dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire. Ainsi, la température de l'huile s'écoulant à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire peut être supérieure à la température de l'huile s'écoulant à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire dans des conditions de croisière.

[0084] Le carburant peut s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire avant de s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire. On aura à l'esprit que le carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire est donc généralement plus chaud que le carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire.

[0085] Le carburant peut s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire avant l'écoulement à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire alors que l'huile peut s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire avant l'écoulement à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire – les directions d'écoulement d'huile et de carburant peuvent donc être opposées.

[0086] Dans certaines mises en œuvre, le carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire est délivré à la chambre de combustion, plutôt que d'être passé à une pompe et ensuite éventuellement remis en circulation, par exemple. Cela réduit la longueur de trajet d'écoulement et le temps passé avec le carburant à sa température la plus élevée pendant le processus d'alimentation en carburant, réduisant les pertes de température vers l'environnement. En outre, le trajet de carburant plus court peut réduire le nombre de composants qui sont interagi avec le carburant à sa température la plus élevée, ce qui peut améliorer la longévité du composant (par exemple, protéger la pompe).

[0087] Dans d'autres mises en œuvre, le carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire est plutôt remis à un réservoir de carburant, éventuellement par l'intermédiaire d'une utilisation dans un ou plusieurs systèmes auxiliaires tels que mentionnés ci-dessus (par exemple, hydraulique à carburant). Ce trajet d'écoulement peut encore éviter la pompe à carburant moteur, protégeant ainsi cette pompe. Le mélange avec un autre carburant dans le réservoir de carburant peut abaisser la température de carburant moyenne du carburant qui vient de passer à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile (il augmente généralement la température de carburant moyenne du corps global de carburant dans le réservoir, ce qui peut fournir un bénéfice secondaire, notamment dans des conditions froides).

[0088] En outre, la mise en place de la pompe à carburant entre les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire peut aider à préserver la durée de vie de la pompe à carburant. La température du carburant peut être élevée à la sortie de l'échangeur de chaleur primaire, et encore plus élevée à la sortie de l'échangeur de chaleur secondaire. La mise en place de la pompe à carburant entre les deux, et plus

précisément avant l'échangeur de chaleur secondaire, réduit l'exposition de la pompe à carburant à l'écoulement de carburant à température la plus élevée, et réduit donc les dommages liés à ces hautes températures.

- [0089] L'écoulement du carburant peut être contrôlé en utilisant une soupape de remise en circulation située en aval de l'échangeur de chaleur primaire, la soupape de remise en circulation agencée pour permettre de renvoyer une quantité contrôlée de carburant qui n'a pas traversé l'échangeur de chaleur secondaire à l'entrée de l'échangeur de chaleur primaire.
- [0090] En variante ou en complément, l'écoulement de carburant peut être contrôlé en utilisant un tuyau de contournement situé à travers un ou chaque échangeur de chaleur carburant-huile. La conduite de contournement peut être agencée pour permettre à une quantité contrôlée de carburant de contourner entièrement l'échangeur de chaleur respectif.
- [0091] En variante ou en complément, l'écoulement d'huile peut être contrôlé en utilisant un tuyau de contournement situé à travers un ou chaque échangeur de chaleur carburant-huile. La conduite de contournement peut être agencée pour permettre à une quantité contrôlée d'huile de contourner entièrement l'échangeur de chaleur respectif.
- [0092] Le moteur à turbine à gaz peut faire partie d'un aéronef. L'aéronef peut comprendre un réservoir de carburant, et une pompe d'alimentation en carburant conçue pour alimenter un écoulement de carburant au système de gestion de carburant du moteur lui-même. La pompe d'alimentation en carburant peut être décrite comme une pompe à réservoir de carburant ou une pompe basse pression, et est située en amont du moteur, et donc en amont de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire.
- [0093] Une pompe à carburant du système de gestion de carburant peut être décrite ici en tant que pompe à carburant principale ou pompe à carburant moteur, car, à la différence de la pompe d'alimentation en carburant, c'est une partie du moteur lui-même. La pompe à carburant principale peut être située en aval de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire. La pompe à carburant principale peut être située en amont de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire. Une ou plusieurs pompes à carburant auxiliaires peuvent être situées au niveau de l'une quelconque position appropriée le long du trajet d'écoulement de carburant.
- [0094] Comme discuté ci-dessus, au moins une partie du carburant traversant l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire peut être fournie à des mécanismes d'asservissement de l'aéronef. Au moins une partie de ce carburant peut alors être renvoyée à un réservoir de carburant d'aéronef ou à la pompe basse pression pour la remise en circulation.
- [0095] Alternativement ou en complément, au moins une partie du carburant s'écoulant à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire peut être renvoyée à l'un

quelconque point du trajet d'écoulement de carburant ; par exemple en retour vers l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire ou secondaire, ou pour rejoindre l'écoulement de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire sur son chemin vers la chambre de combustion.

- [0096] Dans certains exemples de mises en œuvre, un troisième, un quatrième ou un quelconque nombre approprié d'autres échangeurs de chaleur carburant-huile peut être présent, facultativement avec une soupape de carburant exploitable pour contrôler un débit de carburant à travers celui-ci.
- [0097] L'écoulement d'huile à l'intérieur du moteur à turbine à gaz peut suivre une boucle fermée. Le système d'huile à boucle fermée peut être conçu pour alimenter un écoulement de remise en circulation d'huile au sein du moteur et peut être décrit comme un système de lubrification et/ou de refroidissement à remise en circulation, ou en tant que système d'huile à remise en circulation. Au moins un des échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire peut être décrit comme faisant partie du système à boucle fermée. Le système de lubrification et/ou de refroidissement à remise en circulation peut être décrit comme un système de gestion de chaleur à huile, car de la chaleur est retirée de l'huile après qu'elle a été chauffée dans le processus de lubrification et/ou de refroidissement d'autres composants de système.
- [0098] Le système à boucle fermée peut comprendre au moins une première pompe à huile conçue pour pomper un écoulement d'huile autour d'au moins une partie du système d'huile à remise en circulation. La première pompe à huile peut être située au niveau de l'une quelconque position appropriée autour du système d'huile à remise en circulation. Le système d'huile à remise en circulation peut être conçu de telle sorte que l'écoulement d'huile s'écoule à travers des composants de moteur (par exemple, la chambre de palier de moteur) et peut ensuite être collecté dans un carter. La première pompe à huile peut être conçue pour pomper de l'huile du carter vers un premier réservoir d'huile. À ce titre, la première pompe à huile peut être décrite comme une pompe de récupération.
- [0099] Le réservoir d'huile peut être approprié pour contenir un volume d'huile. Le réservoir d'huile peut être conçu pour contenir l'un quelconque volume approprié d'huile. Le réservoir d'huile peut être agencé pour éliminer les gaz de l'huile dans le premier réservoir d'huile. L'huile sortant du réservoir d'huile peut passer à travers un filtre, une crépine ou analogue.
- [0100] Une seconde pompe à huile peut être située entre le premier réservoir d'huile et l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire ou secondaire. La seconde pompe à huile peut être décrite comme une pompe d'alimentation. La seconde pompe à huile peut être conçue pour pomper de l'huile du premier réservoir d'huile vers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire ou secondaire.

- [0101] Dans certaines mises en œuvre, au moins une partie de l'huile s'écoule à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire et au moins une partie de l'huile s'écoule à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire. L'ensemble de l'huile peut s'écouler à la fois à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire. Comme abordé précédemment, l'huile peut d'abord s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire, puis à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire, ayant ainsi l'itinéraire d'écoulement opposé à celui du carburant.
- [0102] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre un ou plusieurs échangeurs de chaleur air-huile. Les un ou plusieurs échangeurs de chaleur air-huile peuvent faire partie du système d'huile à remise en circulation. Le ou les échangeurs de chaleur air-huile peuvent être agencés en série d'écoulement avec les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire de telle sorte qu'au moins une partie de l'écoulement d'huile s'écoule à travers un échangeur de chaleur air-huile avant d'entrer dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire ou secondaire, ou après la sortie de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire ou secondaire. Dans un exemple, l'huile peut s'écouler à travers un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire avant de s'écouler à travers un échangeur de chaleur air-huile (par exemple un refroidisseur d'huile refroidi à l'air en surface) puis l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire.
- [0103] Dans les exemples décrits ci-dessus, l'architecture de moteur peut être un moteur à entraînement direct sans réducteur séparant un arbre de cœur et un arbre de soufflante.
- [0104] Dans d'autres architectures de moteur, le moteur peut être conçu différemment, par exemple un moteur à engrenages au lieu d'un moteur à entraînement direct.
- [0105] Selon un cinquième aspect, un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0106] un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur, une chambre de combustion agencée pour brûler un carburant, et un arbre de cœur reliant la turbine au compresseur ;
- [0107] une soufflante située en amont du cœur de moteur ;
- [0108] un arbre de soufflante ;
- [0109] un réducteur (qui peut être dénommé réducteur principal) qui reçoit une entrée provenant de l'arbre de cœur et délivre en sortie un entraînement à la soufflante par l'intermédiaire de l'arbre de soufflante, le réducteur comprenant des engrenages et des paliers lisses associés avec celui-ci ;
- [0110] un système de lubrification à remise en circulation agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier les engrenages et les paliers lisses, le système de lubrification comprenant un premier réservoir d'huile agencé pour fournir de l'huile aux en-

- grenages et aux paliers lisses et un second réservoir d'huile agencé pour fournir de l'huile aux paliers lisses seulement ; et
- [0111] un système d'échange de chaleur agencé pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant.
- [0112] Le procédé comprend, dans des conditions de croisière :
- [0113] le contrôle du système d'échange de chaleur de manière à transférer 200 à 600 kJ/m³ de chaleur au carburant à partir de l'huile ; et
- [0114] la fourniture d'une huile plus froide aux paliers lisses qu'aux engrenages.
- [0115] Le transfert de chaleur est mesuré par mètre cube de carburant à l'entrée de la chambre de combustion. Comme le transfert de chaleur est mesuré par unité de volume de carburant, cela peut être considéré comme un taux de transfert de chaleur normalisé pour les variations de débit de carburant dans des conditions de croisière
- [0116] Ce transfert de chaleur de l'huile au carburant peut être utilisé pour contrôler la température de l'huile en entrée du réducteur, et plus précisément aux paliers lisses et aux engrenages du réducteur.
- [0117] Les inventeurs étaient conscients que l'utilisation de carburants différents des carburants à base de kérosène traditionnels, tels que des carburants aviation durables par exemple, peut permettre à plus de chaleur d'être transférée de l'huile au carburant par unité de volume du carburant à travers le système d'échange de chaleur. Des températures de carburant plus élevées à l'entrée dans la chambre de combustion peuvent permettre un rendement de combustion de carburant amélioré, ainsi qu'un refroidissement de l'huile amélioré.
- [0118] Le transfert contrôlé de chaleur de l'huile au carburant à travers le système d'échange thermique aux conditions de croisière joue un rôle dans le contrôle de la température d'huile, et différents carburants peuvent permettre un refroidissement d'huile amélioré, permettant ainsi d'optimiser les températures d'huile.
- [0119] Les paliers lisses peuvent prendre une charge et/ou une chaleur supérieures plus que les engrenages, et qu'il peut donc être plus important de fournir une huile froide aux paliers lisses qu'aux engrenages, pour améliorer la lubrification et/ou permettre à plus de chaleur d'être éliminée par l'huile. Une température d'huile inférieure peut être atteinte si un volume d'huile plus faible est refroidi, pour la même température du milieu de refroidissement (ici, susceptible d'être le carburant). Le choix de ne pas refroidir une proportion de l'huile sortant du réservoir d'huile peut donc permettre à la partie refroidie de l'huile d'atteindre une température inférieure. Les inventeurs étaient conscients que, pour un meilleur rendement de refroidissement et de lubrification, le système de lubrification à remise en circulation peut donc être agencé pour fournir de l'huile à des températures différentes à des composants différents, en fonction de leurs besoins, plutôt que de traiter toute huile du système de la même manière. Le fait

d'avoir des proportions de l'huile à des températures différentes et de permettre un mélange contrôlé de ces huiles à des températures différentes peut permettre un ajustement amélioré de la température de l'huile pour un usage/composant donné.

[0120] En outre, les paliers lisses sont généralement moins tolérants à la variation d'épaisseur de film de lubrification que les engrenages. Un « toucher » de contact métal-à-métal avec des paliers lisses peut provoquer une progression de défaillance beaucoup plus rapide que l'engrènement des engrenages. Les paliers lisses reposent sur un apport constant d'huile dans des conditions de fonctionnement quelconques, même en cas de défaillance dans le système d'alimentation en huile (par exemple, défaillance de pompe à huile ou fuite de tuyau). Il y a donc également un impact positif de pouvoir utiliser moins d'écoulement d'huile vers les paliers lisses. Comme l'huile plus froide permet d'utiliser un écoulement réduit d'huile pour un même effet de refroidissement, la redondance requise dans le système d'huile pour traiter les éventuelles défaillances peut être plus facilement gérée, et les composants du système d'huile peuvent être de taille plus petite. Par exemple, dans des systèmes actuels, l'huile peut être fournie aux paliers lisses à partir de deux alimentations en huile différentes et l'alimentation est le double de l'écoulement d'huile minimal requis, de telle sorte que si une alimentation échoue l'autre alimentation peut toujours fournir l'écoulement requis aux paliers. Avec une température d'huile réduite pour les paliers lisses, le double de l'écoulement requis peut toujours être requis, mais l'écoulement requis est inférieur à l'huile plus chaude. Cela a un impact positif en termes de taille de composant (par exemple, la taille de la pompe à huile) et améliore l'efficacité du réducteur de puissance et donc la consommation spécifique de carburant (SFC) du moteur. La mise en place du refroidissement sur la partie d'écoulement d'huile total qui est destinée aux paliers lisses peut donc être utilisée pour augmenter la quantité de chaleur qui peut être absorbée des paliers lisses (si le débit est maintenu le même, ou réduit d'une quantité suffisamment petite pour ne pas contrebalancer complètement l'effet bénéfique fourni par l'huile plus froide) et/ou pour permettre d'utiliser un débit réduit pour le même niveau d'élimination de chaleur.

[0121] Dans certaines mises en œuvre, par exemple, une partie d'huile d'un réservoir d'huile principal est refroidie (par passage dans un ou plusieurs échangeurs de chaleur), alors qu'une autre partie d'huile est envoyée du réservoir d'huile principal vers le réducteur sans ce refroidissement. Dans diverses mises en œuvre, aucune partie de l'huile non refroidie provenant du réservoir d'huile principal ne peut aller jusqu'aux paliers lisses ; i.e. seule l'huile refroidie provenant du réservoir d'huile principal peut aller jusqu'aux paliers lisses du réducteur. Toute l'huile non refroidie, mélangée à un pourcentage de l'huile refroidie, peut aller jusqu'aux engrenages du réducteur.

[0122] L'huile fournie aux paliers lisses peut être plus froide d'au moins 10 °C que l'huile

fournie aux engrenages dans des conditions de croisière. L'huile fournie aux paliers lisses peut être plus froide d'au moins 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C ou 45 °C que l'huile fournie aux engrenages. L'huile fournie aux paliers lisses peut être plus froide de 30 °C que l'huile fournie aux engrenages. L'huile fournie aux paliers lisses peut être plus froide d'entre 20 °C et 40 °C que l'huile fournie aux engrenages.

- [0123] L'huile fournie aux paliers lisses peut avoir une température comprise entre 80 °C et 120 °C, et éventuellement de 100 °C, aux conditions de croisière. L'huile fournie aux engrenages peut avoir une température comprise entre 100 °C et 140 °C, et éventuellement de 130 °C, aux conditions de croisière.
- [0124] Le procédé peut comprendre le transfert de 300 à 500 kJ/m³ de chaleur au carburant provenant de l'huile à travers le système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière. Le procédé peut comprendre le transfert de 350 à 450 kJ/m³ de chaleur au carburant provenant de l'huile à travers le système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière. Le procédé peut comprendre le transfert de 400 kJ/m³ de chaleur au carburant provenant de l'huile à travers le système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière. Ce transfert de chaleur peut être utilisé pour contrôler la température de l'huile à l'entrée du réducteur.
- [0125] L'huile peut avoir une température moyenne allant jusqu'à 160 °C, 180 °C, 200 °C ou 220 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière.
- [0126] En plus de gagner de la chaleur du réducteur principal, l'huile peut passer à travers et refroidir un ou plusieurs autres composants de moteur, comportant éventuellement un réducteur auxiliaire (AGB) et/ou une ou plusieurs chambres de palier. Ces composants du moteur peuvent ajouter plus de chaleur à l'huile, élevant sa température au-delà de ce qu'elle serait à partir de la chaleur prélevée depuis le réducteur principal.
- [0127] L'huile dans le système de lubrification à remise en circulation peut donc passer à travers un réducteur auxiliaire et un ou plusieurs paliers lisses du moteur ainsi qu'à travers le réducteur principal, et l'huile peut avoir une température moyenne allant jusqu'à 220 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière (même si l'huile sortant du réducteur principal est significativement plus froide).
- [0128] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre un générateur d'entraînement intégré.
- [0129] Le système de lubrification à remise en circulation peut comprendre des premier et second systèmes à boucle fermée, dans lequel le second système à boucle fermée fournit de l'huile au réducteur, et le premier système à boucle fermée fournit de l'huile au générateur d'entraînement intégré. Le procédé peut comprendre le transfert de chaleur provenant d'huile dans le second système à boucle fermée au carburant. Le

procédé peut comprendre le transfert de chaleur provenant d'huile dans le premier système à boucle fermée au carburant.

- [0130] La chaleur peut être transférée de l'huile dans le premier système à boucle fermée au carburant avant que la chaleur soit transférée de l'huile dans le second système à boucle fermée au carburant.
- [0131] Plus de chaleur peut être délivrée à l'huile dans le second système à boucle fermée par le réducteur que la sortie à l'huile dans le premier système à boucle fermée par le générateur d'entraînement intégré (IDG).
- [0132] On aura à l'esprit que, alors que le réducteur délivre généralement plus de chaleur en termes de rejet de chaleur absolue, le rejet de chaleur du réducteur principal, qui peut également être appelé réducteur de puissance (PGB), conduit généralement à une chaleur de faible qualité avec des débits d'huile relativement élevés – i.e. le débit d'huile peut être maintenu élevé de telle sorte que l'huile sortant du réducteur ne parvient pas à une température élevée qu'elle obtiendrait si le débit d'huile était identique à celui à travers l'IDG. L'huile sortant du PGB est généralement encore plus chaude que l'huile sortant de l'IDG, bien que l'on aura à l'esprit que cela peut varier entre les mises en œuvre.
- [0133] Par exemple, un PGB peut sortir autour de 75 kW de chaleur aux conditions de croisière. Le débit volumétrique d'huile au PGB dans les mêmes conditions peut être d'environ 0,002 m³/s. En revanche, un IDG peut délivrer uniquement environ 18,4 kW de chaleur aux conditions de croisière, soit seulement environ 25 % de la chaleur sortie du PGB – le PGB peut donc délivrer environ quatre fois autant de chaleur que l'IDG. Cependant, le débit volumétrique d'huile vers l'IDG peut être seulement de l'ordre de 0,00062 m³/s. L'huile sortant du PGB peut donc n'avoir qu'environ 1,2 fois la chaleur transférée à lui par unité de volume par comparaison avec l'huile sortant de l'IDG, malgré la sortie de la chaleur du PGB étant quatre fois plus élevée.
- [0134] Le débit d'huile de PGB aux conditions de croisière peut être compris entre 100 litres par minute et 150 litres par minute, et éventuellement peut être d'environ ou égal à 126 l/min. Le débit d'huile d'IDG aux conditions de croisière peut être compris entre 30 litres par minute et 45 litres par minute, et éventuellement peut être d'environ ou égal à 37 l/min.
- [0135] La sortie de chaleur de PGB dans diverses mises en œuvre peut être de 50 à 100 kW. La sortie de chaleur d'IDG dans diverses mises en œuvre peut être de 5 kW à 25 kW.
- [0136] Plusieurs échangeurs de chaleur peuvent être prévus pour refroidir l'huile avant qu'elle ne rentre dans le réducteur (et/ou d'autres composants de moteur à lubrifier et/ou refroidir), les multiples échangeurs de chaleur comportant un échangeur de chaleur carburant-huile et au moins l'un parmi :
- [0137] (i) un échangeur de chaleur air-huile ; et

- [0138] (ii) un échangeur de chaleur huile-huile, ayant un écoulement d'huile provenant d'une source différente s'écoulant à travers celui-ci (par exemple, pour un transfert de chaleur entre des premier et second systèmes à boucle fermée).
- [0139] Dans de telles mises en œuvre, les multiples échangeurs de chaleur peuvent être agencés dans une configuration parallèle et le procédé peut comprendre l'envoi d'une proportion de l'huile à travers chaque branche de la configuration parallèle, et l'ajustement de cette proportion pour faire varier la quantité d'huile s'écoulant à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile et la quantité d'huile s'écoulant à travers un échangeur de chaleur sur l'autre branche. La configuration parallèle peut comprendre une première branche avec l'échangeur de chaleur carburant-huile, et une seconde branche avec un échangeur de chaleur air-huile et/ou un échangeur de chaleur huile-huile.
- [0140] Le procédé peut comprendre le transfert d'au moins 40 % de la chaleur perdue à partir de l'huile de l'huile au carburant, avec le reste de la chaleur transférée de l'huile à l'air ou à l'autre huile. Le procédé peut comprendre le transfert d'au moins 50 %, 60 % ou 70 % de la chaleur perdue à partir de l'huile de l'huile au carburant, avec le reste de la chaleur transférée de l'huile à l'air ou à l'autre huile.
- [0141] Un système d'huile à boucle fermée peut être divisé, ou ramifié, de telle sorte que l'huile est envoyée vers le bas de deux branches différentes (ou plus) qui se rejoignent ensuite, fournissant ainsi un écoulement d'huile parallèle autour d'une section de la boucle. Les multiples échangeurs de chaleur peuvent donc être agencés dans une configuration parallèle et le procédé peut comprendre l'envoi d'une proportion de l'huile à travers chaque branche de la configuration parallèle, et l'ajustement de cette proportion pour faire varier la quantité d'huile qui s'écoule à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile et la quantité d'huile qui s'écoule à travers au moins un échangeur de chaleur sur l'autre branche.
- [0142] La configuration parallèle peut comprendre une première branche avec l'échangeur de chaleur carburant-huile, et une seconde branche avec un ou plusieurs d'échangeur de chaleur air-huile et d'un échangeur de chaleur huile-huile.
- [0143] Le premier système à boucle fermée et le second système à boucle fermée peuvent être conçus pour interagir par l'intermédiaire d'au moins un échangeur de chaleur huile-huile de telle sorte que de la chaleur peut être transférée d'un écoulement d'huile à l'autre.
- [0144] Selon un sixième aspect, un moteur à turbine à gaz pour un aéronef est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0145] un cœur de moteur comprenant une turbine, un compresseur, une chambre de combustion agencée pour brûler un carburant, et un arbre de cœur reliant la turbine au compresseur ;

- [0146] une soufflante située en amont du cœur de moteur ;
- [0147] un arbre de soufflante ;
- [0148] un réducteur qui reçoit une entrée provenant de l'arbre de cœur et délivre en sortie un entraînement à la soufflante par l'intermédiaire de l'arbre de soufflante, le réducteur comprenant des engrenages et des paliers lisses ;
- [0149] un système de lubrification à remise en circulation agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier les engrenages et les paliers lisses, le système de lubrification comprenant un premier réservoir d'huile agencé pour fournir de l'huile aux engrenages et aux paliers lisses et un second réservoir d'huile agencé pour fournir de l'huile aux paliers lisses seulement ; et
- [0150] un système d'échange de chaleur agencé pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant,
- [0151] dans lequel le système de lubrification à remise en circulation est agencé pour fournir une huile plus froide aux paliers lisses qu'aux engrenages dans des conditions de croisière ; et
- [0152] dans lequel le système d'échange de chaleur est agencé pour transférer de 200 à 600 kJ/m³ de chaleur au carburant à partir de l'huile dans des conditions de croisière.
- [0153] Le transfert de chaleur au carburant à partir de l'huile aux conditions de croisière peut être utilisé pour contrôler la température d'huile à l'entrée du réducteur.
- [0154] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre un réducteur auxiliaire. L'huile du système de lubrification à remise en circulation peut être agencée pour refroidir le réducteur auxiliaire, augmentant ainsi en température.
- [0155] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre une ou plusieurs chambres de palier. L'huile dans le système de lubrification à remise en circulation peut être agencée pour refroidir la ou les chambres de palier, augmentant ainsi en température.
- [0156] Le transfert de chaleur est mesuré par mètre cube de carburant à l'entrée de la chambre de combustion. La quantité de chaleur transférée au carburant peut donc être calculée en fonction d'une température de carburant à l'approche ou l'entrée dans la chambre de combustion par comparaison avec une température de carburant dans un réservoir de carburant de l'aéronef. Toute remise en circulation à travers, ou contournement, d'un échangeur de chaleur peut donc être comptabilisée.
- [0157] Comme le transfert de chaleur est mesuré par unité de volume de carburant, cela peut être considéré comme un taux de transfert de chaleur normalisé pour les variations de débit de carburant dans des conditions de croisière.
- [0158] Le moteur à turbine à gaz peut donc être utilisé pour mettre en œuvre le procédé du cinquième aspect, et peut offrir les mêmes effets techniques et avantages.
- [0159] Il est envisagé que toutes les caractéristiques décrites pour le cinquième ou sixième

aspect puissent également s'appliquer à l'autre du cinquième ou du sixième aspect.

- [0160] Aux conditions de croisière, et pour tous les aspects décrits ici, l'écoulement d'huile entrant dans n'importe lequel des échangeurs de chaleur carburant-huile peut avoir une température moyenne plus élevée que l'écoulement de carburant entrant dans le même échangeur de chaleur carburant-huile. De cette manière, l'énergie thermique peut être transférée de l'écoulement d'huile vers l'écoulement de carburant s'écoulant à travers le ou les échangeurs de chaleur carburant-huile dans des conditions de croisière. Ainsi, l'huile sortant de chaque échangeur de chaleur peut avoir une température plus basse que l'huile entrant dans cet échangeur de chaleur dans des conditions de croisière.
- [0161] Comme indiqué ailleurs ici, la présente description peut s'appliquer à une quelconque configuration pertinente d'un moteur à turbine à gaz. Un tel moteur à turbine à gaz peut être, par exemple, un moteur à turbine à gaz à double flux, un moteur à turbine à gaz à rotor ouvert (dans lequel l'hélice n'est pas entourée par une nacelle), un moteur à turbopropulseur ou un turboréacteur. Un tel moteur quelconque peut être ou non pourvu d'un post-brûleur. Un tel moteur à turbine à gaz peut être, par exemple, conçu pour des applications de génération de puissance terrestre ou marine.
- [0162] Un moteur à turbine à gaz conformément à un aspect quelconque de la présente description 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). Une telle soufflante peut être située en amont du cœur de moteur. En variante, dans certains exemples, le moteur à turbine à gaz peut comprendre une soufflante située en aval du cœur de moteur, par exemple où le moteur à turbine à gaz est un moteur à rotor ouvert ou un à turbopropulseur (auquel cas la soufflante peut être dénommée hélice).
- [0163] Lorsque le moteur à turbine à gaz est un moteur à rotor ouvert ou à turbopropulseur, le moteur à turbine à gaz peut comprendre deux étages d'hélice contrarotatifs fixés à et entraînés par une turbine de puissance libre par l'intermédiaire d'un arbre. Les hélices peuvent tourner dans des sens opposés de sorte que l'un tourne dans le sens horaire et l'autre dans le sens anti-horaire autour de l'axe de rotation du moteur. En variante, le moteur à turbine à gaz peut comprendre un étage d'hélice et un étage d'aubes directrices conçu en aval de l'étage d'hélice. L'étage d'aubes directrices peut être à pas variable. Ainsi, les turbines à haute pression, à pression intermédiaire et à puissance libre peuvent respectivement entraîner des hélices et des compresseurs à pression élevée et intermédiaire par des arbres d'interconnexion appropriés. Ainsi, les hélices peuvent fournir la majorité de la poussée de propulsion.
- [0164] Dans le cas où le moteur à turbine à gaz est un moteur à rotor ouvert ou à turbopropulseur, un ou plusieurs parmi les étages d'hélice peuvent être entraînés par un

réducteur. Le réducteur peut être du type décrit ici.

- [0165] Un moteur selon la présente description peut être un turboréacteur à double flux. Un tel moteur peut être un turboréacteur à double flux à entraînement direct dans lequel la soufflante est directement reliée à la turbine d'entraînement de soufflante, par exemple sans réducteur, par l'intermédiaire d'un arbre de cœur. Dans un tel moteur à double flux à entraînement direct, la soufflante peut être dite rotative à la même vitesse de rotation que la turbine d'entraînement de soufflante. Strictement à titre d'exemple, la turbine d'entraînement de soufflante peut être une première turbine, l'arbre de cœur peut être un premier arbre de cœur, et le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre une seconde turbine et un deuxième arbre de cœur reliant la seconde turbine au compresseur. La seconde turbine, le 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. Dans un tel agencement, la seconde turbine peut être positionnée axialement en amont de la première turbine.
- [0166] Un moteur selon la présente description peut être un turboréacteur à double flux à engrenages. Dans un tel agencement, le moteur a une soufflante qui est entraînée par l'intermédiaire d'un réducteur. En conséquence, un tel moteur à turbine à gaz peut comprendre un réducteur qui reçoit une entrée de l'arbre de cœur et délivre 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).
- [0167] Le moteur à turbine à gaz tel que décrit et/ou revendiqué 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 relie 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.
- [0168] 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 géné-

ralement annulaire) un flux depuis le premier compresseur.

[0169] 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 uniquement par 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.

[0170] 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. Un tel réducteur peut être un étage unique. En variante, un tel réducteur peut être un réducteur composé, par exemple un réducteur planétaire composé (qui peut avoir l'entrée sur l'engrenage solaire et la sortie sur la couronne dentée, et donc être dénommé réducteur « en étoile composé »), par exemple à deux étages de réduction.

[0171] 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 allant 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 de réduction dans la plage allant de 3,1 ou 3,2 à 3,8. Strictement à titre d'exemple supplémentaire, le réducteur peut être un réducteur en « étoile » ayant un rapport de réduction dans la plage allant de 3,0 à 3,1. Strictement à titre d'exemple supplémentaire, le réducteur peut être un réducteur « planétaire » ayant un rapport de réduction dans la plage allant de 3,6 à 4,2. Dans certains agencements, le rapport d'engrenage peut être à l'extérieur de ces plages.

[0172] Dans n'importe quel moteur à turbine à gaz tel que décrit et/ou revendiqué ici, le carburant d'une composition ou d'un mélange donné est fourni à une chambre de combustion, qui peut être fournie en aval de la soufflante et du ou des compresseurs par rapport au trajet d'écoulement (par exemple axialement en aval). 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).

[0173] 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. Par exemple, le moteur à turbine à gaz peut être un moteur à turbine à gaz à double flux à entraînement direct comprenant 13 ou 14 étages de compresseur (en plus de la soufflante). Un tel moteur peut par exemple comprendre 3 étages dans le premier compresseur (ou « basse pression ») et soit 10 soit 11 étages dans le second compresseur (ou « haute pression »). À titre d'exemple supplémentaire, le moteur à turbine à gaz peut être un moteur à turbine à gaz à « engrenages » (dans lequel la soufflante est entraînée par un premier arbre de cœur par l'intermédiaire d'une boîte de réduction) comprenant 11, 12 ou 13 étages de compresseur (en plus de la soufflante). Un tel moteur peut comprendre 3 ou 4 étages dans le premier compresseur (ou « basse pression ») et 8 ou 9 étages dans le second compresseur (ou « haute pression »). À titre d'exemple supplémentaire, le moteur à turbine à gaz peut être un moteur à turbine à gaz à « engrenages » ayant 4 étages dans le premier compresseur (ou « basse pression ») et 10 étages dans le second compresseur (ou « haute pression »).

[0174] 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, ou inversement, selon le besoin. Les rangées respectives d'aubes de rotor et d'aubes de stator peuvent être axialement décalées l'une de l'autre. La seconde turbine (ou « haute pression ») peut comprendre 2 étages dans n'importe quel agencement (par exemple, indépendamment du fait qu'il s'agisse d'un moteur à engrenages ou à entraînement direct). Le moteur à turbine à gaz peut être un moteur à turbine à gaz à entraînement direct comprenant une première turbine (ou « basse pression ») ayant 5, 6 ou 7 étages. En variante, le moteur à turbine à gaz peut être un moteur à turbine à gaz à « engrenages » comprenant une première turbine (ou « basse pression ») ayant 3 ou 4 étages.

[0175] 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 du bout peut être inclus dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (i.e. les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple dans la plage allant de 0,28 à 0,32, ou 0,29 à 0,30. 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 d'une quelconque plate-forme.

- [0176] 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 :
- 140 cm, 170 cm, 180 cm, 190 cm, 200 cm, 210 cm, 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 soufflante peut être dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (i.e. les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple dans la plage allant de 210 cm à 240 cm, ou 250 cm à 280 cm, ou 320 cm à 380 cm. Strictement à titre d'exemple non limitatif, le diamètre de soufflante peut être dans la plage allant de 170 cm à 180 cm, 190 cm à 200 cm, 200 cm à 210 cm, 210 cm à 230 cm, 290 cm à 300 cm ou 340 cm à 360 cm.

- [0177] La vitesse de rotation de la soufflante peut varier en cours d'utilisation. Généralement, 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 3500 tr/min, par exemple inférieure à 2600 tr/min, ou inférieure à 2500 tr/min, ou 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 à turbine à gaz « à engrenages »

ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 200 cm à 210 cm peut être dans la plage allant de 2750 à 2900 tr/min. Strictement à titre d'exemple non limitatif supplémentaire, la vitesse de rotation de la soufflante aux conditions de croisière pour un moteur à turbine à gaz « à engrenages » ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 210 cm à 230 cm peut être dans la plage allant de 2500 à 2800 tr/min.

Strictement à titre d'exemple non limitatif supplémentaire, la vitesse de rotation de la soufflante aux conditions de croisière pour un moteur à turbine à gaz « à engrenages » ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 340 cm à 360 cm peut être dans la plage allant de 1500 à 1800 tr/min. Strictement à titre d'exemple non limitatif supplémentaire, la vitesse de rotation de la soufflante aux conditions de croisière pour un moteur à entraînement direct ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 190 cm à 200 cm peut être dans la plage allant de 3600 à 3900 tr/min. Strictement à titre d'exemple non limitatif supplémentaire, la vitesse de rotation de la soufflante aux conditions de croisière pour un moteur à entraînement direct ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 300 cm à 340 cm peut être dans la plage allant de 2000 à 2800 tr/min.

[0178] 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 accompli par les pales de soufflante sur le flux résulte en une élévation d'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 translation) 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 (toutes les valeurs n'ayant pas de dimension). La charge de pointe de soufflante peut être dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (i.e. les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple dans la plage allant de 0,28 à 0,31 ou de 0,29 à 0,3 (par exemple pour un moteur à turbine à gaz à engrenages).

[0179] Des moteurs à turbine à gaz conformément à la présente description peuvent avoir n'importe quel rapport de contournement (BPR) souhaité, où le rapport de contournement est défini comme le rapport du débit massique de l'écoulement à travers le conduit de contournement au débit massique de l'écoulement à travers le cœur. Dans certains agencements le rapport de contournement aux conditions de

croisière peut être supérieur à (ou de l'ordre de) n'importe lequel des suivants : 9, 9,5, 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 aux conditions de croisière peut être dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (i.e. les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple dans la plage allant de 12 à 16, de 13 à 15, ou de 13 à 14. Strictement à titre d'exemple non limitatif, le rapport de contournement aux conditions de croisière d'un moteur à turbine à gaz à entraînement direct selon la présente description peut être dans la plage allant de 9:1 à 11:1. Strictement à titre d'exemple non limitatif supplémentaire, le rapport de contournement aux conditions de croisière d'un moteur à turbine à gaz à engrenages selon la présente description peut être dans la plage allant de 12:1 à 15:1. 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.

[0180] Le rapport de pression global (OPR) d'un moteur à turbine à gaz tel que décrit et/ou revendiqué ici peut être défini comme le rapport de la pression de stagnation en sortie du compresseur à pression la plus élevée (avant une entrée dans la chambre de combustion) à la pression de stagnation en amont de la soufflante. À titre d'exemple non limitatif, le rapport de pression global d'un moteur à turbine à gaz tel que décrit et/ou revendiqué ici aux conditions de 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. Strictement à titre d'exemple non limitatif, le rapport de pression global aux conditions de croisière d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 200 cm à 210 cm peut être dans la plage allant de 40 à 45. Strictement à titre d'exemple non limitatif, le rapport de pression global aux conditions de croisière d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 210 cm à 230 cm peut être dans la plage allant de 45 à 55. Strictement à titre d'exemple non limitatif, le rapport de pression global aux conditions de croisière d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 340 cm à 360 cm peut être dans la plage allant de 50 à 60. Strictement à titre d'exemple non limitatif, le rapport de pression global aux conditions de croisière d'un moteur à turbine à gaz à entraînement direct ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 300 cm à 340 cm peut être dans la plage allant de 50 à 60.

[0181] 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. Dans certains exemples, une poussée spécifique peut dépendre, pour une condition de poussée donnée, de la composition spécifique de carburant fourni à la chambre de combustion. Aux conditions de croisière, la poussée spécifique d'un moteur décrit et/ou revendiqué 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. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la poussée spécifique d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 200 cm à 210 cm peut être dans la plage allant de 90 Nkg⁻¹s à 95 Nkg⁻¹s. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la poussée spécifique d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 210 cm à 230 cm peut être dans la plage allant de 80 Nkg⁻¹s à 90 Nkg⁻¹s. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la poussée spécifique d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 340 cm à 360 cm peut être dans la plage allant de 70 Nkg⁻¹s à 90 Nkg⁻¹s. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la poussée spécifique d'un moteur à turbine à gaz à entraînement direct ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 300 cm à 340 cm peut être dans la plage allant de 90 Nkg⁻¹s à 120 Nkg⁻¹s.

[0182] Un moteur à turbine à gaz tel que décrit et/ou revendiqué ici peut avoir n'importe quelle poussée maximale souhaitée. Strictement à titre d'exemple non limitatif, une turbine à gaz telle que décrite et/ou revendiquée ici peut être susceptible de produire une poussée maximale d'au moins (ou de l'ordre de) n'importe laquelle des suivantes : 100 kN, 110 kN, 120 kN, 130 kN, 135 kN, 140 kN, 145 kN, 150 kN, 155 kN, 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 non limitatif uniquement, une turbine à gaz telle que décrite et/ou revendiquée ici peut être capable de produire une poussée maximale dans la plage allant de 155 kN à 170 kN, de 330 kN à 420 kN, ou de 350 kN à 400 kN. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la poussée maximale d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 200 cm à 210 cm peut être dans la plage allant de 140 kN à 160 kN. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la poussée maximale d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante

dans la plage allant de 210 cm à 230 cm peut être dans la plage allant de 150 kN à 200 kN. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la poussée maximale d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 340 cm à 360 cm peut être dans la plage allant de 370 kN à 500 kN.

Strictement à titre d'exemple non limitatif, la poussée maximale d'un moteur à turbine à gaz à entraînement direct ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 300 cm à 340 cm peut être dans la plage allant de 370 kN à 500 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.

[0183] 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. Dans certains exemples, la TET peut dépendre, pour une condition de poussée donnée, de la composition spécifique de carburant fourni à la chambre de combustion. 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, 1520 K, 1530 K, 1540 K, 1550 K, 1600 K ou 1650 K. Ainsi, uniquement à titre d'exemple non limitatif, la TET aux conditions de croisière d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 200 cm à 210 cm peut être dans la plage allant de 1540 K à 1600 K. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la TET aux conditions de croisière d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 210 cm à 230 cm peut être dans la plage allant de 1590 K à 1650 K. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la TET aux conditions de croisière d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 340 cm à 360 cm peut être dans la plage allant de 1600 K à 1660 K. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la TET aux conditions de croisière d'un moteur à turbine à gaz à entraînement direct ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 300 cm à 340 cm peut être dans la plage allant de 1590 K à 1650 K. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la TET aux conditions de croisière d'un moteur à turbine à gaz à entraînement direct ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 300 cm à 340 cm peut être dans la plage allant de 1570 K à 1630 K.

[0184] La TET en conditions de croisière peut être dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (i.e. les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple 1530 K à 1600 K. 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, 2000 K, 2050 K, ou 2100 K. Ainsi, uniquement à titre d'exemple non limitatif, la TET maximale d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 200 cm à 210 cm peut être dans la plage allant de 1890 K à 1960 K. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la TET maximale d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 210 cm à 230 cm peut être dans la plage allant de 1890 K à 1960 K. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la TET maximale d'un moteur à turbine à gaz à engrenages ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 340 cm à 360 cm peut être dans la plage allant de 1890 K à 1960 K. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la TET maximale d'un moteur à turbine à gaz à entraînement direct ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 300 cm à 340 cm peut être dans la plage allant de 1935 K à 1995 K. Strictement à titre d'exemple non limitatif, la TET maximale d'un moteur à turbine à gaz à entraînement direct ayant un diamètre de soufflante dans la plage allant de 300 cm à 340 cm peut être dans la plage allant de 1890 K à 1950 K. La TET maximale peut être dans une plage inclusive délimitée par deux quelconques des valeurs de la phrase précédente (i.e. les valeurs peuvent former des limites supérieures ou inférieures), par exemple dans la plage allant de 1800 K à 1950 K, ou de 1900 K à 2000 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).

[0185] Une partie d'aube de soufflante et/ou de profil aérodynamique d'une aube de soufflante décrite et/ou revendiquée 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'un composite à fibres 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.

- [0186] Une soufflante telle que décrite et/ou revendiquée 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'encocher 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.
- [0187] Les moteurs à turbine à gaz décrits et/ou revendiqués 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.
- [0188] La soufflante d'une turbine à gaz telle que décrite et/ou revendiquée 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. Lorsque les aubes de soufflante ont un corps composite à fibres de carbone, il peut y avoir 16 ou 18 aubes de soufflante. Lorsque les aubes de soufflante ont un corps métallique (par exemple, aluminium-lithium ou alliage de titane), il peut y avoir 18, 20 ou 22 aubes de soufflante.
- [0189] Tel qu'il est utilisé ici, les termes repos, roulage, décollage, montée, croisière, descente, approche et atterrissage ont la signification classique et seraient aisément compris par l'homme du métier. Ainsi, pour un moteur à turbine à gaz donné pour un aéronef, l'homme du métier reconnaîtrait immédiatement que chaque terme se réfère à une phase de fonctionnement du moteur au sein d'une mission donnée d'un aéronef auquel le moteur à turbine à gaz est conçu pour être fixé.
- [0190] À ce titre, le ralenti au sol peut se référer à une phase de fonctionnement du moteur où l'aéronef est stationnaire et au contact du sol, mais où il y a un besoin de roulage pour le moteur. Au repos, le moteur peut produire entre 3 % et 9 % de la poussée disponible du moteur. Dans d'autres exemples non limitatifs, le moteur peut produire

entre 5 % et 8 % de poussée disponible. Dans d'autres exemples non limitatifs, le moteur peut produire entre 6 % et 7 % de poussée disponible. Le roulage peut se référer à une phase de fonctionnement du moteur où l'aéronef est propulsé le long du sol par la poussée produite par le moteur. Lors du roulage, le moteur peut produire entre 5 % et 15 % de poussée disponible. Dans d'autres exemples non limitatifs, le moteur peut produire entre 6 % et 12 % de poussée disponible. Dans d'autres exemples non limitatifs, le moteur peut produire entre 7 % et 10 % de poussée disponible. Le décollage peut se référer à une phase de fonctionnement du moteur où l'aéronef est propulsé par la poussée produite par le moteur. À un stade initial dans la phase de décollage, l'aéronef peut être propulsé alors que l'aéronef est en contact avec le sol. À un stade ultérieur dans la phase de décollage, l'aéronef peut être propulsé alors que l'aéronef n'est pas en contact avec le sol. Pendant le décollage, le moteur peut produire entre 90 % et 100 % de poussée disponible. Dans d'autres exemples non limitatifs, le moteur peut produire entre 95 % et 100 % de poussée disponible. Dans d'autres exemples non limitatifs, le moteur peut produire 100 % de poussée disponible.

[0191] La montée peut se référer à une phase de fonctionnement du moteur où l'aéronef est propulsé par la poussée produite par le moteur. Lors de la montée, le moteur peut produire entre 75 % et 100 % de poussée disponible. Dans d'autres exemples non limitatifs, le moteur peut produire entre 80 % et 95 % de poussée disponible. Dans d'autres exemples non limitatifs, le moteur peut produire entre 85 % et 90 % de poussée disponible. À ce titre, la montée peut se référer à une phase de fonctionnement au sein d'un cycle de vol d'aéronef entre le décollage et l'arrivée dans des conditions de croisière. En outre ou en variante, la montée peut se référer à un point nominal dans un cycle de vol d'aéronef entre le décollage et l'atterrissage, où une augmentation relative de l'altitude est requise, ce qui peut nécessiter une demande supplémentaire de poussée du moteur.

[0192] 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.

- [0193] 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.
- [0194] 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.
- [0195] 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.
- [0196] Strictement à titre d'exemple, les conditions de croisière peuvent correspondre à un nombre de Mach vers l'avant de 0,8 et des conditions atmosphériques types (selon

l'atmosphère type internationale) à une altitude de 35 000 pieds (10 668 m). À de telles conditions de croisière, le moteur peut fournir un niveau de poussée nette requis connu. Le niveau de poussée nette requis connu est bien entendu dépendant du moteur et de son application visée et peut être, par exemple, une valeur comprise entre 20 kN et 40 kN.

[0197] Strictement à titre d'exemple supplémentaire, les conditions de croisière peuvent correspondre à un nombre de Mach vers l'avant de 0,85 et des conditions atmosphériques types (selon l'atmosphère type internationale) à une altitude de 38 000 pieds (11 582 m). À de telles conditions de croisière, le moteur peut fournir un niveau de poussée nette requis connu. Le niveau de poussée nette requis connu est bien entendu dépendant du moteur et de son application visée et peut être, par exemple, une valeur comprise entre 35 kN et 65 kN.

[0198] En cours d'utilisation, un moteur à turbine à gaz décrit et/ou revendiqué 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.

[0199] En outre, l'homme du métier reconnaîtrait immédiatement l'une ou l'autre, ou les deux, d'une descente et d'une approche se réfèrent à une phase de fonctionnement au sein d'un cycle de vol d'aéronef entre la croisière et l'atterrissage de l'aéronef. Pendant l'une ou l'autre ou les deux de descente et d'approche, le moteur peut produire entre 20 % et 50 % de poussée disponible. Dans d'autres exemples non limitatifs, le moteur peut produire entre 25 % et 40 % de poussée disponible. Dans d'autres exemples non limitatifs, le moteur peut produire entre 30 % et 35 % de poussée disponible. En complément ou en variante, la descente peut se référer à un point nominal dans un cycle de vol d'aéronef entre le décollage et l'atterrissage, où une diminution relative de l'altitude est requise, et qui peut nécessiter une demande de poussée réduite du moteur.

[0200] Selon un aspect, on fournit un aéronef comprenant un moteur à turbine à gaz tel que décrit et/ou revendiqué 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.

[0201] Selon un aspect, on fournit un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz tel que décrit et/ou revendiqué ici. Le fonctionnement peut être à n'importe quelle condition appropriée, qui peut être telle que définie ailleurs ici (par exemple en termes de poussée, de conditions atmosphériques et de nombre de Mach).

- [0202] Selon un aspect, on fournit un procédé de fonctionnement d'un aéronef comprenant un moteur à turbine à gaz tel que décrit et/ou revendiqué ici. Le fonctionnement selon cet aspect peut comporter (ou peut être) un fonctionnement à une condition appropriée quelconque, par exemple à la mi-croisière de l'aéronef, telle que définie ailleurs ici.
- [0203] 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.
- [0204] Des modes de réalisation vont maintenant être décrits à titre d'exemple uniquement, en référence aux Figures, sur lesquelles :
- [0205] [Fig.1] est une vue latérale en coupe d'un moteur à turbine à gaz ;
- [0206] [Fig.2] est une vue latérale en coupe rapprochée d'une partie amont d'un moteur à turbine à gaz ;
- [0207] [Fig.3A] est une vue partiellement coupée d'une boîte d'engrenages pour un moteur à turbine à gaz ;
- [0208] [Fig.3B] est une vue latérale en coupe d'un moteur à turbine à gaz à entraînement direct, le moteur à entraînement direct n'ayant pas de réducteur comme illustré sur la [Fig.3A] ;
- [0209] [Fig.4] montre un exemple d'aéronef comprenant deux moteurs à turbine à gaz, qui peuvent être à engrenages ou à entraînement direct ;
- [0210] [Fig.5] est une représentation schématique d'un exemple de système de carburant ;
- [0211] [Fig.6a] est une représentation schématique d'un exemple de système de carburant alternatif, comportant une boucle de remise en circulation de carburant ;
- [0212] [Fig.6b] est une représentation schématique d'un autre exemple de système de carburant alternatif similaire à celui montré sur la [Fig.6a], mais dans lequel du carburant passant à travers l'échangeur de chaleur secondaire n'est pas envoyé à la chambre de combustion ;
- [0213] [Fig.6c] est une représentation schématique d'un autre exemple de système de carburant alternatif similaire à celui montré sur la [Fig.6b] mais dans lequel du carburant passant à travers l'échangeur de chaleur secondaire est renvoyé vers la chambre de combustion facultativement après avoir été utilisé dans un ou plusieurs systèmes auxiliaires ;
- [0214] [Fig.7] est une représentation schématique d'un exemple de système d'huile à remise en circulation ;
- [0215] [Fig.8] est une représentation schématique d'une combinaison de l'exemple de système de carburant de la [Fig.5] et de l'exemple de système d'huile à remise en circulation de la [Fig.7] ;

- [0216] [Fig.9] est une représentation schématique d'une combinaison de l'exemple du système de carburant de la [Fig.6c] et de l'exemple système d'huile à remise en circulation de la [Fig.7], avec des modifications mineures ;
- [0217] [Fig.10] illustre un exemple de procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz, qui peut être un moteur à entraînement direct ; et
- [0218] [Fig.11] illustre un autre exemple de procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz, qui peut être un moteur à entraînement direct.
- [0219] [Fig.12] est une représentation schématique d'un exemple de système de carburant, qui peut être pour un moteur à engrenages ;
- [0220] [Fig.13] est une représentation schématique d'une partie d'une première boucle fermée d'un exemple de système de lubrification à remise en circulation ;
- [0221] [Fig.14] est une représentation schématique d'une partie d'une seconde boucle fermée d'un exemple de système de lubrification à remise en circulation, qui peut être utilisée conjointement avec la première boucle fermée illustrée sur la [Fig.13] ;
- [0222] [Fig.15] est une représentation schématique d'une partie d'une variante de seconde boucle fermée d'un exemple de système de lubrification à remise en circulation.
- [0223] [Fig.16] est une représentation schématique d'un exemple de système de carburant coopérant avec un exemple de système de lubrification à remise en circulation ;
- [0224] [Fig.17] est une représentation schématique d'une partie d'un exemple de système de lubrification à remise en circulation ;
- [0225] [Fig.18] est un exemple de procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz, qui peut être un moteur à turbine à gaz à engrenages ;
- [0226] [Fig.19] est une représentation schématique d'un appareil de refroidissement de turbine, qui peut être actionné hydrauliquement par carburant ; et
- [0227] [Fig.20] est une représentation schématique d'une autre partie alternative d'un exemple de système de lubrification à remise en circulation.
- [0228] La [Fig.1] illustre un moteur à turbine à gaz 10 ayant un axe de rotation principal 9. Le moteur 10 comprend une entrée 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.

- [0229] 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. L'équipement de combustion 16 peut être dénommé la chambre de combustion 16, avec les termes « équipement de combustion 16 » et « chambre de combustion 16 » utilisés de manière interchangeable ici. 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 agit généralement pour communiquer une pression accrue au flux d'air de contournement B s'écoulant à travers le conduit de contournement 22, de telle sorte que le flux d'air de contournement B est évacué à travers la tuyère d'échappement de contournement 18 pour fournir généralement la majorité de la poussée de propulsion. Le réducteur épicycloïdal 30 est une boîte de réduction.
- [0230] 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.
- [0231] Dans des mises en œuvre telles que celles mentionnées ci-dessus par rapport aux cinquième et sixième aspects, un ou plusieurs des engrenages du réducteur peuvent être montés sur des paliers lisses 44 (comme illustré sur la [Fig.20]). En particulier, chaque engrenage satellite 32 peut être monté rotatif sur un palier lisse 44 pour une rotation autour d'un axe. Ces paliers lisses peuvent être décrits en tant que paliers lisses du réducteur 30, et comme étant associés aux engrenages respectifs.
- [0232] 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 (i.e.

non comportant 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 (i.e. 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 compression ou étage de compression de plus basse pression.

[0233] La boîte d'engrenages épicycloïdale 30 est représentée à titre d'exemple plus en détail dans la [Fig.3A]. 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 des raisons de clarté, seules des parties exemplaires des dents sont illustrées dans la [Fig.3A]. 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 revendiquée. Des applications pratiques d'un réducteur épicycloïdal planétaire 30 comprennent généralement au moins trois engrenages satellites 32.

[0234] Le réducteur épicycloïdal 30 illustré à titre d'exemple sur les Figures 2 et 3A est du type planétaire, en ce que le porte-satellites 34 est accouplé à un arbre de sortie 42 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.

[0235] On aura à l'esprit que l'agencement montré sur les Figures 2 et 3A est à titre d'exemple uniquement, et que diverses alternatives sont dans le domaine 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 - par exemple l'arbre de soufflante 42 - 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].

- [0236] 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.
- [0237] Éventuellement, le réducteur peut entraîner des composants supplémentaires et/ou alternatifs (par exemple le compresseur à pression intermédiaire et/ou un surpresseur).
- [0238] 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.
- [0239] À titre d'exemple supplémentaire, d'autres moteurs à turbine à gaz auxquels la présente description peut être appliquée peuvent ne pas avoir de réducteur pour le ou les arbres principaux, étant plutôt des moteurs à entraînement direct. Une vue en coupe d'un tel moteur est montrée sur la [Fig.3B].
- [0240] En référence à la [Fig.3B], un moteur à turbine à gaz est généralement indiqué en 10, ayant un axe de rotation principal 9. Le moteur 10 comprend, en série d'écoulement axial, une admission d'air 12, une soufflante de propulsion 23, un compresseur à pression intermédiaire 14, un compresseur haute pression 15, un équipement de combustion 16, une turbine haute pression 17, une turbine à pression intermédiaire 19a, une turbine basse pression 19 et une tuyère d'échappement 20. Une nacelle 21 entoure le moteur 10 et définit à la fois l'admission 12 et la tuyère d'échappement 20.
- [0241] En cours d'utilisation, l'air entrant dans l'admission 12 est accéléré par la

soufflante 23 pour produire deux flux d'air : un flux d'air de cœur A et un flux d'air de contournement B. Le flux d'air de cœur A s'écoule dans le compresseur à pression intermédiaire 14, et le flux d'air de contournement B passe à travers un conduit de contournement 22 pour fournir une poussée de propulsion. Le compresseur à pression intermédiaire 14 comprime le flux d'air A avant de délivrer cet air au compresseur haute pression 15 où une autre compression a lieu.

- [0242] L'air comprimé évacué du compresseur haute pression 15 est dirigé dans l'équipement de combustion 16 où il est mélangé à du carburant F et le mélange est brûlé. L'équipement de combustion 16 peut être dénommé la chambre de combustion 16, avec les termes « équipement de combustion 16 » et « chambre de combustion 16 » utilisés de manière interchangeable ici. Les produits de combustion chauds résultants se dilatent alors, et entraînent de ce fait, les turbines haute pression, à pression intermédiaire et basse pression 17, 19a, 19 avant d'être évacués à travers la tuyère 20 pour fournir une poussée de propulsion supplémentaire. Les turbines haute pression 17, à pression intermédiaire 19a et basse pression 19 entraînent respectivement le compresseur haute pression 15, le compresseur à pression intermédiaire 14 et la soufflante 23, chacun par un arbre d'interconnexion approprié.
- [0243] D'autres moteurs à turbine à gaz auxquels la présente description peut être appliquée peuvent avoir des configurations alternatives. À titre d'exemple, de tels moteurs peuvent avoir un nombre alternatif d'arbres d'interconnexion (par exemple deux) et/ou un nombre alternatif de compresseurs et/ou de turbines. En outre, le moteur peut comprendre un réducteur fourni dans la chaîne cinématique depuis une turbine à un compresseur et/ou une soufflante.
- [0244] 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. Dans certains agencements, le moteur à turbine à gaz 10 peut ne pas comprendre un réducteur 30.
- [0245] 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.
- [0246] Le carburant F fourni à l'équipement de combustion 16 peut comprendre un carburant hydrocarboné à base fossile, tel que le kérosène. Ainsi, le carburant F peut comprendre des molécules de une ou plusieurs des familles chimiques de n-alcanes, iso-alcanes, cycloalcanes et aromatiques. En outre ou en variante, le carburant F peut

comprendre des hydrocarbures renouvelables produits à partir de ressources biologiques ou non biologiques, autrement connu sous le nom de carburant aviation durable (SAF). Dans chacun des exemples fournis, le carburant F peut comprendre un ou plusieurs oligoéléments comportant, par exemple, du soufre, de l'azote, de l'oxygène, des substances inorganiques, et des métaux.

[0247] Les performances fonctionnelles d'une composition donnée, ou mélange de carburant pour une utilisation dans une mission donnée, peuvent être définies, au moins en partie, par la capacité du carburant à traiter le cycle de Brayton du moteur à turbine à gaz 10. Les paramètres définissant les performances fonctionnelles peuvent comporter, par exemple, une énergie spécifique ; une densité d'énergie ; une stabilité thermique ; et des émissions comportant des matières particulaires. Une énergie spécifique relativement plus élevée (i.e. une énergie par unité de masse), exprimée en MJ/kg, peut réduire au moins partiellement le poids de décollage, ce qui fournit potentiellement une amélioration relative du rendement en carburant. Une densité énergétique relativement plus élevée (i.e. une énergie par unité de volume), exprimée en MJ/L, peut réduire au moins partiellement le volume du carburant au décollage, ce qui peut être particulièrement important pour des missions limitées en volume ou des opérations militaires impliquant un ravitaillement. Une stabilité thermique relativement plus élevée (i.e. le fait d'inhiber la dégradation ou la cokéfaction du carburant sous contrainte thermique) peut permettre au carburant de subir des températures élevées dans le moteur et des injecteurs de carburant, fournissant ainsi potentiellement des améliorations relatives dans l'efficacité de la combustion. Les émissions réduites, comportant des matières particulaires, peuvent permettre une formation de traînée de condensation réduite, tout en réduisant l'impact environnemental d'une mission donnée. D'autres propriétés du carburant peuvent également être essentielles à des performances fonctionnelles. Par exemple, un point de congélation relativement plus faible (°C) peut permettre à des missions à longue portée d'optimiser les profils de vol ; les concentrations minimales aromatiques (%) peuvent assurer un gonflement suffisant de certains matériaux utilisés dans la construction de joints toriques et de joints préalablement exposés aux carburants à fort contenu aromatique ; et, une tension superficielle maximale (mN/m) peut assurer une rupture de pulvérisation et une atomisation suffisantes du carburant.

[0248] Le rapport entre le nombre d'atomes d'hydrogène et le nombre d'atomes de carbone dans une molécule peut influencer l'énergie spécifique d'une composition donnée, ou mélange de combustible. Les combustibles présentant des rapports supérieurs d'atomes d'hydrogène aux atomes de carbone peuvent avoir des énergies spécifiques plus élevées en l'absence de souche de liaison. Par exemple, les combustibles hydrocarbonés à base fossile peuvent comprendre des molécules ayant approximativement

de 7 à 18 carbones, avec une partie significative d'une composition donnée issue de molécules de 9 à 15 carbones, avec une moyenne de 12 carbones.

- [0249] Un certain nombre de mélanges de carburant d'aviation durable ont été approuvés pour être utilisés. Par exemple, certains mélanges approuvés comprennent des rapports de mélange allant jusqu'à 10 % de carburant d'aviation durable, alors que d'autres mélanges approuvés comprennent des rapports de mélange compris entre 10 % et 50 % de carburant d'aviation durable (le reste comprenant un ou plusieurs combustibles hydrocarbonés à base fossile, tels que le kérosène), avec des compositions supplémentaires en attente d'approbation. Cependant, il existe une prévision dans l'industrie aéronautique selon laquelle des mélanges de carburant d'aviation durable, comprenant jusqu'à (et comportant) 100 % de carburant d'aviation durable (SAF) seront finalement approuvés pour une utilisation.
- [0250] Les carburants d'aviation durable peuvent comprendre un ou plusieurs parmi des n-alcanes, des iso-alcanes, des cycloalcanes et des aromatiques, et peuvent être produits, par exemple, à partir d'un ou plusieurs parmi un gaz de synthèse (gaz de synthèse) ; des lipides (par exemple, matières grasses, huiles et graisses) ; des sucres ; et des alcools. Ainsi, les carburants d'aviation durable peuvent comprendre des teneurs en aromatique et/ou en soufre plus faibles, par rapport à des combustibles hydrocarbonés à base fossile. En outre ou en variante, des carburants d'aviation durable peuvent comprendre l'un et/ou l'autre parmi une teneur en iso-alcane et une teneur en cycloalcane plus élevées, par rapport à des combustibles hydrocarbonés à base fossile. Ainsi, dans certains exemples, des carburants d'aviation durable peuvent comprendre une densité comprise entre 90 % et 98 % de celle du kérosène et/ou un pouvoir calorifique compris entre 101 % et 105 % de celui du kérosène.
- [0251] Grâce au moins en partie à la structure moléculaire de combustibles d'aviation durable, des carburants d'aviation durable peuvent fournir des effets bénéfiques comportant, par exemple, une ou plusieurs d'une énergie spécifique plus élevée (malgré, dans certains exemples, une densité d'énergie inférieure) ; une capacité thermique spécifique supérieure ; une stabilité thermique supérieure ; un pouvoir lubrifiant supérieur ; une viscosité inférieure ; une tension de surface inférieure ; un point de congélation inférieur ; des émissions de suie inférieure ; et, des émissions de CO₂ inférieures, par rapport à des combustibles hydrocarbonés à base fossile (par exemple, lorsqu'ils sont brûlés dans l'équipement de combustion 16). Ainsi, par rapport aux combustibles hydrocarbonés à base fossile, tels que le kérosène, les carburants d'aviation durable peuvent conduire à l'une ou l'autre ou aux deux d'une diminution relative de la consommation spécifique de carburant, et d'une diminution relative des coûts de maintenance.
- [0252] La [Fig.4] montre un aéronef 1 avec un système de propulsion 2 comprenant deux

moteurs à turbine à gaz 10. Les moteurs à turbine à gaz 10 sont alimentés en carburant provenant d'un système d'alimentation en carburant de l'aéronef 1. Le système d'alimentation en carburant des exemples illustrés comprend une seule source de carburant 50, 53.

- [0253] Au sens de la présente demande, le terme « source de carburant » signifie soit 1) un seul réservoir de carburant soit 2) une pluralité de réservoirs de carburant qui sont interconnectés fluidiquement.
- [0254] Dans les présents exemples, la première (et, dans ces exemples, seule) source de carburant comprend un réservoir de carburant central 50, situé principalement dans le fuselage de l'aéronef 1 et une pluralité de réservoirs de carburant d'aile 53a, 53b, où au moins un réservoir de carburant d'aile est situé dans l'aile bâbord et au moins un réservoir de carburant d'aile est situé dans l'aile tribord pour l'équilibrage. Tous les réservoirs 50, 53 sont reliés fluidiquement dans l'exemple représenté, formant ainsi une seule source de carburant. Chacun du réservoir de carburant central 50 et des réservoirs de carburant d'aile 53 peut comprendre une pluralité de réservoirs de carburant interconnectés fluidiquement. On aura à l'esprit que cet agencement de réservoir est fourni à titre d'exemple uniquement, et n'est pas limitatif du champ d'application de cette description. Par exemple, les réservoirs d'aile 53a, 53b peuvent être interconnectés fluidiquement l'un à l'autre, mais isolés fluidiquement du réservoir de carburant central 50, fournissant deux sources de carburant distinctes, qui peuvent contenir des combustibles chimiquement distincts.
- [0255] Un exemple de système de carburant 1000 comprenant un trajet d'écoulement de carburant du réservoir de carburant 50 à la chambre de combustion 16 du moteur à turbine à gaz 10 de l'aéronef 1 est représenté schématiquement sur la [Fig.5].
- [0256] Le système de carburant 1000 comprend à la fois le système d'alimentation en carburant (qui alimente le moteur en carburant) et le système de gestion de carburant 1500 (qui fonctionne au sein du moteur) de l'aéronef.
- [0257] Le carburant est pompé depuis le réservoir de carburant 50 vers le moteur à turbine à gaz 10 par une pompe d'alimentation en carburant basse pression 1002. Le carburant s'écoule alors à travers un échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 avant d'être pompé par une pompe à carburant moteur 1003. La pompe à carburant moteur 1003 peut être décrite comme une pompe à carburant principale. Au moins une partie du carburant s'écoule ensuite à travers un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 et au moins une partie du carburant s'écoule vers la chambre de combustion 16 sans s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006. Dans l'exemple représenté sur la [Fig.5], à partir de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 la partie de carburant qui s'est écoulée à travers celui-ci s'écoule alors vers la chambre de combustion 16 du moteur à turbine à

gaz 10. Dans d'autres exemples, la partie de carburant qui s'est écoulée à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 peut ne pas être envoyée à la chambre de combustion, mais peut plutôt être renvoyée vers un réservoir de carburant 50, éventuellement après utilisation dans un ou plusieurs systèmes auxiliaires.

[0258] L'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 peut être qualifié d'échangeur de chaleur carburant-huile principal. L'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 peut être qualifié d'échangeur de chaleur carburant-huile asservi. Le système de gestion de carburant 1500 est agencé de sorte que le carburant atteint l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 avant l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006.

[0259] L'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 et l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 sont conçus de telle sorte qu'un écoulement d'huile est également transporté à travers celui-ci. L'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 et l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 sont conçus de telle sorte que de la chaleur peut être transférée entre l'huile et le carburant s'écoulant à travers ceux-ci. Aux conditions de croisière, la température moyenne de l'écoulement d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 et l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 est supérieure à la température moyenne du carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 et l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 respectivement. De cette manière, l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 et l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 sont conçus pour transférer de l'énergie thermique d'un écoulement d'huile vers un écoulement de carburant s'écoulant à travers ceux-ci à des conditions de croisière.

[0260] Dans l'agencement du système de gestion de carburant 1500, l'huile s'écoule à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 avant de s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004, et ne passe à travers aucun composant qui l'amènerait à gagner de la chaleur entre l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 et l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004. L'huile est donc plus chaude à l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 qu'à l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004. En revanche, le carburant s'écoule à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 avant de s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006. Dans cet agencement, la température de carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 est supérieure à la température de carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004. La pompe à carburant moteur 1003 est placée en amont de

l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006, c'est-à-dire qu'elle n'est pas exposée à ces températures de carburant davantage élevées.

- [0261] L'huile peut s'écouler à travers un échangeur de chaleur air-huile (non représenté) ainsi qu'à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire 1004, 1006 si une perte de chaleur supplémentaire de l'huile est souhaitée, au-delà de celle à absorber par le carburant. Par exemple, l'huile peut passer à travers l'échangeur de chaleur air-huile après passage à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 et avant d'entrer dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004. L'échangeur de chaleur air-huile peut être le seul composant (outre les tuyaux) à travers lequel l'huile passe entre l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 et l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004. Aucun échangeur de chaleur air-huile ne peut être fourni dans d'autres exemples. L'huile peut être renvoyée aux paliers et/ou autres composants de moteur qu'elle sert à lubrifier et/ou refroidir après sortie de l'échangeur de chaleur primaire 1004. L'huile peut être renvoyée dans un réservoir d'huile 2002, comme décrit ci-après, après sortie de l'échangeur de chaleur primaire 1004, ou éventuellement après sortie des paliers et/ou autres composants du moteur, qu'elle est utilisée pour lubrifier et/ou refroidir, avant d'être ensuite renvoyée à l'échangeur de chaleur secondaire 1006.
- [0262] La [Fig.6a] montre un exemple de système de carburant alternatif 6000, comprenant un système d'alimentation en carburant et un système de gestion de carburant 6500 comprenant un trajet d'écoulement de carburant depuis le réservoir de carburant 50 vers la chambre de combustion 16 du moteur à turbine à gaz 10 de l'aéronef 1. Comme pour le système de carburant 1000, le carburant est pompé depuis le réservoir de carburant 50 par la pompe d'alimentation en carburant basse pression 1002. Le carburant s'écoule alors à travers un échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 avant d'être pompé par une pompe à carburant moteur 1003. La pompe à carburant moteur 1003 peut être décrite comme une pompe à carburant principale.
- [0263] Le système de carburant 6000 diffère du système de carburant 1000 en ce que le système de carburant 6000 comprend une soupape de remise en circulation 6010 située en aval de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 et en amont d'une sortie 1006b de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006. Dans l'exemple illustré, la soupape de remise en circulation 6010 est située en aval de la pompe 1003.
- [0264] Dans l'exemple illustré, la soupape de remise en circulation 6010 est située en aval de l'entrée 1006a de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006, mais en amont de la sortie 1006b. Il est envisagé que la soupape de remise en circulation 6010 puisse être située en amont de l'entrée 1006a de l'échangeur de chaleur se-

conculaire 1006 dans d'autres exemples. La soupape de remise en circulation 6010 est agencée pour permettre à une quantité contrôlée de carburant qui a déjà traversé l'échangeur de chaleur primaire 1004 mais qui n'a pas traversé l'échangeur de chaleur secondaire 1006 d'être renvoyée vers l'entrée 1004a de l'échangeur de chaleur primaire 1004. Ceci fournit un mécanisme de contrôle de l'écoulement de carburant du système de carburant 6000. Le contrôle de l'écoulement de carburant dans le système de carburant 6000 peut fonctionner pour fournir des caractéristiques souhaitées du carburant (telles que la température ou la quantité de chaleur transférée de l'huile à celui-ci) à l'entrée de la chambre de combustion 16, et également pour fournir des températures d'huile souhaitées.

[0265] Un tuyau 6011, qui peut être qualifié de tuyau de remise en circulation car il transporte du carburant d'un point le long du trajet principal de l'écoulement à travers le moteur vers un point antérieur le long du trajet d'écoulement de sorte qu'il doit s'écouler le long d'une section du trajet d'écoulement plusieurs fois, peut donc être prévu, menant de la soupape de remise en circulation à un point sur le trajet d'écoulement en amont de l'entrée de l'échangeur de chaleur primaire 1004. Dans l'exemple illustré, la conduite 6011 de contournement renvoie le carburant remis en circulation à un point du trajet d'écoulement en amont à la fois de la pompe principale 1003 et de l'échangeur de chaleur primaire 1004, de telle sorte que le carburant remis en circulation passe à travers ces composants au moins deux fois.

[0266] La [Fig.6b] illustre un autre exemple alternatif du système de carburant 7000. Le système de carburant 7000 est similaire au système de carburant 6000 et diffère en ce qu'au moins une partie du carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 est fournie à des mécanismes d'aéronef supplémentaires 7010, et ensuite renvoyée vers un réservoir 50 plutôt que de s'écouler vers la chambre de combustion 16. Tout carburant non nécessaire pour ces systèmes auxiliaires 7010 peut être renvoyé directement au réservoir 50. Dans d'autres mises en œuvre, le carburant peut être renvoyé à un point du trajet de circulation de carburant juste en amont de la pompe 1002, au lieu du réservoir lui-même. Ces mécanismes 7010 peuvent comporter un ou plusieurs parmi un système antigivre de nacelle, des actionneurs, et/ou un carter de turbine et/ou des soupapes asservies de refroidissement d'aube (comme décrit ci-dessous). Au moins une partie du carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 est renvoyée au système d'alimentation en carburant (par exemple, au réservoir de carburant 50 ou à la pompe d'alimentation en carburant 1002) pour la redistribution. Dans d'autres mises en œuvre, le carburant utilisé dans un ou plusieurs tels mécanismes supplémentaires d'aéronef 7010 peut alors être passé à la chambre de combustion 16 plutôt que de revenir à un réservoir 50.

[0267] La [Fig.6c] illustre un autre exemple alternatif de système de carburant 7000a. Le

système de carburant 7000a est similaire au système de carburant 7000 et diffère en ce que la partie du carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 renvoyée pour rejoindre l'écoulement de carburant principal à son approche de la chambre de combustion 16 après éventuellement avoir été fournie à un ou plusieurs mécanismes d'aéronef supplémentaires 7010 (qui peuvent être tels que décrits ci-dessus). Tout carburant non nécessaire pour ces systèmes auxiliaires 7010 peut être renvoyé directement au trajet principal d'écoulement de carburant/chambre de combustion 16. Au moins une partie du carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 peut être renvoyée au trajet principal d'écoulement de carburant sans passer par les systèmes auxiliaires 7010 – la proportion dirigée vers les systèmes auxiliaires 7010 peut être ajustée en fonction du besoin. Dans d'autres mises en œuvre, le carburant utilisé dans un ou plusieurs tels mécanismes supplémentaires d'aéronef 7010 peut alors être renvoyé vers un réservoir 50 plutôt qu'envoyé à la chambre de combustion 16.

- [0268] L'aéronef 1 comprend un système d'huile à remise en circulation agencé pour alimenter de l'huile pour lubrifier et éliminer la chaleur d'une pluralité de composants. Un exemple d'un système d'huile à boucle fermée 2000 est représenté schématiquement sur la [Fig.7]. Le système d'huile à remise en circulation selon la revendication 7, comprend un système d'huile à boucle fermée. Dans l'exemple qui est décrit, un système d'huile à boucle fermée unique fournit la totalité du système d'huile à remise en circulation - dans des mises en œuvre alternatives, plusieurs boucles fermées séparées fluidiquement peuvent être utilisées, facultativement avec des huiles chimiquement distinctes et/ou des débits d'huile différents.
- [0269] Le système d'huile à boucle fermée 2000 comprend un réservoir d'huile 2002 approprié pour contenir un volume d'huile. Dans certaines mises en œuvre, les gaz sont retirés de l'huile au sein du réservoir d'huile 2002 par un dé-aérateur.
- [0270] Une pompe d'alimentation 2004 est conçue pour pomper de l'huile du réservoir d'huile 2002 à l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006. La température moyenne de l'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006, aux conditions de croisière, est supérieure à la température moyenne de carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006. Dans l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006, l'énergie thermique est transférée de l'écoulement d'huile vers l'écoulement du carburant. De cette manière, la température moyenne de l'écoulement d'huile sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 est inférieure à la température moyenne de l'écoulement d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006. De cette manière également, la température moyenne du carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 est supérieure à la

température moyenne de carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006.

- [0271] Depuis l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006, l'huile circule alors vers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 (éventuellement par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur air-huile, dans certaines mises en œuvre). Dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004, l'énergie thermique est transférée de l'écoulement d'huile vers l'écoulement du carburant. De cette manière, la température moyenne de l'écoulement d'huile sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 est inférieure à la température moyenne de l'écoulement d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004. De cette manière également, la température moyenne du carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 est supérieure à la température moyenne de carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004. À partir de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004, l'écoulement d'huile est ensuite acheminé à travers les composants de moteur 2006, qu'elle est utilisée pour refroidir et/ou lubrifier, tels que des paliers d'arbre. L'huile sert de lubrifiant et de liquide de refroidissement au sein des composants de moteur 2006 et permet de gagner de la chaleur des composants de moteur 2006 au cours du procédé.
- [0272] Depuis les composants de moteur 2006, l'huile est collectée dans le carter 2008. Une pompe de récupération 2010 est conçue pour pomper de l'huile du carter 2008 en retour dans le réservoir d'huile 2002.
- [0273] La [Fig.8] montre schématiquement un exemple de système d'échange de chaleur comprenant le système d'huile à boucle fermée 2000 de la [Fig.7] et le système de carburant 1000 de la [Fig.5]. Les deux systèmes 1000, 2000 sont présentés ensemble pour illustrer les interactions entre les écoulements de carburant et d'huile à l'intérieur du moteur à turbine à gaz 10. Des lignes noires épaisses indiquent l'écoulement de carburant, et les lignes noires fines indiquent l'écoulement d'huile.
- [0274] La [Fig.9] montre schématiquement un exemple de système d'échange de chaleur alternatif 9000, comprenant le système d'huile à boucle fermée 2000 de la [Fig.7] et le système de carburant 7000a de la [Fig.6c] comportant la boucle de remise en circulation 6010, 6011, mais avec la position de la soupape de remise en circulation 6010 qui diffère légèrement de celle montrée sur la [Fig.6c]. En particulier, la soupape de remise en circulation 6010 est située en amont de la fourche dans le trajet d'écoulement de carburant vers l'échangeur de chaleur secondaire 1006, plutôt que d'être entre l'entrée vers 1006a et la sortie de 1006b de cet échangeur de chaleur 1006. Ainsi dans la mise en œuvre illustrée sur la [Fig.9], la totalité du carburant sortant de la pompe 1003 s'écoule à travers la soupape de remise en circulation 6010, contrairement à la mise en œuvre montrée sur la [Fig.6c]. La méthodologie de contrôle pour la

soupape 6010 peut être ajustée de la manière appropriée. Là encore, des lignes noires épaisses indiquent l'écoulement de carburant, et des lignes noires fines indiquent l'écoulement d'huile. La [Fig.9] comporte en outre les systèmes auxiliaires 7010 que le carburant peut traverser après la sortie de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 démontrant que ceux-ci peuvent utiliser le carburant avant qu'il soit ensuite passé dans la chambre de combustion 16 dans certaines mises en œuvre.

[0275] Les systèmes auxiliaires 7010 comportent un ou plusieurs soupapes asservies de refroidissement d'aube de turbine 1902 dans certaines mises en œuvre – ces soupapes 1902 peuvent être hydrauliques à carburant ; utilisant du carburant pour les actionner et sont abordées ci-dessous plus en détail par rapport à la [Fig.19]. Dans d'autres mises en œuvre, ces soupapes peuvent être actionnées différemment (par exemple électroniquement, ou avec un fluide de travail différent) au lieu d'être hydrauliques à carburant. Ces soupapes 1902 peuvent être utilisées pour moduler le flux d'air pour refroidir le carter de turbine et/ou les aubes, et peuvent donc être décrites comme soupapes de modulation 1902.

[0276] Les soupapes de modulation 1902 peuvent être utilisées pour contrôler un flux d'air de refroidissement vers une turbine 17, 19 du moteur à turbine à gaz 10, à l'aide de l'air provenant d'un compresseur 14, 15 du moteur à turbine à gaz.

[0277] La [Fig.19] illustre un appareil de refroidissement de turbine 1900 comprenant au moins une soupape de modulation 1902. L'appareil de refroidissement de turbine 1900 comprend un inducteur 1901 agencé pour accélérer et diriger l'air de refroidissement provenant du compresseur 14, 15 sur les aubes de turbine 17', 19' de la turbine 17, 19.

[0278] L'inducteur 1901 peut être un inducteur statique annulaire, et peut accélérer le flux d'air dans une direction sensiblement circonférentielle.

[0279] L'inducteur 1901 comprend une pluralité de voies de passage de flux d'air 1903 agencées pour diriger le flux d'air vers des endroits particuliers au sein de la turbine 17, 19 à refroidir. La ou les soupapes de modulation 1902 peuvent être utilisées pour contrôler un flux d'air de refroidissement dans une ou plusieurs des voies de passage 1903. Par exemple, plusieurs soupapes de modulation 1902 peuvent être fournies et chaque soupape de modulation 1902 peut contrôler l'accès de l'air à, et l'écoulement de celui-ci à travers, un sous-ensemble des voies de passage. Certaines voies de passage 1903' peuvent ne pas être contrôlées par soupape, de sorte qu'elles ne peuvent pas être fermées et de l'air s'écoule toujours à travers elles en fonctionnement.

[0280] Chaque voie de passage d'écoulement 1903 comprend une entrée agencée pour recevoir de l'air provenant d'un compresseur 14, 15 et une sortie agencée pour diriger cet air sur la turbine 17, 19, et plus spécifiquement jusqu'à une position souhaitée sur la turbine 17, 19 (par exemple une certaine partie des aubes 17', 19', ou à travers chaque aube entière). Un écoulement d'entrée unique, supérieur à partir du com-

presseur 14, 15 peut donc être converti en plusieurs écoulements plus petits sur la turbine 17, 19. Le rétrécissement de la zone d'écoulement – d'un espace moins restreint dans les voies de passage 1903 – peut accélérer l'écoulement.

- [0281] L'inducteur 1901 de la mise en œuvre étant décrit présente une rangée annulaire de première et seconde voies de passage d'écoulement identiques, éventuellement en alternance autour d'une circonférence de l'inducteur, formant ainsi deux sous-ensembles de voies de passage. L'appareil de refroidissement 1900 comprend un guide d'écoulement pour diriger une première partie du flux d'air provenant du compresseur 14, 15 vers les entrées du premier sous-ensemble de voies de passage 1903, et une seconde partie du flux d'air provenant du compresseur 14, 15 vers les entrées du second sous-ensemble de voies de passage 1903'.
- [0282] Les soupapes de modulation 1902 modulent sélectivement la première partie du flux d'air.
- [0283] Un contrôleur 1904 peut être utilisé pour contrôler la ou chaque soupape 1902 de telle sorte que l'écoulement à travers le premier sous-ensemble de voies de passage 1903 peut être contrôlé – par exemple, autorisé à circuler ou bloqué (contrôle binaire : marche ou arrêt), ou contrôlé sur une plage de différentes options de débit. Le contrôle peut être automatique, par exemple en fonction d'une rétroaction d'un ou plusieurs capteurs de température au contrôleur 1904. En particulier, la température de l'air à l'entrée de la turbine 17, 19 à refroidir peut être détectée (directement, ou indirectement par calcul à partir d'autres données de capteur), et le contrôle des soupapes de modulation 1902 peut être effectué en fonction de cette température – par exemple en augmentant le débit d'air lorsque la température d'entrée de la turbine monte au-dessus d'un niveau défini.
- [0284] On aura à l'esprit que le flux d'air de cœur A pénètre dans la turbine 19 après avoir quitté la chambre de combustion 16 (et également après passage à travers une autre turbine 17 dans certaines mises en œuvre). En sortie de la chambre de combustion 16, ce flux de cœur A comprend des produits de combustion et potentiellement des traces de carburant non brûlé ainsi que de l'air mais est dénommé un flux d'air pour des raisons de facilité, et pour éviter toute confusion potentielle avec des écoulements de carburant et d'huile. Une température moyenne de ce flux d'air à l'entrée de la turbine 19 – i.e. la température d'entrée de turbine pour cette turbine – fournit donc une indication de la manière dont les aubes de turbine 19' pourraient devenir chaudes sans refroidissement, et ainsi peut être utilisée pour guider la quantité de refroidissement fournie aux aubes 19' de cette turbine 19. De même, une température d'entrée de la turbine plus haute pression 17 peut être utilisée pour guider une quantité de refroidissement à fournir aux aubes 17 de cette turbine 17. Une température d'entrée de turbine peut être utilisée pour guider la quantité de refroidissement fournie aux

aubes 19', 17' de multiples turbines dans certaines mises en œuvre. La température d'entrée de turbine de la turbine la plus haute pression peut être utilisée dans de telles mises en œuvre.

[0285] Le même appareil de refroidissement 1900 peut être utilisé pour refroidir plusieurs turbines 17, 19 dans certaines mises en œuvre. Dans d'autres mises en œuvre, chaque turbine 17, 19 peut être pourvue de son propre appareil de refroidissement 1900, ou seulement certaines turbines 17, 19 peuvent être refroidies. De même, si plusieurs compresseurs 14, 15 sont présents, l'air provenant de l'un ou l'autre ou les deux peut être utilisé pour le refroidissement de la turbine.

[0286] Dans l'exemple décrit ci-dessus, un sous-ensemble groupé de voies de passage peut être contrôlé, mais des voies de passage 1903 ne peuvent pas être contrôlées individuellement. Dans d'autres mises en œuvre, le contrôle de voie de passage individuelle peut être fourni, et/ou plus ou moins de sous-ensembles de voies de passage peuvent être définis.

[0287] Dans les moteurs avec plusieurs compresseurs et turbines, plusieurs tels appareils de refroidissement 1900 peuvent être fournis, facultativement un pour chaque turbine.

[0288] Les inventeurs étaient conscients que l'utilisation de carburants différents des carburants à base de kérosène traditionnels, tels que des carburants d'aviation durables, peut conduire à des propriétés de carburant différentes, et que le fonctionnement du moteur peut être optimisé pour ces différentes propriétés de carburant. La teneur en soufre du carburant doit donc être considérée lors de la prise en compte du transfert de chaleur de l'huile au carburant, car la teneur en soufre est liée à la stabilité thermique du carburant et un carburant moins stable thermiquement peut absorber moins de chaleur avant que des problèmes des performances ne se produisent alors qu'un carburant plus stable thermiquement peut absorber plus de chaleur et ainsi être utilisé pour un refroidissement de moteur plus efficace.

[0289] La [Fig.10] illustre un exemple de procédé 10000 de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz 10, qui peut être un moteur à turbine à gaz à entraînement direct 10. Le procédé 10000 comprend les étapes de :

[0290] Étape 10100 : Obtention d'un carburant, dans lequel le carburant a une teneur en soufre inférieure à 30 ppm, pour la fourniture à la chambre de combustion 16 du moteur à turbine à gaz 10, et facultativement également à un ou plusieurs systèmes moteurs auxiliaires, en croisière.

[0291] Le carburant peut avoir une masse volumique dans la plage allant de 760 à 840 kg/m³ à 15 °C.

[0292] Le carburant fourni au moteur à turbine à gaz 10 peut donc être fourni à la chambre de combustion 16, ou à un ou plusieurs systèmes moteurs auxiliaires 7010, ou dans certains cas fournis au ou aux systèmes moteurs auxiliaires 7010, puis passés à la

chambre de combustion 16 par la suite.

[0293] Le carburant choisi peut avoir une teneur en aromatique inférieure à 10 % en volume.

[0294] L'obtention du carburant peut comprendre la sélection d'un seul carburant.

L'obtention du carburant peut alternativement comprendre la sélection d'un mélange de carburant. Le carburant choisi peut être le seul carburant à bord de l'aéronef 1. En tant que telle, la sélection du carburant peut être réalisée pendant le ravitaillement de l'aéronef 1. La sélection 10100 peut donc être effectuée avant le décollage. Alternativement, l'aéronef 1 peut comporter plusieurs sources de carburant et le carburant choisi peut être un de plusieurs carburants à bord de l'aéronef 1, ou un mélange de plusieurs carburants à bord de l'aéronef. Ainsi, la sélection 10100 du carburant peut être effectuée pendant le vol. Le processus de sélection peut être automatisé. Par exemple, un contrôleur embarqué peut être conçu pour sélectionner et/ou mélanger du ou des carburant stockés dans un ou plusieurs réservoirs de carburant 50, 53 pour fournir un carburant aux propriétés souhaitées. Le contrôleur peut stocker les propriétés de carburant et les emplacements de réservoir pour les carburants à bord et calculer le rapport de mélange de carburant (qui peut ne pas comporter de mélange de carburants) pour fournir un carburant aux propriétés souhaitées.

[0295] Le moteur à turbine à gaz 10 comprend un appareil de refroidissement de turbine 1900 comprenant une ou plusieurs soupapes de modulation 1902 agencées pour contrôler le flux d'air de refroidissement vers la turbine 17, 19.

[0296] Étape 10200 : Utilisation de la soupape de modulation pour ajuster le flux d'air de refroidissement en fonction de la température d'entrée de turbine.

[0297] La ou les soupapes de modulation 1902 peuvent être des soupapes hydrauliques à carburant – i.e. le carburant fourni au moteur à turbine à gaz 10 peut être utilisé pour actionner la ou les soupapes de modulation 1902, et une partie (ou la totalité) de celui-ci est passée vers la chambre de combustion 16.

[0298] La densité de carburant peut être considérée et choisie comme approprié pour une utilisation dans les systèmes hydrauliques à carburant, et/ou les systèmes hydrauliques à carburant peuvent être ajustés pour travailler avec un carburant ayant la densité choisie en fonction de l'efficacité de combustion.

[0299] Les inventeurs étaient conscients que l'utilisation de carburants différents des carburants à base de kérosène traditionnels, tels que des carburants d'aviation durable par exemple, peut permettre de transférer plus de chaleur de l'huile vers le carburant par unité de volume du carburant à travers le système d'échange de chaleur. Des températures de carburant plus élevées à l'entrée de la chambre de combustion peuvent permettre une efficacité de combustion de carburant améliorée, et/ou un refroidissement d'huile amélioré, comme décrit ci-dessus.

[0300] La [Fig.11] illustre un exemple de procédé 11000 de fonctionnement d'un moteur à

turbine à gaz 10 comprenant des échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire 1004, 1006. Le moteur à turbine à gaz peut être un moteur à turbine à gaz à entraînement direct 10.

[0301] Le procédé 11000 comprend les étapes consistant à :

[0302] Étape 11100 : Contrôle du système de gestion de carburant de manière à transférer entre 200 et 600 kJ/m³ de chaleur au carburant provenant de l'huile dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire dans des conditions de croisière.

[0303] Le système de gestion de carburant 1500 fournit alors une partie ou la totalité du carburant chauffé à la chambre de combustion 16.

[0304] Un total de 200 à 600 kJ/m³ de chaleur peut être transféré au carburant depuis l'huile lorsque le carburant se déplace d'un réservoir de carburant vers la chambre de combustion, aux conditions de croisière.

[0305] Comme abordé par rapport à la [Fig.5], le système de gestion de carburant 1500 comprend l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 et l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 agencé pour transférer de la chaleur vers ou depuis le carburant. Une pompe à carburant moteur 1003 est positionnée en aval de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 et en amont de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006. Le système de gestion de carburant 1000 est agencé de sorte que le carburant atteint l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1004 avant l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006.

[0306] Le chauffage du carburant à des températures plus élevées que précédemment utilisées peut améliorer le refroidissement de l'huile avant qu'elle soit renvoyée au reste du moteur à turbine, et/ou peut améliorer l'efficacité de la combustion du carburant. Le positionnement de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1006 après la pompe à carburant moteur peut faciliter l'obtention de températures de carburant plus élevées sans compromettre la longévité de la pompe à carburant, lorsque le carburant à température la plus élevée n'a pas besoin de passer à travers la pompe 1003. La température maximale réduite à laquelle la pompe 1003 est exposée peut réduire le fluage, réduire le dépôt des produits de décomposition thermique du carburant à l'intérieur de la pompe (ce qui peut entraîner des blocages, ce qui entraîne une détérioration de l'écoulement de distribution sur la durée de vie de la pompe), réduire les dommages thermiques des composants tels que des joints d'étanchéité, et/ou réduire les dommages sur le cyclage résultant de différentes dilatations thermiques de différents composants de pompe, ce qui permet d'étendre la durée de la pompe/améliorer les performances de la pompe pour un âge de pompe donné. En outre, l'épaisseur de film de palier dans la pompe 1003 peut être améliorée si des températures de carburant dans la pompe sont maintenues plus basses en plaçant la pompe avant un autre échangeur de chaleur. Le carburant est le lubrifiant pour les

paliers de pompe, et la viscosité de carburant diminue généralement à mesure que la température augmente, de sorte que l'épaisseur de film diminue de manière préjudiciable. La réduction de la température de carburant peut donc entraîner une augmentation de la viscosité du carburant, ce qui améliore généralement la performance des surfaces de palier à l'intérieur de la pompe 1003, réduisant ainsi l'usure et réduisant ainsi la dégradation en distribution d'écoulement avec le temps. De plus, les températures de carburant inférieures réduisent généralement la formation de produits de décomposition de carburant qui ont également un effet préjudiciable sur la durée de vie et la fiabilité de la pompe 1003. La température de carburant inférieure peut donc également augmenter la fiabilité. La température inférieure peut également réduire l'endommagement des paliers lisses et des paliers de butée. D'autres facteurs pertinents comportent la variation de cavitation (le carburant plus froid est plus dense et présente une pression de vapeur plus faible) et le pouvoir lubrifiant ; un carburant plus froid est bénéfique de la perspective de sortie de pompe volumétrique, une pompe 1003 peut donc être maintenue sur l'aile plus longtemps/peut avoir une durée de vie utile plus longue si elle est utilisée avec du carburant plus froid.

- [0307] Le contrôle du système de gestion de carburant peut comprendre le contrôle de l'écoulement d'huile et/ou de l'écoulement de carburant à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire 1004, 1006, par exemple à l'aide d'une ou plusieurs conduites de contournement ou boucles de remise en circulation 6010, 6011 telles que décrites précédemment.
- [0308] Dans diverses mises en œuvre telles qu'abordées précédemment, le contrôle 11100 du système de gestion de carburant peut comprendre le contrôle de l'écoulement de carburant à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire 1004, 1006.
- [0309] L'écoulement du carburant peut être contrôlé à l'aide d'une soupape de remise en circulation 6010 lorsqu'elle est présente. Une quantité de carburant activement contrôlée sortant de l'échangeur de chaleur primaire 1004 peut être remise en circulation vers l'échangeur de chaleur primaire 1004 plutôt que de s'écouler directement vers la chambre de combustion 16. Cette remise en circulation peut également amener du carburant qui a déjà traversé la pompe à carburant moteur 1003 en retour vers une position en amont de la pompe à carburant moteur 1003.
- [0310] En variante ou en complément, l'écoulement de carburant peut être contrôlé en utilisant une ou plusieurs conduites de contournement agencées pour permettre à une proportion du carburant d'éviter de passer à travers l'un et/ou l'autre des échangeurs de chaleur carburant-huile.
- [0311] La vitesse de la pompe 1003 peut également être ajustée, soit en accélérant le débit de carburant (diminuant ainsi le transfert de chaleur par unité de volume passant par les

échangeurs de chaleur) soit en réduisant le débit de carburant (augmentant ainsi le transfert de chaleur par unité de volume passant par les échangeurs de chaleur).

- [0312] Le contrôle 11100 du système de gestion de carburant peut comprendre le contrôle d'écoulement d'huile à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire 1004, 1006, et/ou à travers un ou plusieurs autres échangeurs de chaleur – par exemple un échangeur de chaleur huile-huile 2030 entre des systèmes d'huile à boucle fermée séparés, dans des architectures de moteur avec plusieurs systèmes d'huile à boucle fermée, ou un échangeur de chaleur air-huile 2020.
- [0313] En complément ou alternativement, comme pour l'écoulement de carburant, l'écoulement d'huile peut être contrôlé à l'aide d'une ou plusieurs conduites de contournement, lorsqu'elles sont présentes, permettant à l'huile de contourner un ou plusieurs échangeurs de chaleur 1004, 1006 au lieu de s'écouler à travers ceux-ci. L'huile peut également être remise en circulation dans certaines mises en œuvre, et/ou l'écoulement d'huile peut être ajusté en contrôlant une ou plusieurs pompes à huile.
- [0314] Le système d'échange de chaleur peut comprendre un contrôleur agencé pour mettre en œuvre ce contrôle. Le contrôleur peut recevoir des entrées d'un ou plusieurs capteurs de température, et peut contrôler une ou plusieurs soupapes, et/ou la pompe 1003, en fonction des données reçues.
- [0315] Le contrôle actif des débits de carburant et/ou d'huile peut être effectué en fonction d'un ou plusieurs paramètres tels que :
- [0316] • Vitesse d'arbre de cœur et demande de poussée du moteur ;
 - [0317] • Température actuelle du carburant et/ou température de l'huile de carburant au niveau d'un ou plusieurs emplacements ;
 - [0318] • Valeur calorifique de carburant ;
 - [0319] • Viscosité de carburant ;
 - [0320] • Vitesse de rotation de soufflante ;
 - [0321] • Débit de carburant vers la chambre de combustion (couramment dénommé WFE - poids d'écoulement de carburant de moteur principal) ; et
 - [0322] • Vitesse de pompe à carburant principale/moteur, ou options de vitesse.
- [0323] Dans des exemples alternatifs, le contrôle de la quantité de carburant sortant de l'échangeur de chaleur primaire 1004 à remettre en circulation peut ne pas être une étape de procédé active – à la place, une proportion définie, fixe du carburant peut être remise en circulation. Alternativement, aucun carburant ne peut être remis en circulation, et aucun itinéraire de remise en circulation ne peut être disponible dans certaines mises en œuvre.
- [0324] Étape 11200 : Utilisation de la soupape de modulation pour ajuster le flux d'air de refroidissement en fonction de la température d'entrée de turbine.
- [0325] Comme pour le procédé 10000 décrit ci-dessus, la ou les soupapes de mo-

dulation 1902 peuvent être des soupapes hydrauliques à carburant - i.e. le carburant fourni au moteur à turbine à gaz 10 peut être utilisé pour actionner la ou les soupapes de modulation 1902, et une partie (ou la totalité) de celui-ci est passée vers la chambre de combustion 16.

- [0326] La densité de carburant peut être considérée et choisie comme approprié pour une utilisation dans les systèmes hydrauliques à carburant, et/ou les systèmes hydrauliques à carburant peuvent être ajustés pour travailler avec un carburant ayant la densité choisie en fonction de l'efficacité de combustion.
- [0327] Le procédé de la [Fig.11] peut être utilisé conjointement avec le procédé de la [Fig.10].
- [0328] Les procédés 10000, 11000 décrits ci-dessus ont été décrits principalement par rapport à un moteur à turbine à gaz à entraînement direct 10, mais on aura à l'esprit qu'ils pourraient être mis en œuvre pour un moteur à turbine à gaz à engrenages 10, avec des réglages appropriés au système d'huile (par exemple, l'ajout d'une boucle fermée supplémentaire pour lubrifier et refroidir un réducteur 30).
- [0329] Dans d'autres architectures moteur, le moteur peut être conçu différemment, par exemple un moteur à engrenages au lieu d'un moteur à entraînement direct. Les Figures 12 à 17 et 20 et leur description ci-dessus illustrent des exemples d'agencements d'un moteur à engrenages, bien que l'on aura à l'esprit que de nombreuses caractéristiques et options pourraient être également appliquées à un moteur à entraînement direct, à l'exception des caractéristiques relatives au réducteur principal 30. L'utilisation des mêmes numéros de référence indique des caractéristiques équivalentes.
- [0330] Un exemple de système de carburant 1000 comprenant un trajet d'écoulement de carburant du réservoir de carburant 50 à la chambre de combustion 16 du moteur à turbine à gaz 10 de l'aéronef 1 est représenté schématiquement sur la [Fig.12]. Le système de carburant 1000 comprend à la fois le système d'alimentation en carburant agencé pour fournir du carburant à partir de la source de carburant 50, 53 (comme décrit ci-dessus) à chaque moteur 10, et un système de gestion de carburant à l'intérieur du moteur agencé pour fournir le carburant fourni à la chambre de combustion 16. Le système de gestion de carburant gère la température du carburant ainsi que l'écoulement de carburant, dirigeant le carburant par l'intermédiaire d'un ou plusieurs échangeurs de chaleur du système d'échange de chaleur du moteur.
- [0331] Le carburant est pompé depuis le réservoir de carburant 50 vers le moteur à turbine à gaz 10 par une pompe à carburant basse pression 1002. Le carburant s'écoule depuis le réservoir de carburant 50 à travers un échangeur de chaleur carburant-huile de générateur de puissance (IDG) 1005 intégré avant de s'écouler à travers un échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007. Les deux échangeurs de chaleur 1005, 1007

font partie du système d'échange de chaleur du moteur.

- [0332] Le premier échangeur de chaleur que le carburant atteint peut avoir une huile utilisée pour lubrifier et/ou refroidir un ou plusieurs composants d'un générateur d'entraînement intégré 2006 le traversant, étant donc qualifié d'échangeur de chaleur carburant-huile de générateur d'entraînement intégré 1005.
- [0333] Le second échangeur de chaleur que le carburant atteint peut avoir une huile utilisée pour lubrifier et/ou refroidir un réducteur principal 30 du moteur à turbine à gaz 10 le traversant, étant donc qualifié d'échangeur de chaleur carburant-huile principal.
- [0334] À partir de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007, le carburant est pompé par la pompe à carburant moteur 1003 vers la chambre de combustion 16 du moteur à turbine à gaz 10, où il est brûlé pour alimenter le moteur à turbine à gaz 10.
- [0335] Dans la mise en œuvre décrite, l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 et l'échangeur de chaleur carburant-huile IDG 1005 sont conçus de sorte qu'un flux de carburant est acheminé à travers ceux-ci. En général, au moins la majorité du carburant fourni au moteur 10 passe par les deux échangeurs de chaleur 1005, 1007, bien que chaque échangeur de chaleur 1005, 1007 puisse être muni d'un contournement pour permettre à une partie du carburant d'éviter de passer à travers l'échangeur de chaleur respectif.
- [0336] En général, au moins la majorité du carburant qui passe à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 passe à travers également l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007, le long d'un seul trajet d'écoulement. Les deux échangeurs de chaleur 1005, 1007 peuvent donc être décrits comme étant en série l'un avec l'autre, par rapport à l'écoulement de carburant. L'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 et l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 sont conçus de telle sorte qu'un écoulement d'huile est également acheminé à travers chacun – l'huile qui s'écoule à travers l'un est différente de l'huile s'écoulant à travers l'autre dans la mise en œuvre décrite, bien que l'on aura à l'esprit que la même huile peut circuler à travers un échangeur de chaleur carburant-huile puis à travers un autre échangeur de chaleur carburant-huile dans d'autres mises en œuvre. Les deux échangeurs de chaleur 1005, 1007 sont donc dans des systèmes à boucle fermée séparés 2000, 2000', par rapport à l'écoulement d'huile, dans la mise en œuvre qui est décrite.
- [0337] L'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 et l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 sont chacun conçus de telle sorte que de la chaleur peut être transférée entre l'huile s'écoulant à travers ceux-ci et le carburant qui les traverse. Aux conditions de croisière, la température moyenne de l'écoulement d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 et d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 est supérieure à la température

moyenne du carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 et l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 respectivement. De cette manière, l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 et l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 sont conçus pour transférer de l'énergie thermique d'un écoulement d'huile vers un écoulement de carburant s'écoulant à travers ceux-ci à des conditions de croisière.

- [0338] L'aéronef 1 comprend un système de lubrification et/ou de refroidissement à remise en circulation agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier et/ou évacuer la chaleur d'une pluralité de composants. On aura à l'esprit que l'importance relative de la lubrification et du refroidissement peut varier pour différents composants d'aéronef et pour des phases de vol différentes, et que le système de lubrification et/ou de refroidissement à remise en circulation peut être simplement dénommé système de lubrification à remise en circulation pour des raisons de concision. Le système de lubrification à remise en circulation, dans certains exemples, comprend un système d'huile à boucle fermée ou deux systèmes d'huile à boucle fermée séparés tels que mentionnés ci-dessus.
- [0339] Un exemple d'un premier système d'huile à boucle fermée 2000 est représenté schématiquement sur la [Fig.13]. On aura à l'esprit qu'un tel premier système d'huile à boucle fermée 2000 peut comprendre en outre d'autres composants non représentés sur la [Fig.13] ou décrits ici, et que seuls les composants clés par rapport aux caractéristiques décrites sont décrits et représentés. L'homme du métier comprendra donc que les divers schémas de systèmes à boucle fermée représentés et décrits ici ne sont pas destinés à être limitatifs sur la présence d'autres composants dans ces boucles.
- [0340] Le système d'huile à boucle fermée 2000 comprend un réservoir d'huile 2002 approprié pour contenir un volume d'huile. Dans certaines mises en œuvre, les gaz sont retirés de l'huile au sein du réservoir d'huile 2002 par un dé-aérateur.
- [0341] Une pompe d'alimentation 2004 est conçue pour pomper de l'huile du réservoir d'huile 2002 à l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005. La température moyenne de l'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005, aux conditions de croisière, est supérieure à la température moyenne de carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005. Dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005, l'énergie thermique est transférée de l'écoulement d'huile vers l'écoulement du carburant. De cette manière, la température moyenne de l'écoulement d'huile sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 est inférieure à la température moyenne de l'écoulement d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005. De cette manière également, la température moyenne du carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 est supérieure à la température moyenne de carburant entrant dans l'échangeur de

chaleur carburant-huile d'IDG 1005.

- [0342] L'écoulement d'huile est ensuite acheminé vers/en retour vers un générateur d'entraînement intégré 2006, où il lubrifie des composants mobiles et est réchauffé pendant le procédé. Dans certaines mises en œuvre, l'huile peut être utilisée principalement comme liquide de refroidissement pour l'IDG 2006, et peut effectuer une lubrification minimale ou nulle.
- [0343] À partir du générateur d'entraînement intégré 2006, l'huile est collectée dans un carter 2008. Une pompe de récupération 2010 est conçue pour pomper de l'huile du carter 2008 en retour dans le réservoir d'huile 2002, prête à être réutilisée.
- [0344] Un second système d'huile à boucle fermée 2000' tel qu'illustré sur la [Fig.14] comprend un réservoir d'huile supplémentaire 2002' approprié pour contenir un volume d'huile. Dans certaines mises en œuvre, les gaz sont retirés de l'huile au sein du réservoir d'huile 2002' du second système à boucle fermée par un dé-aérateur.
- [0345] Une seconde pompe d'alimentation 2004' est conçue pour pomper de l'huile du réservoir d'huile 2002' du second système d'huile à boucle fermée à l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007. La température moyenne de l'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007, aux conditions de croisière, est supérieure à la température moyenne du carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007. Dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007, l'énergie thermique est transférée de l'écoulement d'huile vers l'écoulement du carburant. De cette manière, la température moyenne de l'huile sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 est inférieure à la température moyenne de l'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007, de sorte qu'elle est refroidie avant réutilisation comme lubrifiant, permettant à l'huile refroidie d'éliminer plus de chaleur du système à lubrifier. De cette manière également, la température moyenne du carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 est supérieure à la température moyenne de carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007.
- [0346] L'écoulement d'huile est ensuite acheminé vers un réducteur de puissance 30, qui peut également être décrit en tant que réducteur principal 30 du moteur à turbine à gaz 10, et généralement également à d'autres composants de moteur 33 comportant un réducteur auxiliaire (AGB) et une ou plusieurs chambres de palier.
- [0347] L'écoulement d'huile peut être divisé en deux ou plusieurs écoulements parallèles, par exemple un écoulement à travers le réducteur principal 30 et un écoulement à travers les autres composants de moteur 33, ou plusieurs écoulements parallèles à travers le réducteur principal 30 (par exemple par l'intermédiaire de composants différents du réducteur) et des écoulements séparés à travers l'AGB 33 et la ou chaque chambre de palier 33.

- [0348] Le réducteur de puissance 30 est agencé pour recevoir une entrée provenant de l'arbre de cœur et pour délivrer en sortie un entraînement à la soufflante par l'intermédiaire de l'arbre de soufflante 42, et donc peut comprendre ou avoir associé à celui-ci un ou plusieurs paliers pour supporter les arbres, qui peuvent être des paliers lisses. En outre, le réducteur 30 a des engrenages à l'intérieur de celui-ci, et peut avoir un ou plusieurs paliers lisses associés aux engrenages à l'intérieur de celui-ci, qui peuvent également avoir besoin de lubrification et/ou de refroidissement. L'huile peut être utilisée pour lubrifier les paliers lisses et/ou les engrenages, et augmente généralement en température de façon significative en utilisation dans des conditions de croisière, de manière à aider à refroidir les paliers et/ou engrenages lorsque l'écoulement d'huile transporte la chaleur à l'écart de ceux-ci.
- [0349] On aura à l'esprit que le réducteur principal 30 peut comprendre plusieurs composants différents à lubrifier – par exemple des engrenages (et par exemple plus spécifiquement des dents d'engrenage qui s'engrènent) et également un ou plusieurs paliers lisses au sein du réducteur 30. Une mise en œuvre plus complexe de ce second système d'huile à boucle fermée 2000' agencé pour permettre des écoulements d'huile différents à différents composants de réducteur est décrite ci-dessous par rapport à la [Fig.20].
- [0350] Les composants de moteur 33 refroidis, et éventuellement également lubrifiés, par l'écoulement d'huile comprennent généralement un AGB 33. L'AGB, également appelé entraînement accessoire, est un réducteur faisant partie du moteur à turbine à gaz 10, bien qu'il ne soit pas une partie du cœur du moteur 11 et n'entraîne pas la soufflante 23. L'AGB entraîne à la place les accessoires moteur, par exemple les pompes à carburant, et généralement de grandes charges manipulées. Une quantité relativement importante de chaleur peut donc être déversée dans l'huile depuis l'AGB. Une ou plusieurs chambres de palier peuvent être lubrifiées par la même huile, et peuvent de manière similaire évacuer de la chaleur dans l'huile. Par unité d'huile qui s'écoule à travers eux, l'AGB et les chambres de palier 33 peuvent ajouter plus de chaleur à l'huile que le réducteur principal 30 dans la plupart des mises en œuvre.
- [0351] Par exemple, dans diverses mises en œuvre dans des conditions de croisière, la température de sortie de l'huile provenant du réducteur de puissance 30 peut être un maximum de 160 °C, et éventuellement dans la plage allant de 100 °C à 160 °C. En revanche, l'huile sortant de l'AGB et/ou des différentes chambres de palier 33 peuvent avoir une température comprise entre 160 °C et 220 °C. Dans des mises en œuvre dans lesquelles l'écoulement ne se divise pas, l'huile peut s'écouler à travers le réducteur de puissance 30 avant d'entrer dans l'AGB 33. Une ou plusieurs soupapes peuvent être fournies pour contrôler la division de l'écoulement d'huile.
- [0352] En revenant à la [Fig.14], à partir du réducteur de puissance 30 et d'autres

composants de moteur 33, l'huile est collectée dans un second carter 2008'. Le carter 2008' peut être un carter unique, ou peut être composé d'une pluralité de carters séparés, par exemple comme décrit plus en détail ci-après par rapport à la [Fig.20]. Une seconde pompe de récupération 2010' est conçue pour pomper de l'huile du second carter 2008' en retour dans le réservoir d'huile 2002' du second système d'huile à boucle fermée, prête à être réutilisée. De manière similaire au ou aux carters, plusieurs pompes de récupération peuvent être utilisées dans certaines mises en œuvre.

[0353] La [Fig.15] montre schématiquement un exemple de section alternatif du second système d'huile à boucle fermée 2000' illustré sur la [Fig.14]. Dans cette section un écoulement d'huile est pompé par la pompe d'alimentation 2004' par une soupape 2016. La soupape 2016 est actionnable pour diviser l'écoulement d'huile entre l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 et un premier échangeur de chaleur air-huile 2020, le premier échangeur de chaleur air-huile 2020 étant agencé en parallèle de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007. L'écoulement d'huile ramifié peut se reconnecter ensuite, avant que l'huile ne soit envoyée au réducteur 30 et d'autres composants de moteur 33 à refroidir et/ou lubrifier. L'écoulement d'huile recombinaison est ensuite acheminé vers le réducteur de puissance 30 et d'autres composants de moteur 33 à refroidir et/ou à lubrifier. Dans divers exemples, un échangeur de chaleur huile-huile (non représenté) peut être agencé en série avec/sur la même branche de l'agencement parallèle que le premier échangeur de chaleur air-huile 2020. L'échangeur de chaleur huile-huile peut permettre un échange de chaleur entre les premier et second systèmes d'huile à boucle fermée 2000, 2000'.

[0354] Tout pourcentage approprié d'huile peut s'écouler à travers chacun du premier échangeur de chaleur air-huile 2020 et de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007. Dans certains exemples, la soupape 2016 est exploitable pour faire varier l'écoulement d'huile vers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 et le premier échangeur de chaleur air-huile 2020.

[0355] On aura à l'esprit également que dans différentes mises en œuvre, l'un quelconque des échangeurs de chaleur carburant-huile 1005, 1007 peut être agencé en série ou en parallèle avec un ou plusieurs échangeurs de chaleur air-huile.

[0356] La [Fig.16] montre schématiquement un exemple d'agencement et d'interaction du premier système d'huile à boucle fermée 2000, du second système d'huile à boucle fermée 2000' et du système de carburant 1000, avec un écoulement de carburant montré dans une ligne noire épaisse et un écoulement d'huile montré dans une ligne noire plus mince.

[0357] Le premier système d'huile à boucle fermée 2000 de cet exemple d'agencement est agencé comme illustré sur la [Fig.13]. Le second système d'huile à boucle

fermée 2000' de cet exemple d'agencement est agencé comme illustré sur la [Fig.14]. Le système de carburant 1000 de cet exemple d'agencement est agencé comme illustré sur la [Fig.12].

[0358] En cours d'utilisation, le carburant est pompé depuis le réservoir de carburant 50 par la pompe à carburant basse pression 1002. Le carburant s'écoule alors à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005. Le premier système d'huile à boucle fermée 2000 est conçu de telle sorte que l'écoulement de remise en circulation de l'huile s'écoule également à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005.

[0359] Aux conditions de croisière, la température moyenne de l'écoulement d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 est supérieure à la température moyenne de l'écoulement de carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005. L'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 est conçu de telle sorte que la chaleur est transférée de l'écoulement d'huile vers l'écoulement de carburant. De cette manière, la température moyenne de l'écoulement d'huile à la sortie de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 est inférieure à la température moyenne de l'écoulement d'huile à l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005. De la même manière, la température moyenne de l'écoulement de carburant à la sortie de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 est supérieure à la température moyenne de l'écoulement de carburant à l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005.

[0360] Le carburant s'écoule alors à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007. Le second système d'huile à boucle fermée 2000' est conçu de telle sorte que l'écoulement de remise en circulation de l'huile s'écoule également à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007.

[0361] Aux conditions de croisière, la température moyenne de l'écoulement d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 est supérieure à la température moyenne de l'écoulement de carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007. L'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 est conçu de telle sorte que la chaleur est transférée de l'écoulement d'huile vers l'écoulement de carburant. De cette manière, la température moyenne de l'écoulement d'huile à la sortie de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 est inférieure à la température moyenne de l'écoulement d'huile à l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007. De la même manière, la température moyenne de l'écoulement de carburant à la sortie de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 est supérieure à la température moyenne de l'écoulement de carburant à l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007.

[0362] Aux conditions de croisière, la température moyenne de l'écoulement d'huile

s'écoulant à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 peut être inférieure à la température moyenne de l'écoulement d'huile s'écoulant à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007. De cette manière, le carburant passe à travers l'échangeur de chaleur ayant une température moyenne d'écoulement d'huile inférieure d'abord, avant de passer à travers l'échangeur de chaleur ayant une température moyenne d'écoulement d'huile supérieure.

- [0363] Après l'écoulement à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007, le carburant s'écoule vers la chambre de combustion 16 du moteur à turbine à gaz 10, pompé par la pompe à carburant moteur 1003.
- [0364] Dans certains exemples, la chaleur transférée de l'huile au carburant avant qu'elle atteigne la chambre de combustion 16 peut élever la température de carburant à une moyenne d'au moins 135 °C, 140 °C, 150 °C, 160 °C, 170 °C, 180 °C, 190 °C ou 200 °C à l'entrée dans la chambre de combustion 16 dans des conditions de croisière.
- [0365] Dans certains exemples, la chaleur transférée de l'huile au carburant peut élever la température de carburant à une moyenne comprise entre 135 à 150 °C, 135 à 160 °C, 135 à 170 °C, 135 à 180 °C, 135 à 190 °C, ou 135 à 200 °C à l'entrée de la chambre de combustion 16 aux conditions de croisière.
- [0366] Les températures de carburant à l'entrée de la chambre de combustion aux conditions de croisière peuvent être définies en tant que moyenne sur au moins 5 minutes, et éventuellement pendant dix minutes, en conditions de croisière à régime stationnaire. L'utilisation de températures moyennes permet d'éviter que la mesure de température ne soit biaisée de manière indue par des pics transitoires quelconques de température, qui peuvent être définies comme des fluctuations de température du carburant en fonctionnement, souvent une élévation de la température. Chaque fluctuation peut ne pas durer plus de 5 minutes. Une température de carburant d'au moins 135 °C à l'entrée de la chambre de combustion aux conditions de croisière nécessite donc que la température de carburant reste à 135 °C ou plus pendant une période de temps, et un bref pic transitoire à une température supérieure à 135 °C n'est pas suffisant.
- [0367] Éventuellement, une ou plusieurs sources de chaleur supplémentaires peuvent être utilisées pour réchauffer le carburant pour atteindre la température souhaitée, en plus du transfert de chaleur huile-carburant.
- [0368] Dans certains exemples, la chaleur transférée au carburant provenant de l'huile avant que le carburant atteigne la chambre de combustion 16 peut être 200 à 600 kJ/m³ aux conditions de croisière.
- [0369] La [Fig.17] montre schématiquement un exemple de configuration du premier système d'huile à boucle fermée 2000 et du second système d'huile à boucle fermée 2000' où les deux écoulements de remise en circulation indépendants d'huile

sont amenés en relation d'échange thermique à travers un échangeur de chaleur huile-huile 2030.

- [0370] Dans l'exemple illustré sur la [Fig.17], le premier système d'huile à boucle fermée 2000 est conçu de telle sorte que l'écoulement de remise en circulation d'huile est pompé par la pompe d'alimentation 2004 à travers une soupape 2016. La soupape 2016 est exploitable pour diviser l'écoulement d'huile entre l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 et l'échangeur de chaleur huile-huile 2030, l'échangeur de chaleur huile-huile étant agencé en parallèle de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005.
- [0371] Dans divers exemples, toute partie appropriée de l'écoulement d'huile peut être déviée entre l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 et l'échangeur de chaleur huile-huile 2030. Dans de tels exemples, la soupape 2016 peut être exploitable pour dévier une partie fixe de l'écoulement d'huile vers chacun de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 et l'échangeur de chaleur huile-huile 2030. Alternativement, la soupape 2016 peut être exploitable pour dévier une partie variable de l'écoulement d'huile vers chacun de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 et l'échangeur de chaleur huile-huile 2030.
- [0372] Dans des mises en œuvre alternatives, l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 et l'échangeur de chaleur huile-huile 2030 peuvent être en série, et le premier système d'huile à boucle fermée 2000 peut ne pas se ramifier.
- [0373] Après l'écoulement dans les échangeurs de chaleur, l'écoulement d'huile est ensuite acheminé vers le générateur d'entraînement intégré 2006 puis vers le carter 2008. La pompe de récupération 2010 pompe alors l'huile du carter 2008 au réservoir d'huile 2002, pour réutilisation.
- [0374] L'écoulement d'huile au sein du premier système d'huile à boucle fermée 2000 est agencé pour être amené en une relation d'échange de chaleur avec l'écoulement séparé d'huile au sein du second système d'huile à boucle fermée 2000' à travers l'échangeur de chaleur huile-huile 2030. Dans l'échangeur de chaleur huile-huile 2030 l'écoulement d'huile au sein du premier système d'huile à boucle fermée 2000 ne se mélange pas avec l'écoulement d'huile au sein du second système d'huile à boucle fermée 2000'. L'échangeur de chaleur huile-huile 2030 est conçu de telle sorte qu'un transfert de chaleur peut avoir lieu entre les deux écoulements d'huile séparés. De cette manière, la chaleur d'un écoulement plus chaud d'huile peut être transférée à l'écoulement plus froid d'huile au sein de l'échangeur de chaleur huile-huile 2030.
- [0375] Le second système d'huile à boucle fermée 2000' est conçu de telle sorte que l'écoulement de remise en circulation d'huile est pompé par la seconde pompe d'alimentation 2004' par l'intermédiaire d'une seconde soupape 2016', où l'écoulement d'huile se ramifie. La seconde soupape 2016' est exploitable pour diviser

l'écoulement d'huile entre l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 et un premier échangeur de chaleur air-huile 2020, le premier échangeur de chaleur air-huile 2020 étant en série avec l'échangeur de chaleur huile-huile 2030 sur la même branche, de telle sorte que l'agencement de l'échangeur de chaleur air-huile 2020 et l'échangeur de chaleur huile-huile 2030 est agencé en parallèle de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007. Des échangeurs de chaleur air-huile supplémentaires peuvent être présents dans certaines mises en œuvre.

- [0376] Dans divers exemples, toute partie appropriée de l'écoulement d'huile peut être déviée entre l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 et le premier échangeur de chaleur air-huile 2020. Dans de tels exemples, la seconde soupape 2016' peut être exploitable pour dévier une partie fixe de l'écoulement d'huile vers chacun de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 et du premier échangeur de chaleur air-huile 2020. En variante, la seconde soupape 2016' peut être exploitable pour dévier une partie variable de l'écoulement d'huile vers chacun de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 et du premier échangeur de chaleur air-huile 2020.
- [0377] Après l'écoulement à travers les échangeurs de chaleur, l'écoulement d'huile est ensuite acheminé vers le réducteur de puissance 30 et d'autres composants de moteur 33 (comportant généralement un AGB) puis vers le second carter 2008'. La seconde pompe de récupération 2010' pompe alors l'huile du second carter 2008' au réservoir d'huile 2002' du second système d'huile à boucle fermée 2000', pour réutilisation.
- [0378] La [Fig.20] illustre une mise en œuvre plus complexe du second système d'huile à boucle fermée 2000', où l'huile utilisée pour refroidir le réducteur principal 30 est contrôlée de façon à cibler spécifiquement différents composants de réducteur.
- [0379] En particulier, le réducteur comprend des engrenages 28, 32, 38, et également des paliers lisses 44 associés à un ou plusieurs des engrenages.
- [0380] Le système de lubrification (et/ou refroidissement) à remise en circulation 2000a' des exemples actuellement décrits est agencé pour fournir une huile plus froide aux paliers lisses 44 qu'aux engrenages 32.
- [0381] Dans le mode de réalisation illustré, la pompe d'alimentation 2004' pompe de l'huile du réservoir d'huile principal 2002' selon deux directions différentes, avec une partie de l'huile passant par l'agencement parallèle des échangeurs de chaleur 2020, 1007 décrits ci-dessus, et le reste allant à la place par l'intermédiaire d'une conduite de contournement 2005, manquant ainsi les échangeurs de chaleur 2020, 1007 (on aura à l'esprit qu'un ou plusieurs échangeurs de chaleur supplémentaires ou alternatifs non représentés peuvent être présents dans cet agencement d'échange de chaleur – par exemple un échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1005 tel que décrit ci-dessus).

L'huile passant à travers la conduite de contournement 2005 est donc plus chaude que l'huile passant à travers l'agencement parallèle d'échange de chaleur 2020, 1007 car elle n'a pas eu l'opportunité de perdre de la chaleur vers le carburant et/ou vers l'air. Une soupape 2005a peut être fournie pour contrôler directement l'écoulement de contournement dans certaines mises en œuvre. La soupape 2005a peut être contrôlée activement, conjointement avec la soupape 2016' qui est exploitable pour diviser l'écoulement d'huile entre l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 et le premier échangeur de chaleur air-huile 2020, en fonction de règles de contrôle et de sortie d'un ou plusieurs capteurs de température, par exemple. Alternativement, la soupape 2005a peut être une soupape passive (par exemple une soupape thermostatique). Dans d'autres mises en œuvre, une soupape séparée 2005a peut ne pas être fournie, et à la place la soupape 2016' peut être une soupape plus complexe qui divise l'écoulement d'huile entre des échangeurs de chaleur 1007, 2020 et le contournement 2005. Par exemple, une seule soupape qui contrôle la division entre les trois voies (deux échangeurs de chaleur parallèles, et une voie de contournement) peut présenter un pourcentage fixe d'ouverture différent d'un orifice permettant à l'écoulement d'huile de traverser la conduite de contournement 2005 pour chaque division donnée entre le premier échangeur de chaleur air-huile 2020 et l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007. Le fait d'avoir deux soupapes pouvant être contrôlées séparément 2005a, 2016' peut cependant fournir plus de flexibilité.

[0382] Une soupape 2005a exploitable pour faire varier la proportion de l'écoulement de carburant dirigé le long de la conduite de contournement 2005 par rapport à la proportion de l'écoulement de carburant qui se déroule dans le ou les échangeurs de chaleur 1007, 2020 peut donc être fournie dans diverses mises en œuvre pour contrôler le refroidissement. Dans certaines mises en œuvre, une soupape unidirectionnelle peut en outre être fournie où la conduite de contournement rejoint l'écoulement d'huile aux engrenages 28, 32, 38, pour empêcher un reflux. Comme l'écoulement de contournement peut généralement être à une pression plus élevée que l'écoulement qui a traversé les échangeurs de chaleur 2020, 1007, la soupape unidirectionnelle peut servir à empêcher à l'écoulement contourné de se déplacer de manière erronée le long des conduites et d'atteindre involontairement les paliers lisses 44.

[0383] Le système de lubrification à remise en circulation 2000a' est généralement similaire au second système à boucle fermée 2000' montré sur la [Fig.15], mais comprend en outre une pompe de récupération d'engrenage annulaire 38a agencée pour pomper l'huile usagée à l'écart de la couronne dentée 38 du réducteur 30, et un second réservoir d'huile (auxiliaire) 2008b' agencé pour recevoir l'huile recueillie à partir de la couronne dentée 38 par la pompe de récupération d'engrenage annulaire 38a. L'huile du second réservoir d'huile (auxiliaire) 2008b' est envoyée pour rentrer di-

rectement dans les paliers lisses 44, contournant les échangeurs de chaleur 1005, 1007 et le réservoir principal 2002'. Le second réservoir d'huile 2008b' est donc agencé pour fournir de l'huile aux paliers lisses uniquement.

- [0384] Le carter 2008a' collecte l'huile des autres composants du réducteur 30, et agit comme le carter 2008' de l'exemple montré sur la [Fig.15]. À partir de ce carter 2008a', une partie de l'huile est renvoyée au réservoir d'huile principal 2002', mais le reste de l'huile est envoyé pour rentrer directement dans les paliers lisses 44, contournant les échangeurs de chaleur 1005, 1007 et le réservoir principal 2002', dans la mise en œuvre illustrée. Une pompe dédiée 2011' peut être fournie pour pomper de l'huile du carter 2008a' aux paliers lisses 44. Dans des mises en œuvre alternatives, la pompe 38a peut être située différemment, et peut être alimentée à partir de la couronne dentée 38 et/ou du carter 2008a', de sorte à renvoyer de l'huile à la fois de la couronne dentée 38 et du carter 2008a' aux paliers lisses 44.
- [0385] Dans encore d'autres mises en œuvre, la totalité de l'huile dans le carter 2008a' peut être renvoyée vers le réservoir principal 2002'.
- [0386] Le réservoir principal 2002', ainsi que le carter 2008a' (indirectement par l'intermédiaire de sa liaison au réservoir principal 2002'), fournit donc de l'huile à la fois aux engrenages de réducteur 28, 32, 38 et aux paliers lisses de réducteur 44, alors que le réservoir auxiliaire 2008b' fournit de l'huile aux paliers lisses de réducteur 44 uniquement.
- [0387] Toute l'huile non refroidie du réservoir principal 2002' – i.e. l'huile qui passe à travers la conduite de contournement 2005 au lieu de l'agencement d'échange thermique et est donc plus chaude - est envoyée aux engrenages 28, 32, 38, mélangée à un pourcentage de l'huile refroidie. Le pourcentage de l'huile refroidie envoyée aux engrenages 28, 32, 38 peut être contrôlable, facultativement automatiquement en fonction d'une boucle de rétroaction de température à l'aide de données de capteur provenant d'un ou plusieurs capteurs de température. Une ou plusieurs soupapes et/ou pompes supplémentaires peuvent être prévues pour faciliter ce contrôle. En général, aucune partie de l'huile non refroidie provenant du réservoir principal 2002' ne passe vers les paliers lisses de réducteur de puissance 44 dans les mises en œuvre qui sont décrites, au moins pas aux conditions de croisière. À la place, un pourcentage de l'huile refroidie, ainsi qu'une partie de l'huile du carter 2008a' et une partie du réservoir d'huile auxiliaire 2008b', est envoyé aux paliers lisses 44 dans la mise en œuvre illustrée. Dans des mises en œuvre alternatives, uniquement l'huile refroidie provenant des agencements d'échange thermique parallèles peut être envoyée aux paliers lisses 44, et toute l'huile du carter 2008a' et du réservoir d'huile auxiliaire 2008b' peut être renvoyée vers le réservoir principal au lieu d'être remise en circulation autour du réducteur 30.

- [0388] La seconde boucle fermée 2000a' est donc agencée pour fournir une huile plus froide aux paliers lisses 44 qu'aux engrenages 28, 32, 38. Cela peut permettre un refroidissement plus efficace globalement, en refroidissant une plus petite quantité d'huile à la température souhaitée la plus basse et à l'aide de l'huile plus chaude où celle-ci est suffisante pour le ou les objectifs/composants prévus, comme abordé précédemment.
- [0389] Dans divers mises en œuvre, des caractéristiques supplémentaires et des ramifications dans le système d'huile peuvent être présentes. Par exemple, la conduite d'alimentation en huile 2007 aux engrenages 28, 32, 38 du réducteur principal de puissance 30 peut se ramifier et alimenter également en huile un réducteur accessoire (AGB) et/ou à un ou plusieurs paliers d'arbre 33. Un réservoir d'huile auxiliaire, ou carter, supplémentaire 2008c', peut collecter de l'huile sortant de ces composants de moteur, et une pompe supplémentaire 2012' qui peut être une pompe de récupération, peut envoyer cette huile utilisée au réservoir d'huile principal 2002'. En outre ou alternativement, une partie de l'huile provenant du réservoir principal 2002' – facultativement de l'huile non refroidie avant qu'elle atteigne l'agencement d'échange de chaleur ou la conduite de contournement 2005 – peut être retirée pour refroidir un ou plusieurs autres composants de moteur – par exemple un dispositif d'amortissement de vibrations pour un arbre. Dans de telles mises en œuvre, le refroidissement de réducteur accessoire, le refroidissement de palier d'arbre, et/ou le refroidissement de dispositif d'amortissement de vibrations peuvent entraîner les températures d'huile les plus chaudes – par exemple, la température de l'huile à la sortie du refroidissement de réducteur accessoire et/ou le dispositif d'amortissement de vibrations peut être d'environ 180 °C ou plus, alors que l'huile sortant du réducteur de puissance 30 peut être à environ 130 °C.
- [0390] Après mélange dans le réservoir principal 2002', l'huile non refroidie provenant du réservoir principal 2002' peut avoir une température d'environ 140 °C. À ce titre, l'huile sortant du réducteur principal 30/remise en circulation autour du réducteur principal 30 sans revenir au réservoir principal 2002' peut être plus froide (par exemple, d'environ 10 °C) que l'huile quittant le réservoir principal 2002'. L'huile passant à travers les échangeurs de chaleur peut avoir sa température qui chute à environ 80 °C.
- [0391] Pour fournir de l'huile aux paliers lisses de réducteur 44, une partie de cette huile refroidie peut être mélangée à l'huile non refroidie de carter 2008a' et/ou au réservoir auxiliaire 2008b' de façon à fournir de l'huile avec une température d'environ 100 °C aux paliers lisses 44.
- [0392] Pour fournir de l'huile aux engrenages 28, 32, 38, le reste de cette huile refroidie peut être mélangé à l'huile non refroidie du réservoir principal 2002' de façon à fournir de l'huile à une température d'environ 120 °C aux engrenages.

- [0393] On aura à l'esprit que ces températures sont fournies à titre d'exemple de valeurs au fonctionnement en croisière uniquement, et peuvent varier entre des mises en œuvre.
- [0394] Dans certaines mises en œuvre, l'huile la plus chaude (par exemple des composants du moteur 33 comportant l'AGB) peut être envoyée directement à un échangeur de chaleur carburant-huile 1007 au lieu d'être mélangée à l'huile plus froide dans le réservoir principal 2002' d'abord pour augmenter une montée en température du carburant.
- [0395] Le système d'huile peut comprendre en outre une ou plusieurs soupapes agencées pour contrôler le mélange d'écoulements d'huile – par exemple, une soupape d'arrêt lisse (JSOV) et une soupape de remise en circulation à huile variable (VORV) peuvent être fournies pour contrôler l'écoulement d'huile vers les paliers lisses 44. La JSOV peut être une soupape passive basée sur la pression d'huile – si la pression d'huile est faible, la soupape peut créer automatiquement un circuit à boucle fermée alimentant de l'huile du carter de réducteur de puissance (PGB) 2008a' en retour vers les paliers lisses de PGB 44. La VORV peut contrôler les proportions d'huile du carter 2008a', du réservoir auxiliaire 2008b' et du système d'échange de chaleur 2020, 1007, dans l'huile envoyée aux paliers lisses de PGB 44, par exemple en fonction d'une rétroaction d'un ou plusieurs capteurs de température.
- [0396] Les inventeurs étaient conscients que l'utilisation de carburants différents des carburants à base de kérosène traditionnels, tels que des carburants aviation durables par exemple, peut permettre à plus de chaleur d'être transférée de l'huile au carburant par unité de volume du carburant à travers le système d'échange de chaleur. Des températures de carburant plus élevées à l'entrée de la chambre de combustion peuvent permettre une efficacité de combustion de carburant améliorée, et/ou un refroidissement d'huile amélioré, comme décrit ci-dessus.
- [0397] La [Fig.18] illustre un exemple de procédé 18000 de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz à engrenages 10 avec un réducteur 30 comprenant des engrenages 28, 32, 38 et des paliers lisses 44. Le procédé 18000 comprend les étapes consistant à :
- [0398] Étape 18100 : Contrôle du système d'échange de chaleur de manière à transférer 200 à 600 kJ/m³ de chaleur au carburant à partir de l'huile dans des conditions de croisière.
- [0399] Ce transfert de chaleur de l'huile vers le carburant peut être utilisé pour contrôler la température de l'huile à l'entrée du réducteur.
- [0400] Le contrôle du système d'échange de chaleur peut comprendre le contrôle de l'écoulement d'huile et/ou de l'écoulement de carburant à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile principal et d'IDG 1005, 1007, par exemple à l'aide d'une ou plusieurs conduites de contournement ou de boucles de remise en circulation 6010, 6011 telles que décrites ci-dessus.

- [0401] Dans divers mises en œuvre telles qu'abordées précédemment, le contrôle 18100 du système d'échange de chaleur peut comprendre le contrôle de l'écoulement de carburant à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile principal et d'IDG 1005, 1007.
- [0402] L'écoulement du carburant peut être contrôlé à l'aide d'une soupape de remise en circulation 6010 lorsqu'elle est présente. Une quantité de carburant activement contrôlée sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 peut être remise en circulation vers l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 plutôt que de s'écouler directement vers la chambre de combustion 16. Cette remise en circulation peut également amener du carburant qui a déjà traversé la pompe à carburant moteur 1003 en retour vers une position en amont de la pompe à carburant moteur 1003, en fonction de l'emplacement de la boucle de remise en circulation.
- [0403] En variante ou en complément, l'écoulement de carburant peut être contrôlé en utilisant une ou plusieurs conduites de contournement agencées pour permettre à une proportion du carburant d'éviter de passer à travers l'un et/ou l'autre des échangeurs de chaleur carburant-huile.
- [0404] La vitesse de la pompe 1003 peut également être ajustée, soit en accélérant le débit de carburant (diminuant ainsi le transfert de chaleur par unité de volume passant par les échangeurs de chaleur) soit en réduisant le débit de carburant (augmentant ainsi le transfert de chaleur par unité de volume passant par les échangeurs de chaleur).
- [0405] Le contrôle 18100 du système d'échange de chaleur peut comprendre le contrôle d'écoulement d'huile à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et d'IDG 1005, 1007, et/ou à travers un ou plusieurs autres échangeurs de chaleur – par exemple un échangeur de chaleur huile-huile 2030 entre des systèmes d'huile à boucle fermée séparés, dans des architectures de moteur avec plusieurs systèmes d'huile à boucle fermée, ou un échangeur de chaleur air-huile 2020.
- [0406] En complément ou alternativement, comme pour l'écoulement de carburant, l'écoulement d'huile peut être contrôlé à l'aide d'une ou plusieurs conduites de contournement, lorsqu'elles sont présentes, permettant à l'huile de contourner un ou plusieurs échangeurs de chaleur 1005, 1007 au lieu de s'écouler à travers ceux-ci. L'huile peut également être remise en circulation dans certaines mises en œuvre, et/ou l'écoulement d'huile peut être ajusté en contrôlant une ou plusieurs pompes à huile.
- [0407] Le système d'échange de chaleur peut comprendre un contrôleur agencé pour mettre en œuvre ce contrôle. Le contrôleur peut recevoir des entrées d'un ou plusieurs capteurs de température, et peut contrôler une ou plusieurs soupapes, et/ou la pompe 1003, en fonction des données reçues. Le système d'échange de chaleur peut comprendre une ou plusieurs soupapes, pompes, et/ou conduites de remise en circulation ou de contournement en plus de celles explicitement représentées et décrites

ici pour faciliter ce contrôle.

- [0408] Le contrôle actif des débits de carburant et/ou d'huile peut être effectué en fonction d'un ou plusieurs paramètres tels que :
- [0409] • Vitesse d'arbre de cœur et demande de poussée du moteur ;
- [0410] • Température actuelle du carburant et/ou température de l'huile de carburant au niveau d'un ou plusieurs emplacements ;
- [0411] • Valeur calorifique de carburant ;
- [0412] • Viscosité de carburant ;
- [0413] • Débit de carburant vers la chambre de combustion (couramment dénommé WFE - poids d'écoulement de carburant de moteur principal) ;
- [0414] • Vitesse de rotation de soufflante ; et
- [0415] • Vitesse de pompe à carburant principale/moteur, ou options de vitesse.
- [0416] Dans des exemples alternatifs, le contrôle de la quantité de carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1007 à remettre en circulation peut ne pas être une étape de procédé active – à la place, une proportion définie, fixe du carburant peut être remise en circulation. Alternativement, aucun carburant ne peut être remis en circulation, et aucun itinéraire de remise en circulation ne peut être disponible dans certaines mises en œuvre.
- [0417] Étape 18200 : Fourniture de l'huile plus froide aux paliers lisses 44 du réducteur 30 qu'aux engrenages 28, 32, 38.
- [0418] Le système de lubrification (et/ou de refroidissement) 2000a' comprend un premier réservoir d'huile 2002' agencé pour fournir de l'huile aux engrenages de réducteur et aux paliers lisses, et un second réservoir d'huile 2008b' agencé pour fournir de l'huile aux paliers lisses uniquement, fournissant ainsi des écoulements d'huile différents à chacun et permettant un contrôle individuel de température d'huile. Le système de lubrification 2000a' peut également comprendre une conduite de contournement 2005 permettant à une partie de l'huile du réservoir principal 2002' de contourner un ou plusieurs échangeurs de chaleur – cette huile non refroidie peut être fournie aux engrenages 28, 32, 38 du réducteur de puissance 30, mais pas aux paliers lisses 44 du réducteur de puissance 30, augmentant ainsi de nouveau la température d'huile de l'huile fournie aux engrenages par comparaison avec celle fournie aux paliers lisses.
- [0419] Il sera entendu que l'invention n'est pas limitée aux mises en œuvre décrites 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] 1 Procédé (11000) de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz (10), le moteur à turbine à gaz comprenant :
- un cœur de moteur (11) comprenant une chambre de combustion (16) agencée pour brûler un carburant ; une turbine (19), la turbine comprenant une pluralité d'aubes de turbine (19') ; un compresseur (14) agencé pour être utilisé en guise de source d'air de refroidissement pour les aubes de turbine (19') ; et un inducteur (1901) agencé pour accélérer et diriger l'air de refroidissement sur les aubes de turbine (19') et comprenant une pluralité de voies de passage de flux d'air (1903), et une soupape de modulation (1902) agencée pour permettre ou bloquer un flux d'air de refroidissement dans un sous-ensemble des voies de passage ; et
- un système de gestion de carburant (1500) agencé pour fournir le carburant à la chambre de combustion (16), dans lequel le système de gestion de carburant comprend : deux échangeurs de chaleur carburant-huile (1004, 1006) à travers lesquels l'huile et le carburant s'écoulent, les échangeurs de chaleur carburant-huile agencés pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant et comprenant un échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004) et un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1006) ;
- dans lequel le procédé (11000) comprend :
- l'utilisation (11100) de la soupape de modulation (1902) pour ajuster l'écoulement d'air de refroidissement en fonction de la température d'entrée de turbine ; et
- le contrôle (11200) du système de gestion de carburant (1500) de manière à transférer entre 200 et 600 kJ/m³ de chaleur au carburant provenant de l'huile dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004) dans des conditions de croisière
- [Revendication 2] 2 Procédé (11000) selon la revendication 1, dans lequel le procédé comprend le transfert de 300 à 500 kJ/m³ de chaleur au carburant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004) dans des conditions de croisière.
- [Revendication 3] 3 Procédé (11000) selon la revendication 1, dans lequel l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1006) est un échangeur de chaleur carburant-huile asservi.
- [Revendication 4] 4 Procédé (11000) selon la revendication 1, dans lequel

entre 10 % et 30 % du carburant est délivré à l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1006).

[Revendication 5]

5 Procédé (11000) selon la revendication 1, dans lequel, pour du carburant qui passe à travers les deux échangeurs de chaleur carburant-huile (1004, 1006), un rapport de transfert de chaleur de l'huile au carburant pour les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire (1004) et secondaire (1006) est compris entre 70:30 et 90:10.

[Revendication 6]

6 Procédé (11000) selon la revendication 1, dans lequel, pour du carburant qui passe à travers les deux échangeurs de chaleur carburant-huile (1004, 1006), un rapport de transfert de chaleur de l'huile au carburant pour les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire (1004) et secondaire (1006) est d'approximativement 80:20.

[Revendication 7]

7 Procédé (11000) selon la revendication 1, dans lequel le carburant s'écoule à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004) avant de s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1006) alors que l'huile s'écoule à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1006) avant de s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004).

[Revendication 8]

8 Procédé (11000) selon la revendication 1, dans lequel :
le système de gestion de carburant (1500) comprend en outre :
une soupape de remise en circulation (6010) située en aval de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004) et entre l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire et la chambre de combustion (16), la soupape de remise en circulation (6010) agencée pour permettre à une quantité contrôlée de carburant qui a traversé l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004) d'être renvoyée à l'entrée (1004a) de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire ;
et

dans lequel un écoulement de carburant à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile (1004, 1006) est au moins partiellement commandé par la commande de la quantité de carburant à renvoyer à l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004).

[Revendication 9]

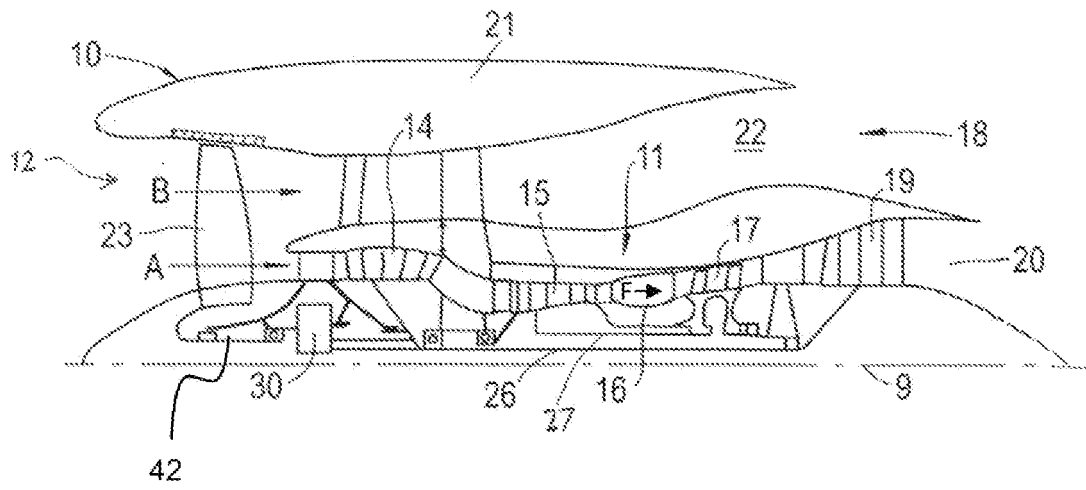
9 Procédé (11000) selon la revendication 1, dans lequel du carburant qui passe à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1006) n'est pas envoyé à la chambre de combustion (16), de telle sorte que toute la chaleur transférée de l'huile au carburant qui atteint la chambre de combustion (16) est transférée dans l'échangeur de chaleur carburant-

- huile primaire (1004).
- [Revendication 10] 10 Moteur à turbine à gaz (10) pour un aéronef (1), le moteur à turbine à gaz (10) comprenant :
- un cœur de moteur (11) comprenant une chambre de combustion (16) agencée pour brûler un carburant ; une turbine (19), la turbine comprenant une pluralité d'aubes de turbine (19') ; un compresseur (14) agencé pour être utilisé en guise de source d'air de refroidissement pour les aubes de turbine (19') ; et un inducteur (1901) agencé pour accélérer et diriger l'air de refroidissement sur les aubes de turbine (19') et comprenant une pluralité de voies de passage de flux d'air (1903) et une soupape de modulation (1902) agencée pour permettre ou bloquer un flux d'air de refroidissement dans un sous-ensemble des voies de passage, dans lequel la soupape de modulation (1902) est conçue pour ajuster le flux d'air de refroidissement en fonction de la température d'entrée de turbine ; et
- un système de gestion de carburant (1500) agencé pour fournir le carburant à la chambre de combustion (16), dans lequel le système de gestion de carburant comprend : deux échangeurs de chaleur carburant-huile (1004, 1006) à travers lesquels l'huile et le carburant s'écoulent, les échangeurs de chaleur carburant-huile agencés pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant et comprenant un échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004) et un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1006) ;
- et dans lequel le système de gestion de carburant (1500) est agencé pour transférer 200 à 600 kJ/m³ de chaleur au carburant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004) dans des conditions de croisière.
- [Revendication 11] 11 Moteur à turbine à gaz (10) selon la revendication 10, dans lequel le système de gestion de carburant (1500) est agencé pour transférer 300 à 500 kJ/m³ de chaleur au carburant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004) dans des conditions de croisière.
- [Revendication 12] 12 Moteur à turbine à gaz (10) selon la revendication 10, dans lequel l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1006) est un échangeur de chaleur carburant-huile asservi.
- [Revendication 13] 13 Moteur à turbine à gaz (10) selon la revendication 10, dans lequel entre 10 % et 30 % du carburant est délivré à l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1006).
- [Revendication 14] 14 Moteur à turbine à gaz (10) selon la revendication 10, dans lequel un rapport de transfert de chaleur de l'huile au carburant pour les

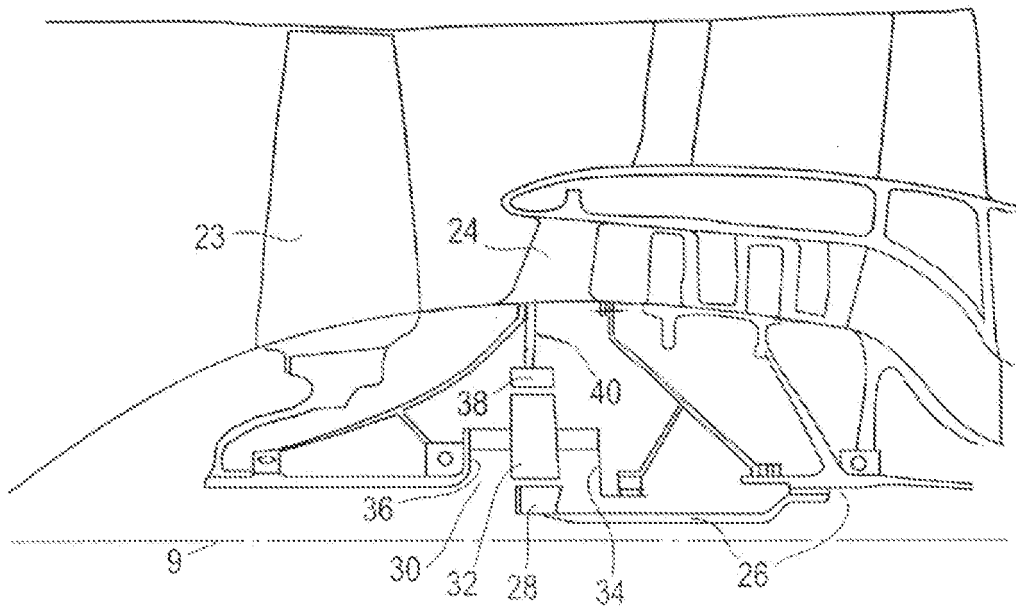
échangeurs de chaleur carburant-huile primaire (1004) et secondaire (1006) est compris entre 70:30 et 90:10.

[Revendication 15] 15 Moteur à turbine à gaz (10) selon la revendication 10, dans lequel le carburant s'écoule à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004) avant de s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1006) alors que l'huile s'écoule à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1006) avant de s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1004).

[Fig. 1]

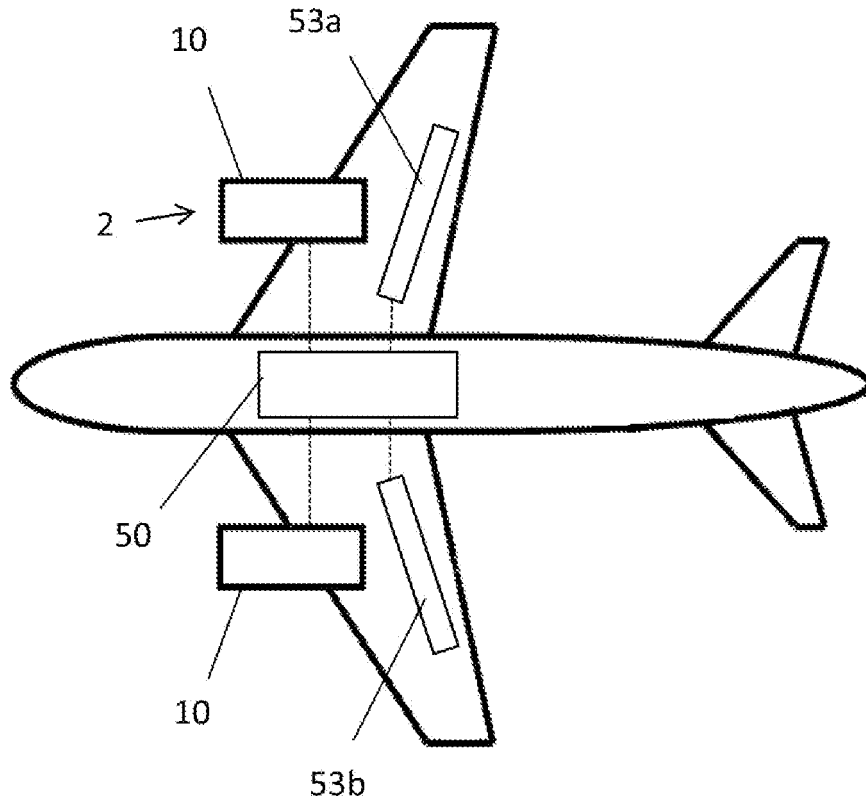


[Fig. 2]

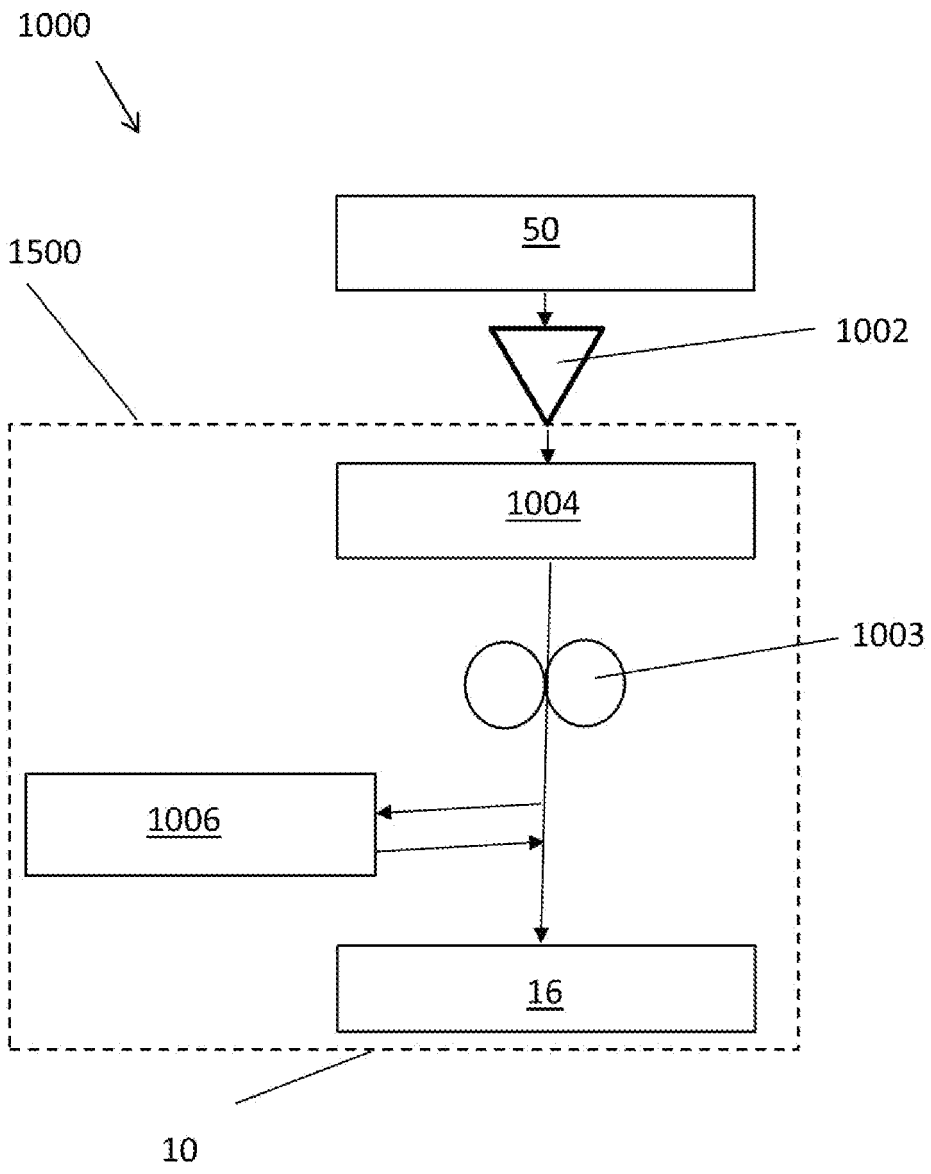


[Fig. 4]

1 ↘

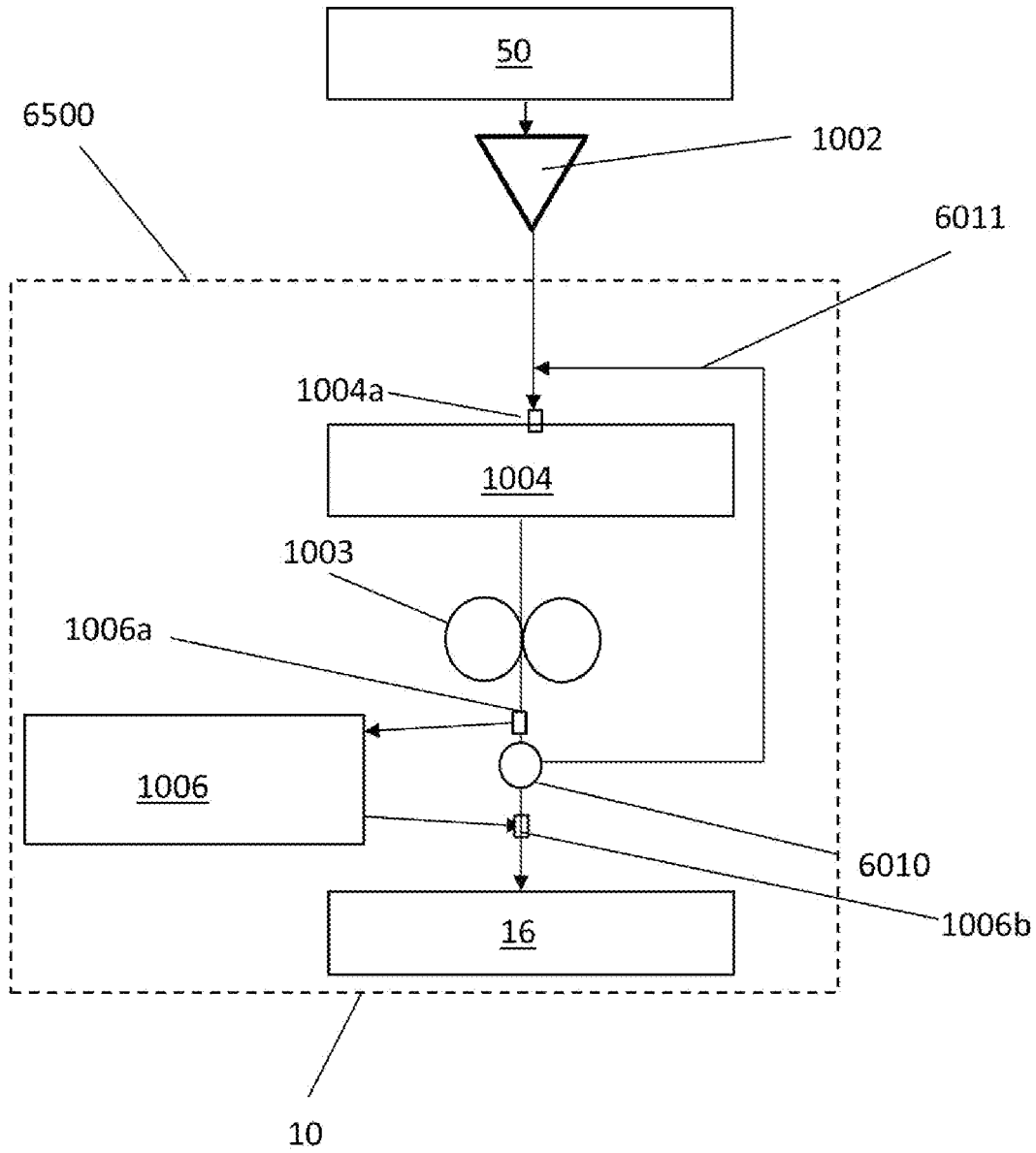


[Fig. 5]

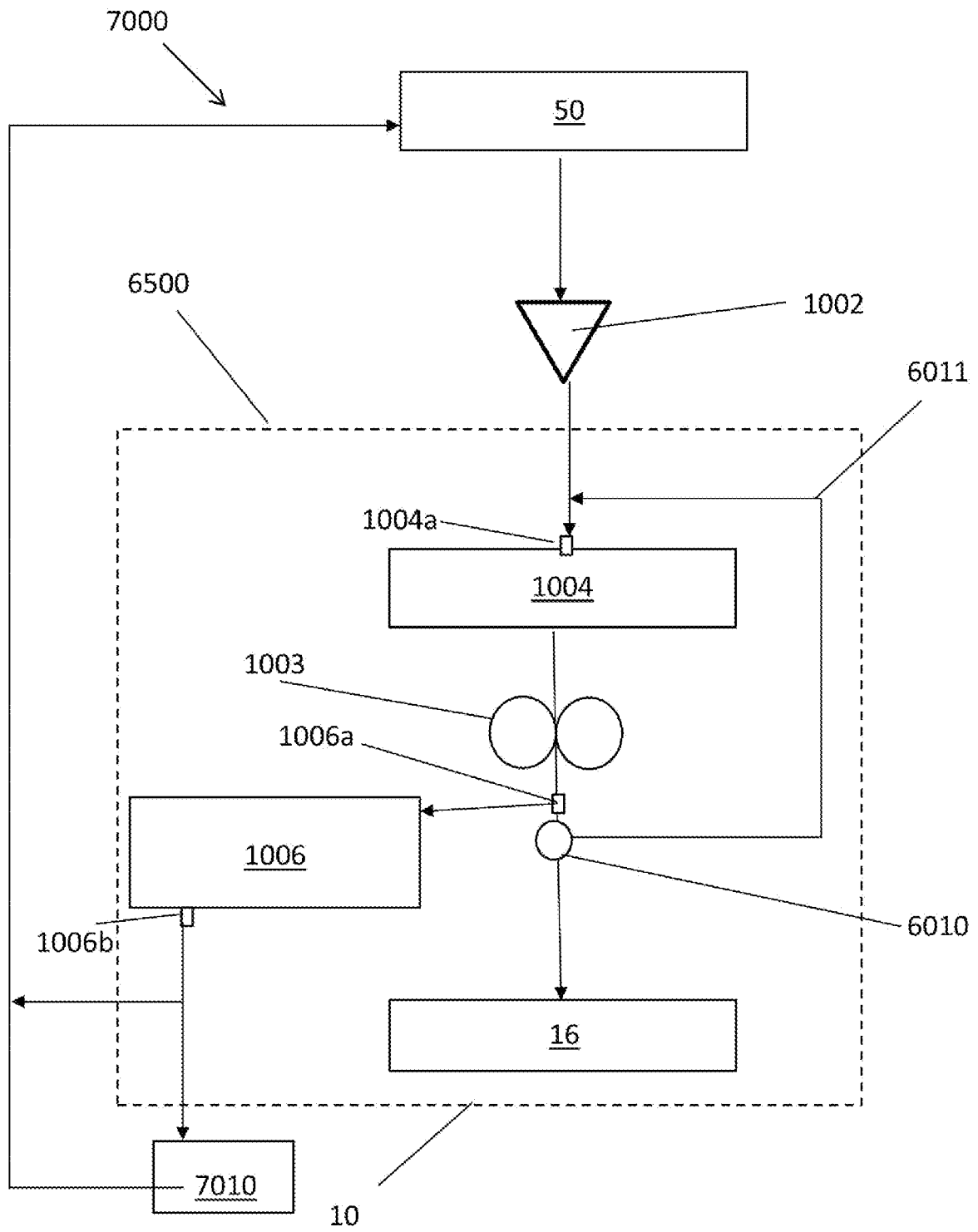


[Fig. 6a]

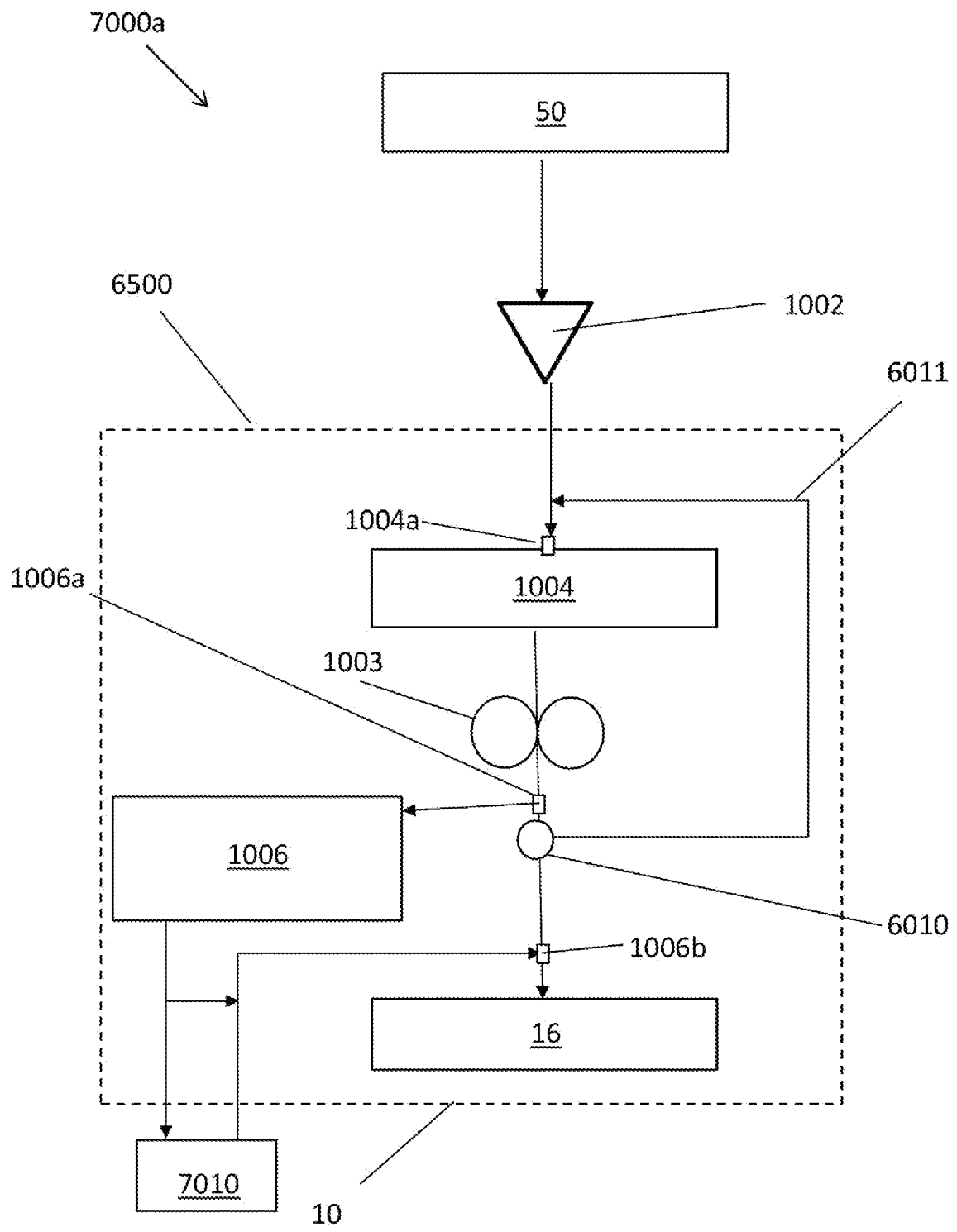
6000



[Fig. 6b]



[Fig. 6c]

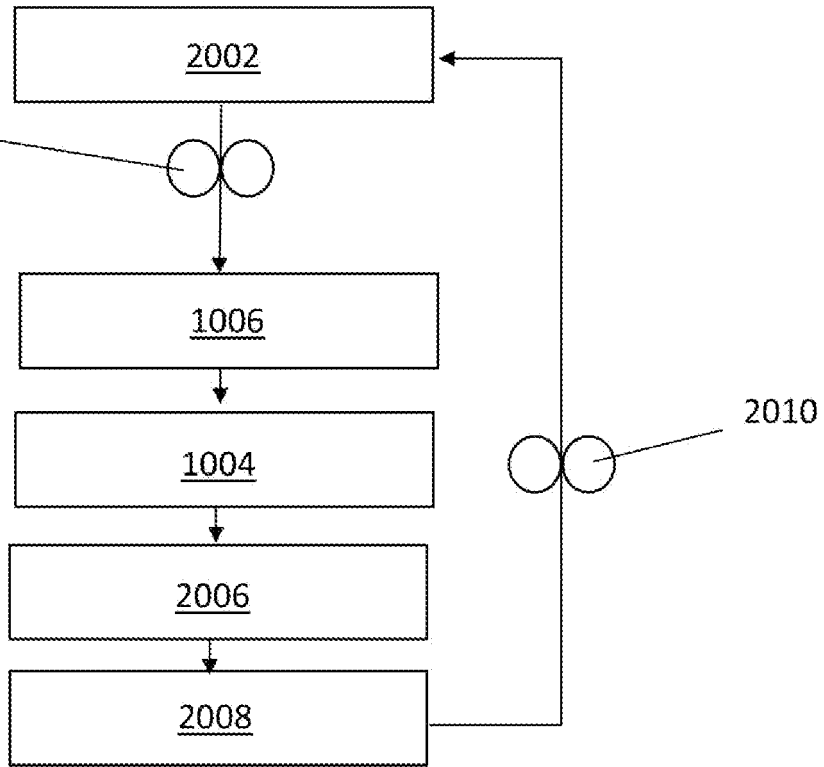


[Fig. 7]

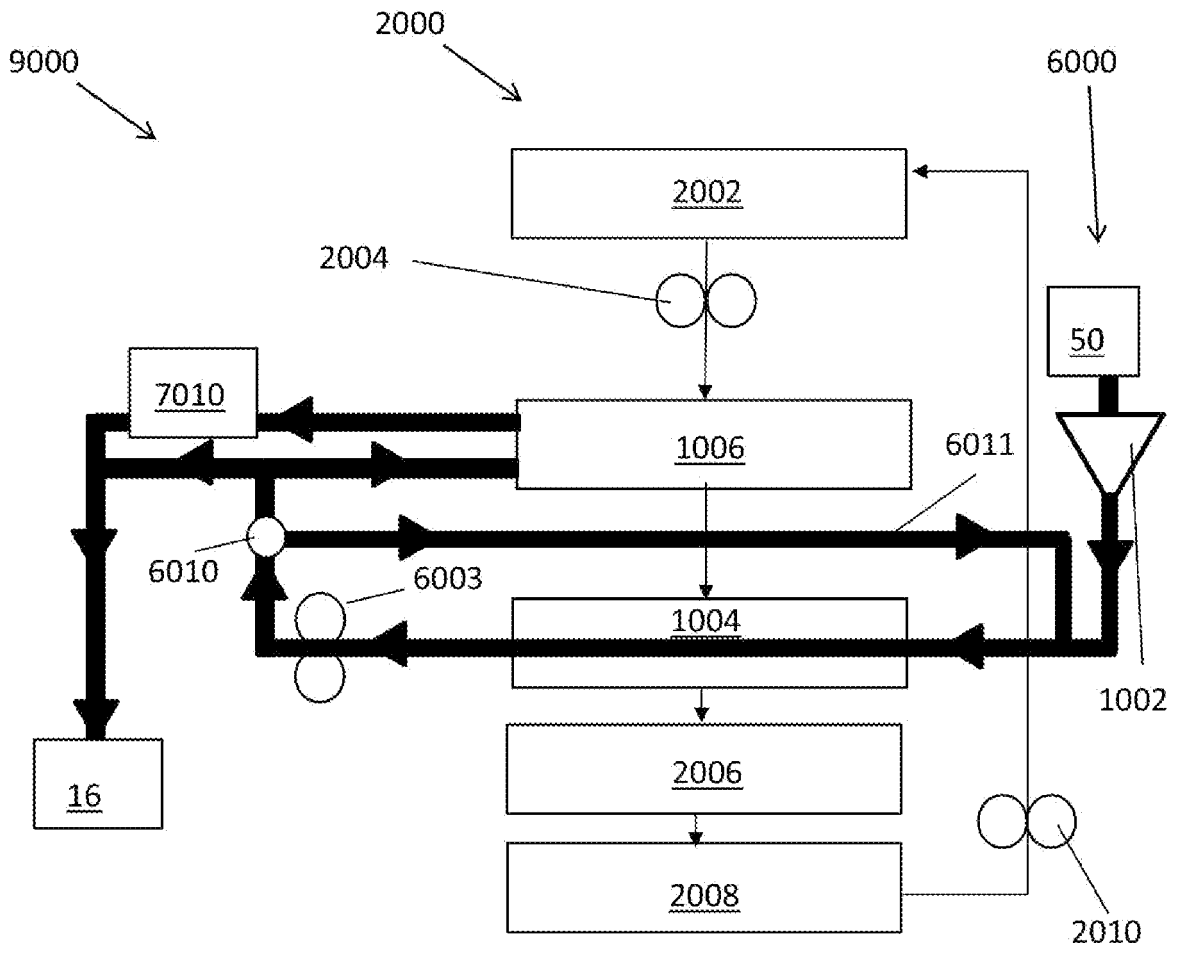
2000

2004

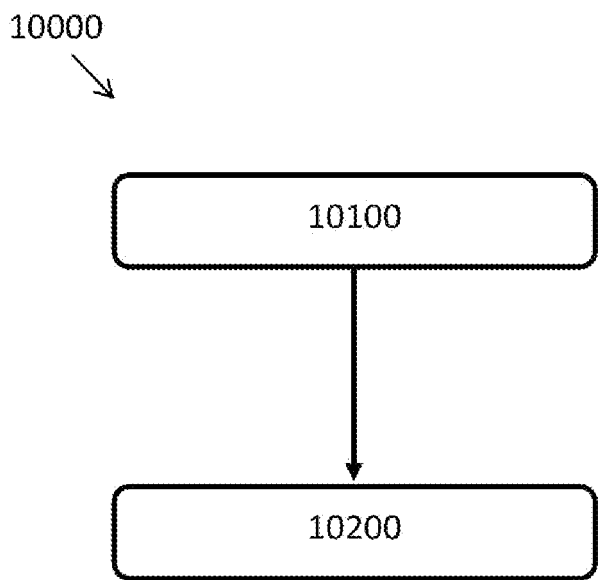
2010



[Fig. 9]

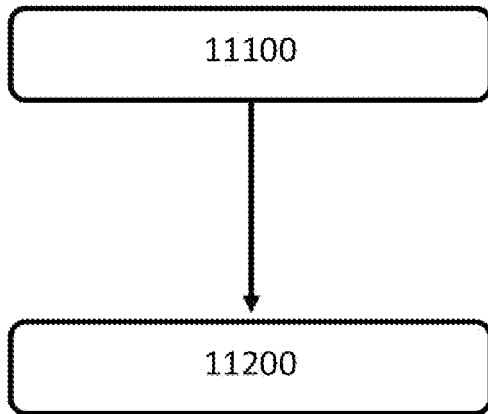


[Fig. 10]



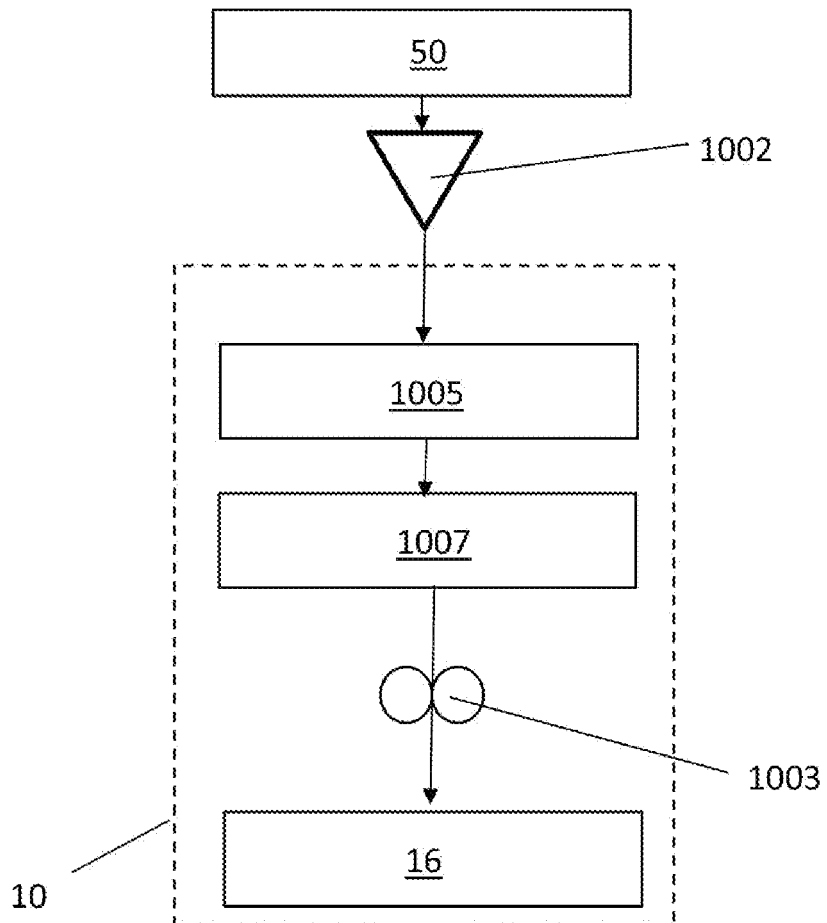
[Fig. 11]

11000



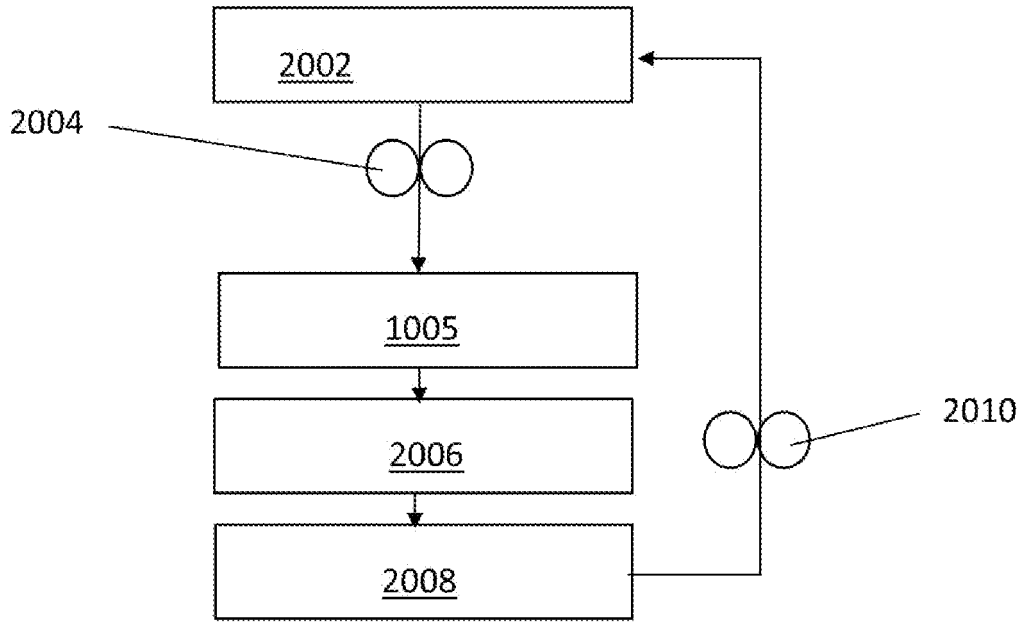
[Fig. 12]

1000



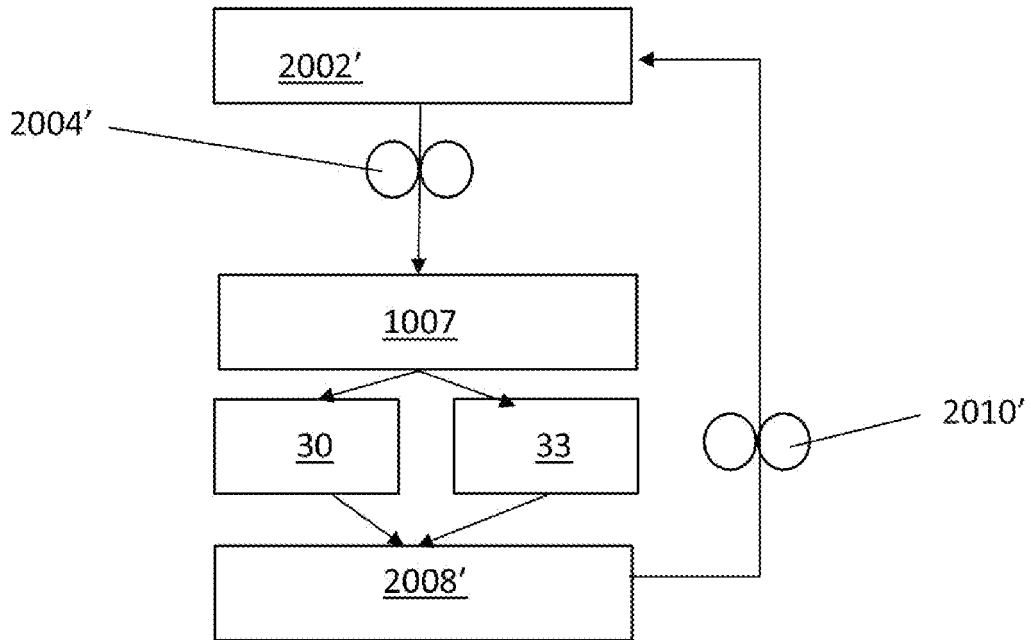
[Fig. 13]

2000

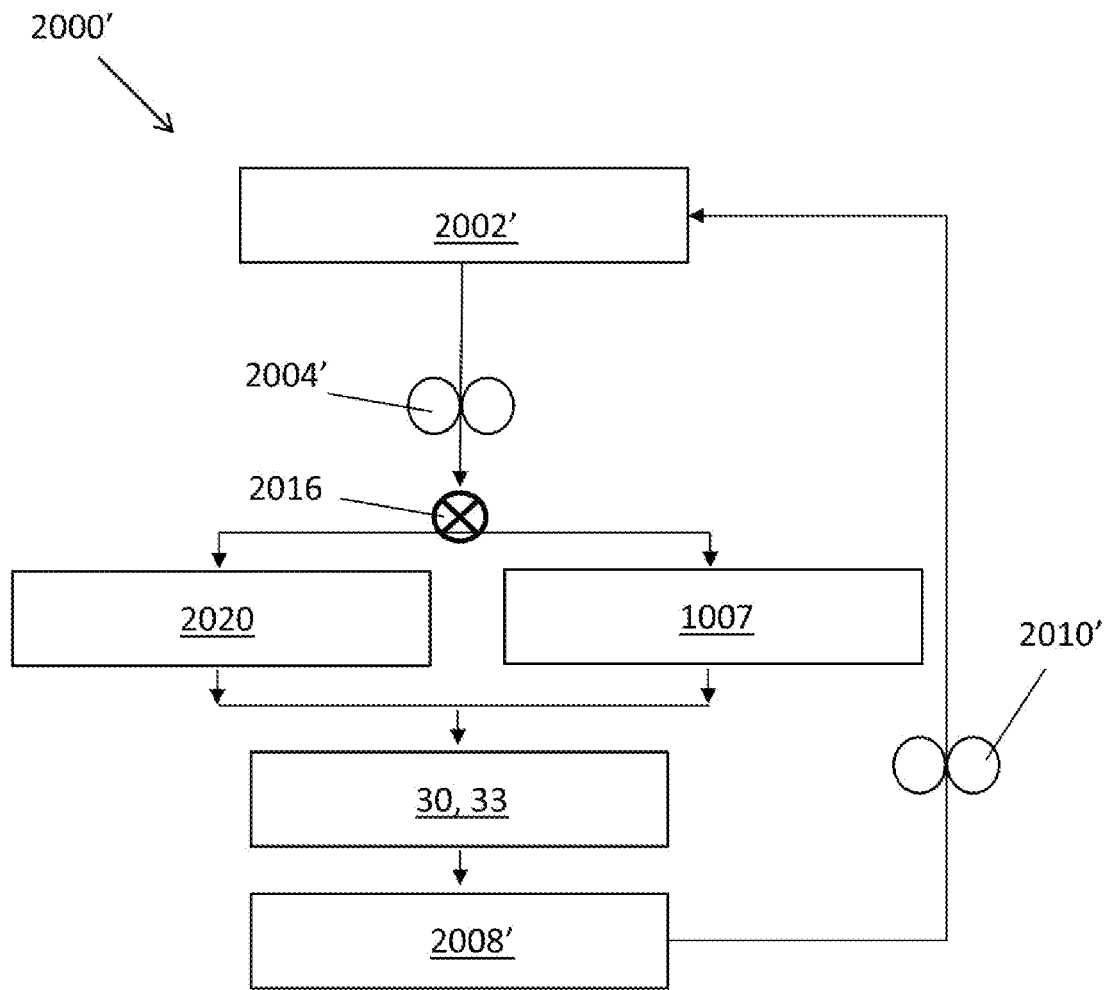


[Fig. 14]

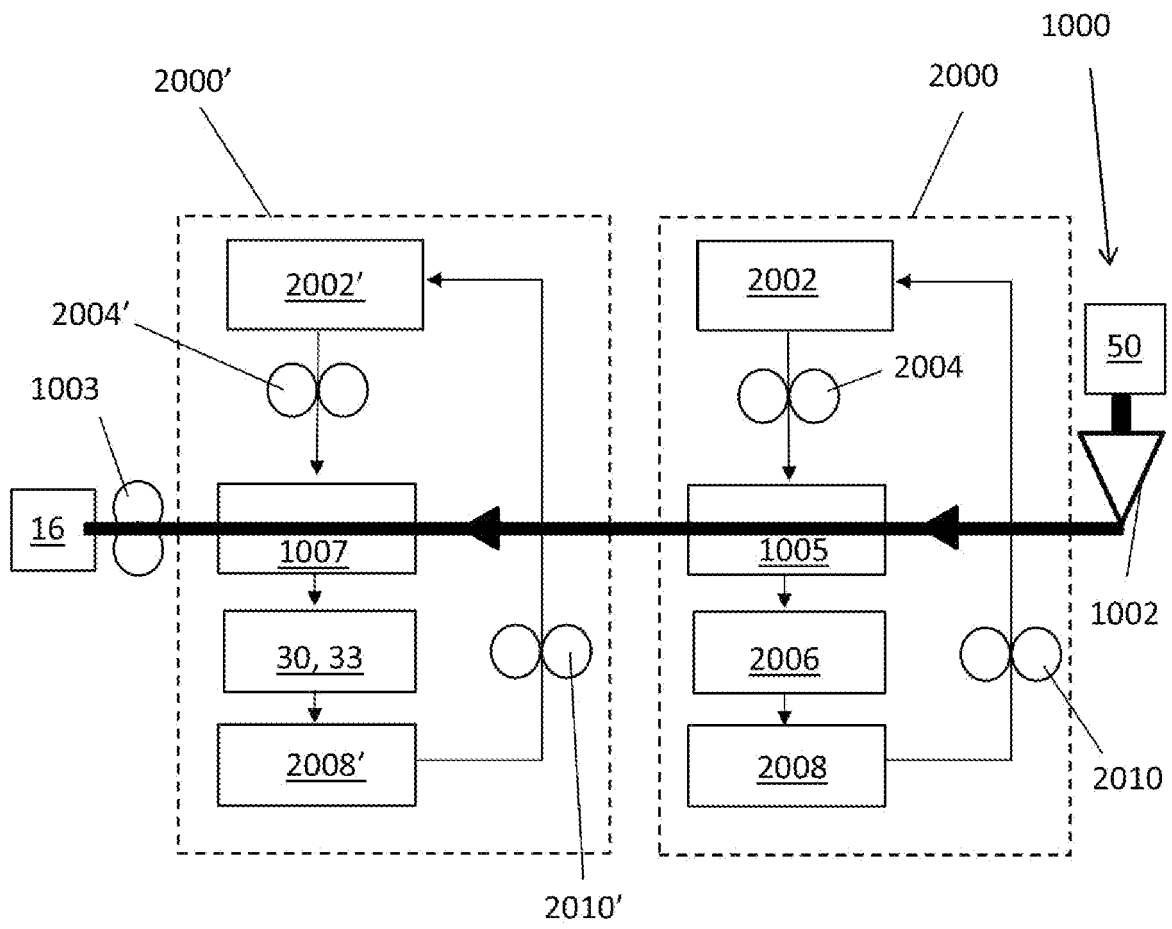
2000'



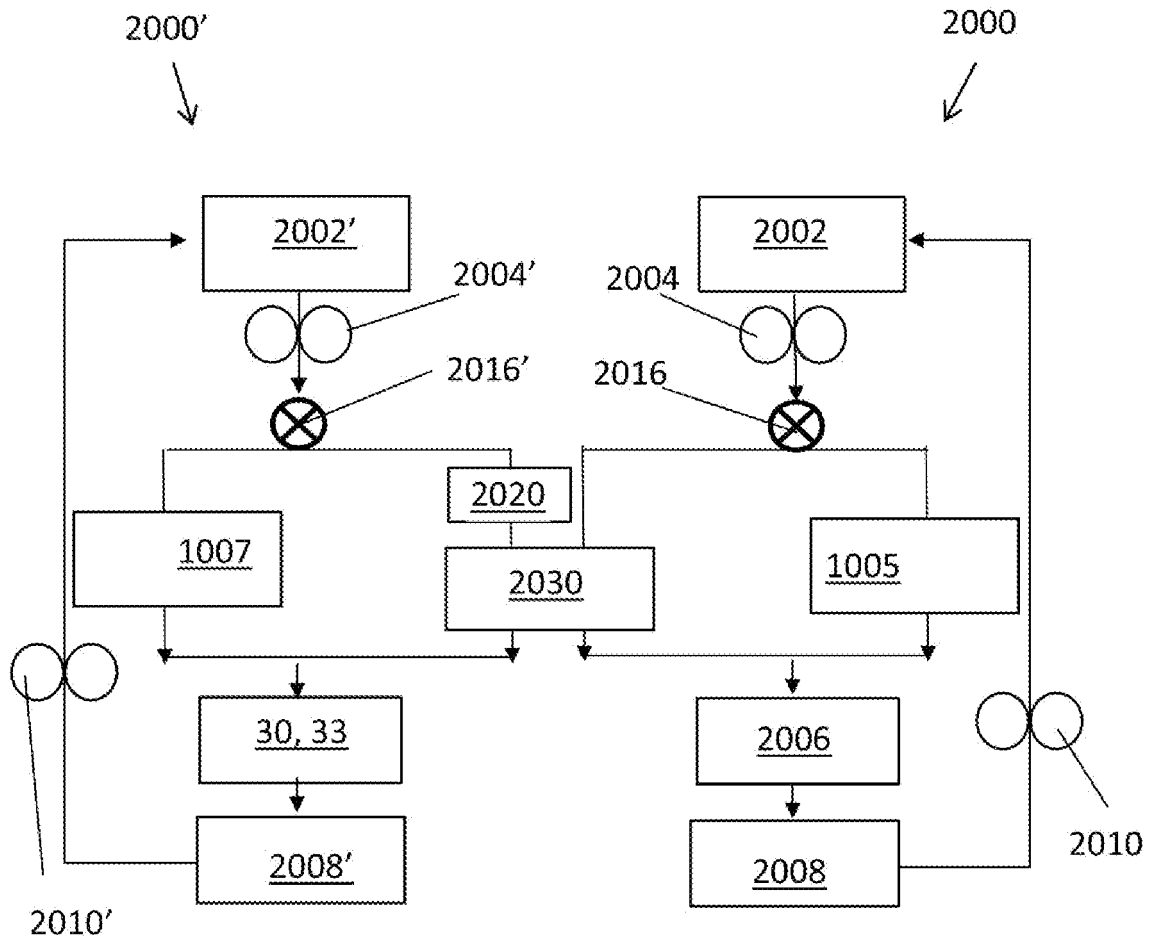
[Fig. 15]



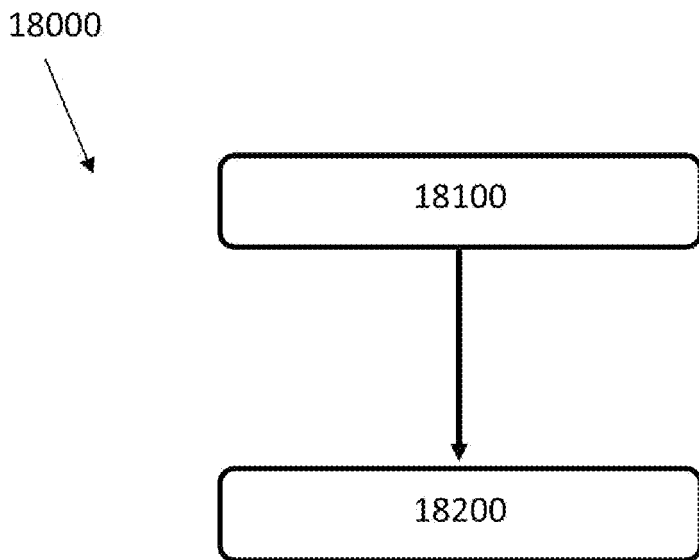
[Fig. 16]



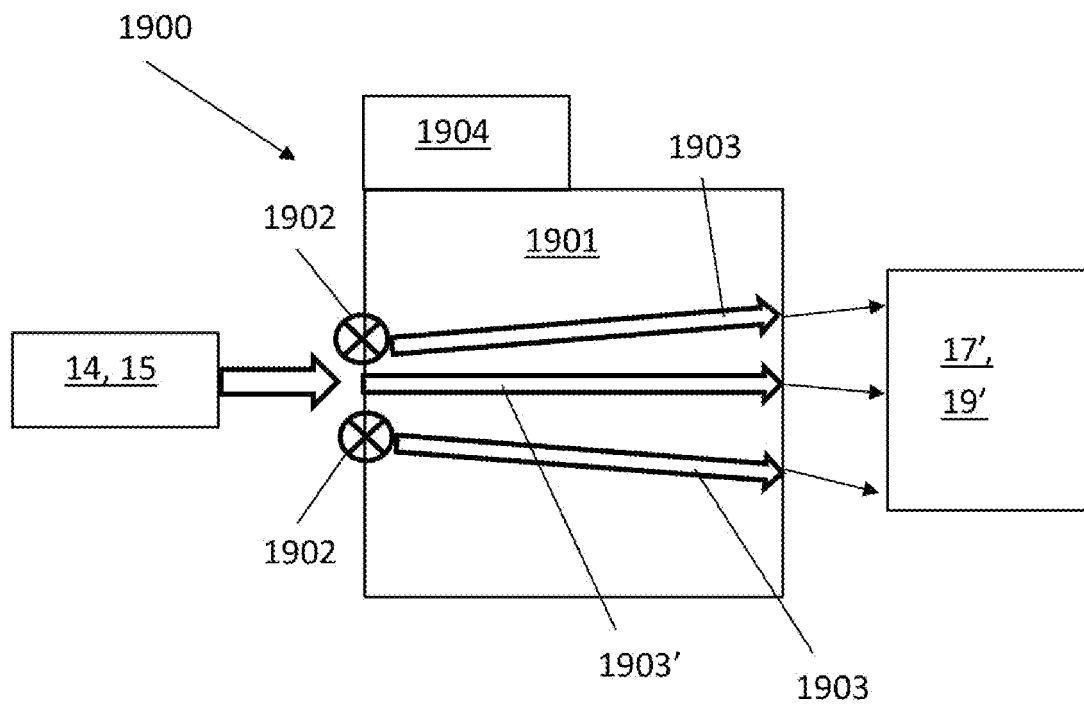
[Fig. 17]



[Fig. 18]



[Fig. 19]



[Fig. 20]

