

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 144 215**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **23 14167**

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 2219414.6.

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, MCNALLY Kevin R et MINELLI Andrea.*

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

⑦4 Mandataire(s) : *NOVAGRAAF TECHNOLOGIES.*

⑤4 Combustion de Carburant.

⑤7 Un procédé (13000) 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 turbine (19), un compresseur (14), une chambre de combustion (16) agencée pour brûler un carburant, et un arbre de cœur (26) reliant la turbine au compresseur ; une soufflante (23) située en amont du cœur de moteur (11) ; un arbre de soufflante (42) ; un réducteur principal (30) qui reçoit une entrée provenant de l'arbre de cœur (26) et délivre en sortie un entraînement à la soufflante (23) par l'intermédiaire de l'arbre de soufflante (42) ; un système à boucle d'huile primaire (2000') agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier le réducteur principal (30) ; et un système d'échange de chaleur (1004, 1006) agencé pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant, l'huile ayant une température moyenne d'au moins 180 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur (1004, 1006) dans des conditions de croisière. Le procédé (13000) comprend le transfert (13200) de chaleur de l'huile au carburant de manière à abaisser la viscosité de carburant à une valeur inférieure ou égale à 0,58 mm²/s à l'entrée de la chambre de combustion (16) dans des conditions de croisière.

Figure pour l'abrégié : Figure 6

FR 3 144 215 - A1



Description

Titre de l'invention : Combustion de Carburant

- [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 turbine, un compresseur, une chambre de combustion agencée pour brûler un carburant, et un arbre de cœur reliant la turbine au compresseur ;
- [0006] une soufflante située en amont du cœur de moteur ;
- [0007] un arbre de soufflante ;
- [0008] 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 ;
- [0009] un système à boucle d'huile primaire agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier le réducteur ; et
- [0010] un système d'échange de chaleur agencé pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant, l'huile ayant une température moyenne d'au moins 180 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière,
- [0011] dans lequel le procédé comprend le contrôle du système d'échange de chaleur de manière à élever la température de carburant à au moins 135 °C à l'entrée de la chambre de combustion aux conditions de croisière.
- [0012] Le procédé peut comprendre en outre l'étape consistant à acheminer le carburant d'un réservoir de carburant vers la chambre de combustion par l'intermédiaire du système d'échange de chaleur.
- [0013] Le système d'échange de chaleur comprend au moins un échangeur de chaleur traversé par l'huile. Le système d'échange de chaleur peut comprendre plusieurs échangeurs de chaleur sur le même système à boucle d'huile. Dans des mises en œuvre dans lesquelles un ou plusieurs échangeurs de chaleur sont en série, la température de l'huile à l'entrée du système d'échange de chaleur est définie comme la température

d'huile à l'entrée du premier échangeur de chaleur dans la configuration en série. Dans des mises en œuvre dans lesquelles un ou plusieurs échangeurs de chaleur sont en parallèle, avec une division dans l'écoulement d'huile, la température de l'huile à l'entrée du système d'échange de chaleur peut être définie soit là où l'écoulement se divise, soit à l'entrée vers n'importe quel premier échangeur de chaleur en série sur n'importe quelle branche parallèle (ou vers le seul échangeur de chaleur sur cette branche, le cas échéant) – il est entendu que les pertes de chaleur le long des tuyaux sont généralement minimales de telle sorte qu'une mesure de température au niveau de l'un quelconque des emplacements listés doit être très similaire à celle prise à n'importe lequel autre dans la plupart, si ce n'est pas la totalité, des mises en œuvre. En cas de doute, ou dans des mises en œuvre avec un agencement d'écoulement d'huile plus complexe de telle sorte que des températures d'entrée d'échangeur de chaleur peuvent varier entre des branches du même système d'huile à boucle fermée, une moyenne de températures à l'entrée d'un premier échangeur de chaleur atteint sur chaque trajet d'écoulement d'huile parallèle est utilisée. Cela s'applique à tous les aspects décrits ici.

- [0014] 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 ou quinze minutes, en conditions de croisière à régime stationnaire. Ces températures moyennes ne comportent pas de pics transitoires de température, qui peuvent être définis 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 pic transitoire à une température supérieure à 135 °C n'est pas suffisant.
- [0015] Les mêmes considérations s'appliquent à la définition de la température d'huile aux conditions de croisière – n'importe quels pics transitoires en température à 180 °C ou au-dessus ne seraient pas suffisants pour les classer en guise de température moyenne d'au moins 180 °C dans des conditions de croisière ; la température moyenne doit plutôt rester au niveau ou au-dessus de ce niveau.
- [0016] Les inventeurs sont 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 d'avoir des températures de carburant plus élevées à l'entrée de la chambre de combustion. Des températures de carburant plus élevées à l'entrée de la chambre de combustion peuvent permettre un procédé fournissant un refroidissement d'huile amélioré (car le carburant est en mesure d'absorber plus de chaleur) et/ou un rendement amélioré de combustion de carburant. On aura à l'esprit

que des propriétés de carburant à l'entrée de la chambre de combustion peuvent affecter les performances du moteur, e.g., 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, et que l'élévation de la température de carburant telle que décrit peut améliorer ces propriétés.

- [0017] Le système à boucle d'huile primaire peut être qualifié de système de lubrification à remise en circulation, ou de partie de celui-ci. Le système à boucle d'huile primaire peut être agencé pour alimenter de l'huile pour lubrifier et/ou refroidir le réducteur, l'huile transportant de la chaleur à l'écart du réducteur et étant refroidie avant d'entrer de nouveau dans le réducteur. Le système à boucle d'huile primaire peut être en outre agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier et/ou refroidir un ou plusieurs autres composants de moteur en plus du réducteur principal, par exemple un réducteur auxiliaire (AGB) et/ou une ou plusieurs chambres de palier.
- [0018] Le procédé peut comprendre le transfert de chaleur de l'huile au carburant avant que l'huile entre de nouveau dans le réducteur de façon à élever la température de carburant tout en abaissant la température d'huile. Cela peut améliorer le chauffage du carburant, ce qui permet une combustion plus efficace, tout en améliorant le refroidissement de l'huile, permettant une gestion de chaleur et un fonctionnement plus efficaces du moteur. En particulier, 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.
- [0019] On aura à l'esprit que l'utilisation de l'huile dans le réducteur chauffe l'huile – l'huile lubrifie donc le réducteur et refroidit également le réducteur, car elle transporte la chaleur à l'écart du réducteur.
- [0020] Le procédé peut comprendre le transfert de chaleur de l'huile au carburant avant que l'huile entre de nouveau dans le réducteur de façon à élever la température de carburant à une moyenne d'au moins 140 °C, 150 °C, 160 °C, 170 °C, 180 °C, 190 °C ou 200 °C à l'entrée dans la chambre de combustion dans des conditions de croisière.
- [0021] Le procédé peut comprendre le transfert de chaleur de l'huile au carburant avant que l'huile entre de nouveau dans le réducteur de façon à élever la température de carburant à une moyenne comprise entre 135 et 150 °C, 135 et 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 aux conditions de croisière.
- [0022] Le procédé peut comprendre le transfert de chaleur de l'huile au carburant avant que l'huile entre de nouveau dans le réducteur de façon à élever la température de carburant jusqu'à une moyenne allant jusqu'à 200 °C, 210 °C, 220 °C, 230 °C, 240 °C ou 250 °C à l'entrée dans la chambre de combustion aux conditions de croisière.

- [0023] En plus de gagner de la chaleur du réducteur principal, l'huile peut traverser 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.
- [0024] 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).
- [0025] L'huile peut avoir une température moyenne d'au moins 200 °C à la sortie des composants du moteur qu'elle est agencée pour refroidir, aux conditions de croisière. La température de l'huile à la sortie des composants du moteur refroidis par l'huile peut être au moins sensiblement égale à la température de l'huile à l'entrée du système d'échange de chaleur. À la différence du carburant renvoyé, pour lequel une quantité plus importante de carburant plus froid peut être présente dans le réservoir de carburant et refroidir le carburant renvoyé, la quantité d'huile « de rechange » dans le système de lubrification à remise en circulation peut être beaucoup moins élevée et donc un retour au réservoir entre les composants du moteur et l'entrée au système d'échange de chaleur peut ne pas affecter de manière significative la température.
- [0026] Dans certaines mises en œuvre, l'huile la plus chaude (e.g. Provenant des composants du moteur comportant l'AGB) peut être envoyée directement à un échangeur de chaleur carburant-huile au lieu d'être mélangée à l'huile plus froide dans un réservoir d'huile principal en premier, par exemple de manière à augmenter une montée en température du carburant.
- [0027] L'huile peut avoir une température moyenne allant jusqu'à ou 220 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière. L'huile peut avoir une température moyenne inférieure à 220 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière. Le système d'échange de chaleur peut être contrôlé pour maintenir la température d'huile à l'entrée du système d'échange de chaleur en dessous de 220 °C aux conditions de croisière.
- [0028] On aura à l'esprit que l'huile provenant du système à boucle d'huile primaire peut ne pas être la seule entrée de chaleur au carburant pour atteindre la température de carburant souhaitée, mais que le transfert de chaleur de cette huile peut aider à élever la température de carburant. Par exemple, une chaleur supplémentaire peut être fournie à partir d'un système de lubrification distinct ou d'une partie distincte du système de lubrification globale du moteur (e.g. à l'aide de l'huile utilisée pour lubrifier des

composants ou associée à un générateur d'entraînement intégré dans un système à boucle d'huile secondaire), et/ou d'un échange de chaleur avec des gaz d'échappement.

- [0029] L'huile qui lubrifie le réducteur est alimentée par le système à boucle d'huile primaire, qui peut être un système à boucle fermée. Le système à boucle fermée primaire peut être décrit comme contenant une première huile. Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre un second système à boucle d'huile (secondaire), étant éventuellement un système de lubrification à boucle fermée secondaire, avec une seconde huile agencée pour lubrifier d'autres composants. Les première et seconde huiles peuvent être chimiquement distinctes, ou être chimiquement identiques et simplement séparées physiquement.
- [0030] Le procédé peut comprendre le transfert de chaleur de la seconde huile au carburant (directement ou indirectement) pour aider à élever la température de carburant à une moyenne d'au moins 135 °C à l'entrée de la chambre de combustion aux conditions de croisière.
- [0031] L'étape de contrôle du système d'échange de chaleur de manière à élever la température du carburant peut comprendre l'ajustement d'une quantité de carburant (ou d'huile) envoyée à travers au moins l'un de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire et de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (par opposition au contournement de l'échangeur de chaleur respectif).
- [0032] Le système d'échange de chaleur peut comprendre au moins une conduite de contournement agencée pour permettre au carburant (ou à l'huile) de contourner un échangeur de chaleur, ou de multiples échangeurs de chaleur, du système d'échange de chaleur. Le procédé peut comprendre l'ajustement de la quantité de carburant (ou d'huile) envoyée à travers la conduite de contournement en fonction de la température de carburant.
- [0033] Selon un deuxième aspect, un moteur à turbine à gaz pour un aéronef est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0034] 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 ;
- [0035] une soufflante située en amont du cœur de moteur ;
- [0036] un arbre de soufflante ;
- [0037] un réducteur 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 ;
- [0038] un système à boucle d'huile primaire agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier le réducteur ; et

- [0039] un système d'échange de chaleur agencé pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant, le système à boucle d'huile primaire étant agencé de telle sorte que l'huile a une température moyenne d'au moins 180 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière, et dans lequel le système d'échange de chaleur est agencé pour élever la température de carburant à une moyenne d'au moins 135 °C à l'entrée de la chambre de combustion dans des conditions de croisière.
- [0040] 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.
- [0041] 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.
- [0042] Le système d'échange de chaleur peut comprendre plusieurs échangeurs de chaleur. Le système d'échange de chaleur peut comprendre une ou plusieurs pompes, soupapes, conduites de remise en circulation, et/ou conduites de contournement pour permettre de contrôler des écoulements d'huile et/ou de carburant à travers et autour des échangeurs de chaleur de manière à adapter le transfert de chaleur, et ainsi ajuster la viscosité.
- [0043] L'appareil du deuxième aspect peut être utilisé pour mettre en œuvre le procédé du premier aspect, et peut avoir n'importe laquelle des caractéristiques décrites par rapport au premier aspect.
- [0044] Selon un troisième aspect, un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0045] 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 ;
- [0046] une soufflante située en amont du cœur de moteur ;
- [0047] un arbre de soufflante ;
- [0048] un réducteur qui reçoit une entrée depuis l'arbre de cœur et délivre en sortie un entraînement à la soufflante par l'intermédiaire de l'arbre de soufflante ;
- [0049] un système à boucle d'huile primaire agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier le réducteur ; et
- [0050] un système d'échange de chaleur agencé pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant, dans lequel le système à boucle d'huile primaire est agencé de telle sorte que l'huile a une température moyenne d'au moins 180 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière,
- [0051] dans lequel le procédé comprend le contrôle du système d'échange de chaleur de manière à transférer 200 à 600 kJ/m³ de la chaleur au carburant à partir de l'huile dans

des conditions de croisière.

[0052] Le transfert de chaleur au carburant à partir de l'huile peut être utilisé pour contrôler la température d'huile à l'entrée du réducteur. On aura à l'esprit que le refroidissement de l'huile sortant du réducteur peut être utilisé pour permettre le contrôle de la température d'huile à l'entrée du réducteur. Par exemple, le système à boucle d'huile primaire peut être ou comprendre une boucle fermée qui remet en circulation de l'huile, ou peut être conçu autrement tout en présentant un caractère de remise en circulation de telle sorte que l'huile, ayant été refroidie par transfert de chaleur au carburant, est alors renvoyée au réducteur pour refroidir le réducteur. Le refroidissement du réducteur peut donc bénéficier du transfert de chaleur préalable dans le carburant à partir de l'huile. Ainsi, de la chaleur est captée par l'huile dans le réducteur, et au moins une partie de cette chaleur est ensuite transférée au carburant, qui passe à la combustion dans la chambre de combustion. Cela étant, refroidie, l'huile est ensuite remise en circulation vers le réducteur pour assurer un refroidissement supplémentaire. L'homme du métier comprendra que l'huile est généralement remise en circulation à travers un moteur de nombreuses fois, alors que la plupart du carburant ne passe qu'une seule fois.

[0053] Le transfert de chaleur est mesuré par mètre cube du carburant atteignant 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 en amont du système d'échange de chaleur (par exemple dans un réservoir de carburant de l'aéronef). 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.

[0054] Les inventeurs étaient conscients que l'utilisation de carburants différents des carburants à base de kérosène traditionnels, tels que des carburants d'aviation durable, peut permettre de transférer plus de chaleur vers le carburant à partir de l'huile 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 un procédé fournissant un refroidissement d'huile amélioré et/ou un rendement amélioré de combustion de carburant, tel que décrit précédemment en référence au premier aspect. En particulier, le transfert de 200 à 600 kJ par mètre cube de carburant à l'écart de l'huile peut fournir une huile plus froide aux composants du moteur, ce qui permet de les refroidir plus efficacement, et/ou de les refroidir à une température plus basse que autrement.

[0055] Le procédé peut comprendre le transfert de 300 à 500 kJ/m³ de la chaleur au carburant provenant de l'huile à travers le système d'échange de chaleur dans des

conditions de croisière.

- [0056] Le procédé peut comprendre le transfert de 340 à 450 kJ/m³ de la chaleur au carburant provenant de l'huile à travers le système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière.
- [0057] Le procédé peut comprendre le transfert de 350 à 450 kJ/m³ de la chaleur au carburant provenant de l'huile à travers le système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière.
- [0058] Le procédé peut comprendre le transfert de 400 kJ/m³ de la chaleur au carburant provenant de l'huile à travers le système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière.
- [0059] L'huile peut avoir une température moyenne d'au moins 200 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière.
- [0060] L'huile peut avoir une température moyenne allant jusqu'à ou 220 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière. L'huile peut avoir une température moyenne inférieure à 220 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière. Le système d'échange de chaleur peut être contrôlé pour maintenir la température d'huile à l'entrée du système d'échange de chaleur en dessous de 220 °C aux conditions de croisière.
- [0061] L'étape de transfert de la chaleur/contrôle du système d'échange de chaleur peut comprendre l'ajustement d'une quantité de carburant (ou d'huile) envoyée à travers au moins l'un de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire et de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (par opposition au contournement de l'échangeur de chaleur respectif).
- [0062] Le système d'échange de chaleur peut comprendre au moins une conduite de contournement agencée pour permettre au carburant (ou à l'huile) de contourner un échangeur de chaleur, ou de multiples échangeurs de chaleur, du système d'échange de chaleur. Le procédé peut comprendre l'ajustement de la quantité de carburant (ou d'huile) envoyée à travers la conduite de contournement en fonction de la température de carburant.
- [0063] Selon un quatrième aspect, un moteur à turbine à gaz pour un aéronef est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0064] 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 ;
- [0065] une soufflante située en amont du cœur de moteur ;
- [0066] un arbre de soufflante ;
- [0067] un réducteur 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 ;
- [0068] un système à boucle d'huile primaire agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier le réducteur ; et
- [0069] un système d'échange de chaleur agencé pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant, le système à boucle d'huile primaire étant agencé de telle sorte que l'huile a une température moyenne d'au moins 180 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière,
- [0070] 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.
- [0071] Le système d'échange de chaleur peut donc être agencé pour contrôler la température d'huile à l'entrée du réducteur, comme décrit plus en détail ci-dessus par rapport au troisième aspect.
- [0072] 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. Une partie de la chaleur transférée au carburant peut donc provenir d'un réducteur auxiliaire.
- [0073] 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. Une partie de la chaleur transférée au carburant peut donc provenir d'une chambre de palier.
- [0074] Le système d'échange de chaleur peut comprendre plusieurs échangeurs de chaleur. Le système d'échange de chaleur peut comprendre une ou plusieurs pompes, soupapes, conduites de remise en circulation, et/ou conduites de contournement pour permettre de contrôler des écoulements d'huile et/ou de carburant à travers et autour des échangeurs de chaleur de manière à adapter le transfert de chaleur, et ainsi ajuster la viscosité.
- [0075] L'appareil du quatrième aspect peut être utilisé pour mettre en œuvre le procédé du troisième aspect, et peut avoir n'importe laquelle des caractéristiques décrites par rapport au troisième aspect.
- [0076] En outre, n'importe quelle caractéristique des premier ou deuxième aspects peut être utilisée conjointement avec des caractéristiques des troisième et/ou quatrième aspects.
- [0077] Selon un cinquième aspect, un procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0078] 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 ;

- [0079] une soufflante située en amont du cœur de moteur ;
- [0080] un arbre de soufflante ;
- [0081] un réducteur qui reçoit une entrée depuis l'arbre de cœur et délivre en sortie un entraînement à la soufflante par l'intermédiaire de l'arbre de soufflante ;
- [0082] un système à boucle d'huile primaire agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier le réducteur ; et
- [0083] un système d'échange de chaleur agencé pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant, l'huile ayant une température moyenne d'au moins 180 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière,
- [0084] dans lequel le procédé comprend le contrôle du système d'échange de chaleur de manière à abaisser la viscosité de carburant à un maximum de 0,58 mm²/s à l'entrée de la chambre de combustion aux conditions de croisière.
- [0085] La viscosité de carburant entrant dans la chambre de combustion aux conditions de croisière est donc abaissée à une valeur inférieure ou égale à 0,58 mm²/s.
- [0086] Le procédé peut comprendre en outre l'étape consistant à acheminer le carburant d'un réservoir de carburant vers la chambre de combustion par l'intermédiaire du système d'échange de chaleur.
- [0087] Les inventeurs étaient conscients que la viscosité de carburant a un effet sur la manière dont le carburant est distribué et enflammé dans la chambre de combustion (par exemple, une taille de gouttelette des tuyères de pulvérisation de carburant, qui peut impacter le rendement de combustion). La prise en compte de la viscosité de carburant lors de la distribution de carburant à la chambre de combustion, et le contrôle de manière appropriée en faisant varier l'apport de chaleur, peuvent donc fournir une combustion de carburant plus efficace, améliorant les performances de l'aéronef.
- [0088] On aura à l'esprit que l'abaissement de la viscosité trop excessif peut dégrader une efficacité de combustion et/ou avoir une influence préjudiciable sur la lubrification des composants du moteur (e.g., des paliers de pompe) par le carburant. En outre, une faible viscosité de carburant peut augmenter les fuites laminaires au sein de certains composants. On peut donc également choisir une viscosité minimale. Par exemple, le procédé peut comprendre le contrôle du système d'échange de chaleur de telle sorte que la viscosité de carburant reste supérieure à 0,2 mm²/s, 0,25 mm²/s, 0,3 mm² / s, 0,35 mm²/s, ou 0,4 mm²/s à l'entrée dans la chambre de combustion aux conditions de croisière.
- [0089] Le procédé peut comprendre le transfert de chaleur au carburant à partir de l'huile avant que le carburant entre dans la chambre de combustion de façon à abaisser la viscosité de carburant à entre 0,58 mm²/s et 0,30 mm²/s à l'entrée dans la chambre de combustion aux conditions de croisière.

- [0090] Le procédé peut comprendre le transfert de chaleur au carburant à partir de l'huile avant que le carburant entre dans la chambre de combustion de façon à abaisser la viscosité de carburant à entre 0,50 mm²/s et 0,35 mm²/s, ou entre 0,48 mm²/s et 0,40 mm²/s, ou entre 0,44 mm²/s et 0,42 mm²/s à l'entrée dans la chambre de combustion aux conditions de croisière.
- [0091] Le procédé peut comprendre le transfert de chaleur au carburant à partir de l'huile avant que le carburant entre dans la chambre de combustion de façon à abaisser la viscosité de carburant à un maximum de 0,57, 0,56, 0,55, 0,54, 0,53, 0,52, 0,51, 0,50, 0,49, 0,48, 0,47, 0,46, 0,45, 0,44, 0,43, 0,42, 0,41, 0,40, 0,39, 0,38, 0,37, 0,36, 0,35, 0,34, 0,33, 0,32, 0,31 ou 0,30 mm²/s ou moins à l'entrée dans la chambre de combustion aux conditions de croisière.
- [0092] L'huile peut avoir une température moyenne d'au moins 200 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière.
- [0093] L'huile peut avoir une température moyenne allant jusqu'à ou 220 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière. L'huile peut avoir une température moyenne inférieure à 220 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière. Le système d'échange de chaleur peut être contrôlé pour maintenir la température d'huile à l'entrée du système d'échange de chaleur en dessous de 220 °C aux conditions de croisière.
- [0094] L'étape de contrôle du système d'échange de chaleur de manière à abaisser la viscosité du carburant peut comprendre l'ajustement d'une quantité de carburant (ou d'huile) envoyée à travers au moins l'un de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire et de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (par opposition au contournement de l'échangeur de chaleur respectif).
- [0095] Le système d'échange de chaleur peut comprendre au moins une conduite de contournement agencée pour permettre au carburant (ou à l'huile) de contourner un échangeur de chaleur, ou de multiples échangeurs de chaleur, du système d'échange de chaleur. Le procédé peut comprendre l'ajustement de la quantité de carburant (ou d'huile) envoyée à travers la conduite de contournement en fonction de la température de carburant.
- [0096] Selon un sixième aspect, un moteur à turbine à gaz pour un aéronef est fourni, le moteur à turbine à gaz comprenant :
- [0097] 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 ;
- [0098] une soufflante située en amont du cœur de moteur ;
- [0099] un arbre de soufflante ;
- [0100] un réducteur 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 ;

- [0101] un système à boucle d'huile primaire agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier le réducteur ; et
- [0102] un système d'échange de chaleur agencé pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant, le système à boucle d'huile primaire étant agencé de telle sorte que l'huile a une température moyenne d'au moins 180 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière,
- [0103] dans lequel le système d'échange de chaleur est agencé pour transférer de la chaleur de l'huile au carburant de manière à abaisser la viscosité de carburant à un maximum de 0,58 mm²/s à l'entrée dans la chambre de combustion aux conditions de croisière.
- [0104] 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.
- [0105] 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.
- [0106] Le système d'échange de chaleur peut comprendre plusieurs échangeurs de chaleur. Le système d'échange de chaleur peut comprendre une ou plusieurs pompes, soupapes, conduites de remise en circulation, et/ou conduites de contournement pour permettre de contrôler des écoulements d'huile et/ou de carburant à travers et autour des échangeurs de chaleur de manière à adapter le transfert de chaleur, et ainsi ajuster la viscosité.
- [0107] L'huile peut avoir une température moyenne de 180 à 230 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière. L'huile peut avoir une température moyenne de 185 à 225 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière. L'huile peut avoir une température moyenne de 190 à 220 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière.
- [0108] L'huile peut avoir une température moyenne d'au moins 50 °C à l'entrée du réducteur aux conditions de croisière. L'huile peut avoir une température moyenne d'au moins 75 °C à l'entrée du réducteur aux conditions de croisière. L'huile peut avoir une température moyenne d'au moins 80 °C, 85 °C, 90 °C, 95 °C, 100 °C, 105 °C, 110 °C, 115 °C ou 120 °C à l'entrée du réducteur aux conditions de croisière.
- [0109] L'huile peut avoir une température moyenne dans la plage de 50 °C à 100 °C à l'entrée du réducteur aux conditions de croisière. L'huile peut avoir une température moyenne dans la plage de 50 °C à 105 °C, 50 °C à 110 °C, 50 °C à 115 °C ou 50 °C à 120 °C à l'entrée du réducteur aux conditions de croisière.

- [0110] L'appareil du sixième aspect peut être utilisé pour mettre en œuvre le procédé du cinquième aspect, et peut avoir n'importe laquelle des caractéristiques décrites par rapport au cinquième aspect.
- [0111] En outre, n'importe quelle caractéristique des premier, deuxième, troisième ou quatrième aspects peut être utilisée conjointement avec des caractéristiques des cinquième et/ou sixième aspects
- [0112] Les caractéristiques ci-dessous peuvent être appliquées à l'un quelconque des aspects ci-dessus.
- [0113] Le système d'échange de chaleur peut comprendre un échangeur de chaleur carburant-huile primaire et un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire. Le carburant peut s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire avant l'écoulement à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire.
- [0114] 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.
- [0115] Au moins sensiblement tout le carburant peut passer à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire.
- [0116] Un rapport du transfert de chaleur de l'huile au carburant pour les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire peut être approximativement entre 70:30 et 90:10. L'échangeur de chaleur carburant-huile primaire peut donc être responsable de 70 à 90 % du transfert de chaleur – il peut être appelé « primaire » car il est responsable de la plupart du transfert de chaleur, i.e. étant la source primaire de chaleur pour chauffer le carburant avant l'entrée dans la chambre de combustion, malgré le fait qu'il soit le second échangeur de chaleur à carburant-huile que le carburant atteint dans certains exemples.
- [0117] Un rapport du transfert de chaleur de l'huile au carburant pour les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire peut être d'approximativement 80:20.
- [0118] 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.
- [0119] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre :
- [0120] un générateur d'entraînement intégré ; et
- [0121] un système à boucle d'huile secondaire agencé pour fournir de l'huile au générateur d'entraînement intégré.
- [0122] Le système d'échange de chaleur peut être agencé pour transférer de la chaleur de

l'huile dans le système à boucle fermée secondaire au carburant.

- [0123] Le système d'échange de chaleur peut comprendre un échangeur de chaleur huile-huile agencé pour transférer la chaleur entre l'huile du système à boucle primaire et l'huile du système à boucle secondaire.
- [0124] Le système à boucle d'huile primaire peut comprendre deux branches à travers lesquelles s'écoule d'huile, pour fournir une configuration d'échangeur de chaleur parallèle, et un échangeur de chaleur air-huile. L'échangeur de chaleur huile-huile peut être sur la même branche que l'échangeur de chaleur air-huile.
- [0125] Dans des mises en œuvre avec un générateur d'entraînement intégré et un système à boucle d'huile secondaire, le système d'échange de chaleur peut comprendre :
- [0126] un échangeur de chaleur carburant-huile primaire agencé pour recevoir le carburant et l'huile du système à boucle d'huile primaire ; et
- [0127] un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire agencé pour recevoir le carburant et l'huile du système à boucle d'huile secondaire
- [0128] Le procédé peut comprendre le transfert de chaleur entre l'huile provenant du système à boucle d'huile secondaire et le carburant en utilisant l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire.
- [0129] Le carburant peut s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire avant l'écoulement à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire, de telle sorte que de la chaleur est transférée de l'huile dans le système à boucle d'huile secondaire au carburant avant que de la chaleur soit transférée de l'huile dans le système à boucle d'huile primaire au carburant.
- [0130] Le contrôle du système d'échange de chaleur peut comprendre l'ajustement d'une quantité de carburant envoyée à travers au moins l'un parmi l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire et l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire.
- [0131] Le système d'échange de chaleur peut comprendre au moins une conduite de contournement agencée pour permettre au carburant de contourner un échangeur de chaleur du système d'échange de chaleur. Le procédé peut comprendre l'ajustement de la quantité de carburant envoyée à travers la conduite de contournement (au lieu de traverser l'échangeur de chaleur correspondant). Cet ajustement peut être effectué en fonction d'une ou plusieurs parmi (i) la température de carburant (e.g., à l'entrée de la chambre de combustion), (ii) la température de l'huile (e.g., à l'entrée ou la sortie du réducteur, à la sortie d'un ou plusieurs autres composants de moteur à lubrifier et/ou refroidir, ou à l'entrée du système d'échange de chaleur), et (iii) la viscosité de carburant (e.g., à l'entrée de la chambre de combustion).
- [0132] Plus de chaleur peut être délivrée à l'huile dans le système à boucle fermée primaire par le réducteur que la sortie à l'huile dans le système à boucle fermée secondaire par le générateur d'entraînement intégré (IDG).

- [0133] On aura à l'esprit que, tandis que le réducteur délivre généralement plus de chaleur en termes de rejet de chaleur absolue, le rejet de chaleur d'un 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.
- [0134] 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.
- [0135] 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.
- [0136] 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.
- [0137] Le système d'échange de chaleur peut comprendre plusieurs échangeurs de chaleur agencés pour refroidir l'huile avant qu'elle ne rentre dans le réducteur.
- [0138] Les multiples échangeurs de chaleur peuvent comporter un échangeur de chaleur carburant-huile et au moins un autre échangeur de chaleur. L'au moins un autre échangeur de chaleur peut être au moins l'un parmi :
- [0139] (i) un échangeur de chaleur air-huile ; et
- [0140] (ii) un échangeur de chaleur huile-huile, ayant un écoulement d'huile provenant d'une source différente s'écoulant à travers celui-ci.
- [0141] Les multiples échangeurs de chaleur peuvent être agencés dans une configuration parallèle. 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 (et éventuellement à travers plusieurs échangeurs de chaleur) sur l'autre branche.

- [0142] Plusieurs échangeurs de chaleur carburant-huile peuvent être prévus.
- [0143] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre un échangeur de chaleur huile-huile. L'échangeur de chaleur huile-huile peut former une partie du système d'échange de chaleur du moteur, et d'un ou plusieurs systèmes d'huile à boucle fermée du moteur.
- [0144] Le système à boucle fermée primaire et le système à boucle fermée secondaire 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.
- [0145] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre en outre un générateur d'entraînement intégré, et un système d'huile à boucle fermée secondaire, dans lequel le système à boucle fermée secondaire est agencé pour fournir de l'huile au générateur d'entraînement intégré, et dans lequel le système d'échange de chaleur est agencé pour transférer de la chaleur de l'huile dans le système à boucle fermée secondaire au carburant.
- [0146] Le réducteur peut être un réducteur de puissance. Le réducteur de puissance peut comprendre un ou plusieurs engrenages. Le réducteur de puissance peut comprendre un ou plusieurs paliers lisses. L'huile (et en particulier, l'huile dans un système à boucle fermée primaire d'un système d'huile à remise en circulation tel que décrit ci-dessous) peut lubrifier et refroidir le ou les paliers lisses du réducteur.
- [0147] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre un ou plusieurs échangeurs de chaleur carburant-huile. Le ou les échanges de chaleurs carburant-huile peuvent former tout ou partie du système d'échange de chaleur. Le moteur à turbine à gaz peut comprendre deux échangeurs de chaleur carburant-huile ou plus. En variante ou en complément, un fluide de transfert de chaleur intermédiaire (ou autre substance) peut être utilisé pour l'échange de chaleur entre l'huile et le carburant – par exemple, un échangeur de chaleur huile-fluide de travail et un échangeur de chaleur carburant-fluide de travail physiquement séparé mais connecté fluidiquement peuvent être utilisés à la place d'un échangeur de chaleur carburant-huile direct. Le fluide de travail peut donc jouer le rôle de liquide de refroidissement pour l'huile, puis transférer cette chaleur au carburant.
- [0148] L'aéronef comprend un système d'alimentation en carburant agencé pour alimenter en carburant un ou plusieurs moteurs de l'aéronef. Le système d'alimentation en carburant peut comprendre une pompe à réservoir de carburant qui peut être une pompe basse pression, agencée pour fournir du carburant à partir d'un ou plusieurs réservoirs de carburant à un moteur à turbine à gaz, pour alimenter le moteur à turbine à gaz. La pompe à réservoir de carburant peut être associée à un réservoir de carburant. La pompe à réservoir de carburant peut être décrite comme faisant partie d'un système d'alimentation en carburant, mais pas une partie du moteur à turbine à gaz lui-même.

La pompe à réservoir de carburant est située en amont du moteur à turbine à gaz.

- [0149] La pompe à réservoir de carburant peut être conçue pour pomper du carburant depuis le réservoir de carburant vers le moteur, et plus précisément vers un premier échangeur de chaleur carburant-huile du moteur. La pompe à réservoir de carburant est située avant, ou en amont, du moteur, et donc également en amont du ou des échangeurs de chaleur du moteur.
- [0150] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre une pompe à carburant moteur conçue pour pomper un écoulement de carburant reçu du réservoir vers la chambre de combustion.
- [0151] La pompe à carburant moteur est située en aval de la pompe à réservoir de carburant. La pompe à carburant moteur peut être décrite comme une pompe à carburant principale. La pompe à carburant moteur peut être située en aval d'un ou plusieurs échangeurs de chaleur du système d'échange de chaleur, et éventuellement peut être en aval de l'échangeur de chaleur unique, ou de tous les échangeurs de chaleur, le long du trajet d'écoulement de carburant.
- [0152] Une ou plusieurs pompes à carburant peuvent être situées au niveau de n'importe quel(s) emplacement(s) approprié(s) le long du trajet d'écoulement de carburant depuis le réservoir de carburant vers la chambre de combustion. Dans certains exemples, une ou plusieurs pompes à carburant supplémentaires peuvent être présentes, en plus de la pompe à réservoir de carburant et de la pompe à carburant moteur décrites ci-dessus. La pompe à carburant moteur peut être située au niveau de n'importe quelle position appropriée par rapport à la pompe à réservoir de carburant et au ou aux échangeur(s) de chaleur.
- [0153] Aux conditions de croisière, un écoulement d'huile entrant dans le ou chaque échangeur de chaleur carburant-huile peut avoir une température moyenne plus élevée que le carburant entrant dans cet 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 chaque échangeur de chaleur carburant-huile dans des conditions de croisière. À ce titre, le carburant sortant du ou de chaque échangeur de chaleur carburant-huile peut avoir une température plus élevée que le carburant entrant dans cet échangeur de chaleur carburant-huile, aux conditions de croisière. L'homme du métier comprendra que des échangeurs de chaleur peuvent être conçus de toute manière appropriée pour permettre le transfert d'énergie thermique entre deux écoulements de fluides séparés.
- [0154] Le moteur à turbine à gaz peut être conçu de telle sorte que l'écoulement de carburant s'écoule du premier échangeur de chaleur carburant-huile vers un second échangeur de chaleur carburant-huile. Dans d'autres exemples, un troisième, quatrième ou tout nombre approprié d'autres échangeurs de chaleur carburant-huile sont présents.

De cette manière, dans différents exemples, un ou plusieurs échangeurs de chaleur carburant-huile peuvent être agencés en aval de la pompe à réservoir de carburant/sur le trajet de l'écoulement de carburant à travers le moteur.

- [0155] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre un générateur d'entraînement intégré. Le générateur d'entraînement intégré peut comprendre un générateur électrique apte à alimenter un ou plusieurs systèmes d'aéronef en énergie, tels que des pompes à carburant et/ou hydraulique.
- [0156] Dans certaines mises en œuvre, le moteur peut comprendre deux échangeurs de chaleur carburant-huile. Le premier échangeur de chaleur carburant-huile atteint par le carburant peut utiliser de l'huile qui refroidit et/ou lubrifie un générateur d'entraînement intégré (IDG), et peut donc être décrit comme un échangeur de chaleur carburant-huile de générateur d'entraînement intégré (IDG). Le second échangeur de chaleur carburant-huile atteint par le carburant peut utiliser de l'huile qui refroidit et/ou lubrifie un réducteur principal du moteur, et peut donc être décrit comme un échangeur de chaleur carburant-huile principal. Généralement, l'échangeur de chaleur carburant-huile principal peut transférer plus de chaleur à l'huile que l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG, et peut donc être qualifié d'échangeur de chaleur primaire. L'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG peut être qualifié d'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire en conséquence.
- [0157] Le carburant peut s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG puis s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal. L'huile qui s'écoule à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG peut être utilisée pour refroidir et/ou lubrifier l'IDG. L'huile qui s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal peut être utilisée pour refroidir et/ou lubrifier le réducteur de puissance.
- [0158] Une ou plusieurs soupapes de carburant peuvent être présentes le long du trajet d'écoulement de carburant, dans lequel chaque soupape peut être exploitable pour contrôler un débit de carburant à travers celle-ci.
- [0159] L'ensemble de l'écoulement de carburant peut traverser l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (IDG). L'ensemble du carburant peut traverser l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (principal).
- [0160] Dans d'autres exemples, au moins une partie du carburant peut ne pas traverser 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.
- [0161] Le système d'huile à boucle fermée primaire (également dénommé système à boucle d'huile primaire) peut faire partie d'un système de lubrification à remise en circulation

du moteur. Le système à boucle fermée primaire peut être conçu pour alimenter un flux de remise en circulation d'huile vers le réducteur principal du moteur. Un ou plusieurs des échangeurs de chaleur carburant-huile peuvent être agencés pour avoir de l'huile qui traverse le réducteur principal dedans, et peuvent donc être décrits comme faisant partie du système à boucle fermée primaire. L'échangeur de chaleur carburant-huile primaire peut faire partie du système à boucle fermée primaire.

- [0162] Le système de lubrification à remise en circulation peut être qualifié de système de gestion de chaleur d'huile.
- [0163] Le système à boucle fermée primaire peut comprendre au moins une première pompe à huile conçue pour pomper un écoulement d'huile autour d'au moins une partie du système de lubrification à remise en circulation. La première pompe à huile peut être située à une position appropriée quelconque autour du système à boucle fermée primaire du système de lubrification à remise en circulation. Le système à boucle fermée primaire peut être conçu de telle sorte que l'écoulement d'huile s'écoule à travers le réducteur principal de manière à lubrifier et/ou refroidir un ou plusieurs composants (e.g. des engrenages du réducteur et/ou des paliers lisses) et est ensuite recueillie 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.
- [0164] Le premier réservoir d'huile peut être approprié pour contenir un volume d'huile. Le premier réservoir d'huile peut être conçu pour contenir l'un quelconque volume approprié d'huile. Le premier réservoir d'huile peut être agencé pour éliminer les gaz de l'huile dans le premier réservoir d'huile. L'huile sortant du premier réservoir d'huile peut traverser un filtre, une crépine ou analogue.
- [0165] Une seconde pompe à huile peut être située entre le premier réservoir d'huile et le premier échangeur de chaleur carburant-huile. 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 le premier échangeur de chaleur carburant-huile.
- [0166] Dans certaines mises en œuvre, l'écoulement d'huile dans le système à boucle fermée primaire peut être dévié pour s'écouler le long de trajets d'écoulement parallèles de telle sorte qu'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 un autre échangeur de chaleur, séparé, tel qu'un échangeur de chaleur huile-huile ou un échangeur de chaleur air-huile, par exemple.
- [0167] Le procédé peut consister à transférer au moins 40 % de la chaleur perdue de l'huile au carburant, avec le reste de la chaleur transférée de l'huile à l'air, ou à l'huile de la boucle d'huile secondaire décrite ci-après. Le procédé peut comprendre le transfert

d'au moins 50 %, 60 % ou 70 % de la chaleur perdue à partir de l'huile au carburant, avec le reste de la chaleur transférée de l'huile à l'air ou à un écoulement d'huile différent.

- [0168] L'échangeur de chaleur carburant-huile primaire utilise de l'huile du système à boucle fermée primaire pour chauffer le carburant/utilise du carburant pour refroidir l'huile du système à boucle fermée primaire.
- [0169] Le système de lubrification à remise en circulation peut comprendre un système à boucle fermée secondaire. Les systèmes à boucle fermée primaire et secondaire peuvent être isolés fluidiquement de telle sorte que l'huile ne se mélange jamais entre les deux.
- [0170] Le système à boucle fermée secondaire peut être conçu pour alimenter un flux de remise en circulation d'huile vers l'IDG du moteur. Un ou plusieurs des échangeurs de chaleur carburant-huile du système d'échange de chaleur peuvent être décrits comme faisant partie du système à boucle fermée secondaire. Un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire peut faire partie du second système à boucle fermée.
- [0171] Dans des exemples où le moteur à turbine à gaz comprend deux échangeurs de chaleur carburant-huile, l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire peut recevoir un écoulement d'huile provenant du système à boucle fermée primaire et l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire peut recevoir un écoulement d'huile du système à boucle fermée secondaire. Différentes huiles, séparées, peuvent donc s'écouler à travers chaque système à boucle fermée. Les deux huiles peuvent ou non avoir la même composition – elles peuvent être chimiquement distinctes – et peuvent avoir ou non le même débit.
- [0172] Le système à boucle fermée secondaire peut comprendre un second réservoir d'huile. Une autre pompe de récupération peut être conçue pour pomper de l'huile d'un second carter au second réservoir d'huile. Une autre pompe d'alimentation peut être conçue pour pomper un écoulement d'huile provenant du second réservoir d'huile. Le système à boucle fermée secondaire peut comprendre un agencement similaire, ou différent, de soupapes, de filtres et similaires au système à boucle fermée primaire.
- [0173] L'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire utilise de l'huile du système à boucle fermée secondaire pour chauffer le carburant/utilise du carburant pour refroidir l'huile du système à boucle fermée secondaire.
- [0174] Le système à boucle fermée primaire et le système à boucle fermée secondaire 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. De cette manière, un écoulement d'huile dans un système à boucle fermée ayant une température moyenne inférieure peut être utilisé pour refroidir un écoulement d'huile dans l'autre système à boucle fermée ayant une température

moyenne supérieure.

- [0175] On aura à l'esprit que, dans des exemples dans lesquels un système à boucle fermée primaire fournit une huile pour lubrifier un réducteur principal, et facultativement également des paliers lisses supportant le ou les arbres principaux d'un moteur à turbine à gaz d'aéronef, et un système à boucle fermée secondaire fournit de l'huile pour lubrifier un réducteur de générateur d'entraînement intégré, plus de chaleur peut être délivrée dans l'huile dans le système à boucle fermée primaire que dans l'huile dans le système à boucle fermée secondaire. Dans certains exemples, un débit d'huile peut être inférieur à travers l'IDG qu'à travers le réducteur de puissance, de telle sorte que la température d'huile à la sortie du réducteur de puissance peut être identique ou inférieure à celle de l'huile sortant de l'IDG. Toutefois, dans de nombreux exemples, l'huile sortant du réducteur de puissance peut être plus chaude que celle sortant de l'IDG.
- [0176] L'écoulement de carburant s'écoule de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire vers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire. De cette manière, l'écoulement de carburant s'écoule depuis l'échangeur de chaleur carburant-huile de générateur d'entraînement intégré vers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal. De cette manière, la chaleur peut être transférée de l'huile secondaire au carburant avant que la chaleur ne soit transférée de l'huile qui lubrifie le réducteur au carburant.
- [0177] Aux conditions de croisière, la température moyenne de l'écoulement d'huile s'écoulant à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile de générateur d'entraînement intégré peut être inférieure à la température moyenne de l'écoulement d'huile s'écoulant à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal. 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.
- [0178] Aux conditions de croisière, 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 du ou des échangeur(s) de chaleur peut avoir une température plus basse que l'huile entrant dans le ou les échangeur(s) de chaleur dans des conditions de croisière.
- [0179] Le moteur à turbine à gaz peut comprendre un ou plusieurs échangeurs de chaleur air-huile. Le ou les échangeurs de chaleur air-huile peuvent être décrits comme faisant

partie du système de lubrification à remise en circulation.

- [0180] Un ou plusieurs échangeurs de chaleur air-huile peuvent être agencés en parallèle avec un ou plusieurs des échangeurs de chaleur carburant-huile de telle sorte qu'au moins une partie de l'écoulement d'huile s'écoule à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile et au moins une partie de l'écoulement d'huile s'écoule à travers le ou les échangeurs de chaleur air-huile.
- [0181] Dans le cas où les systèmes à boucle fermée primaire et/ou secondaire comprennent au moins un échangeur de chaleur carburant-huile et au moins un échangeur de chaleur air-huile, au moins une partie de l'écoulement d'huile peut ne pas s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile et/ou l'échangeur de chaleur air-huile. La partie peut être réglable.
- [0182] Par exemple, lorsqu'au moins un échangeur de chaleur carburant-huile et au moins un échangeur de chaleur air-huile sont fournis en série d'écoulement, au moins un contournement d'écoulement peut être conçu pour permettre à au moins une partie de l'écoulement d'huile de contourner et donc de ne pas s'écouler à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile et/ou l'échangeur de chaleur air-huile.
- [0183] Lorsqu'au moins un échangeur de chaleur carburant-huile et au moins un échangeur de chaleur air-huile sont prévus en parallèle, le système de lubrification à remise en circulation peut être conçu de telle sorte que tout pourcentage approprié d'huile s'écoule à travers chacun des échangeurs de chaleur carburant-huile et air-huile. Des conduites de contournement peuvent également être prévues.
- [0184] 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.
- [0185] Un moteur à turbine à gaz en conformité avec 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).
- [0186] 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.

- [0187] Dans le cas où le moteur à turbine à gaz est un moteur à rotor ouvert ou à turbo-propulseur, un ou plusieurs parmi les étages d'hélice peuvent être entraînés par un réducteur. Le réducteur peut être du type décrit ici.
- [0188] 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 second arbre de cœur reliant la seconde turbine au compresseur. La seconde turbine, le compresseur et le second 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.
- [0189] 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).
- [0190] 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 relient des turbines et des compresseurs, par exemple un, deux ou trois arbres. À titre d'exemple uniquement, la turbine reliée à l'arbre de cœur peut être une première turbine, le compresseur relié à l'arbre de cœur peut être un premier compresseur, et l'arbre de cœur peut être un premier arbre de cœur. Le cœur de moteur peut comprendre en outre une seconde turbine, un second compresseur et un second arbre de cœur raccordant la seconde turbine au second compresseur. La seconde turbine, le second compresseur et le second arbre de cœur peuvent être agencés pour tourner à une vitesse de rotation plus élevée que le premier arbre de cœur.

[0191] Dans un tel agencement, le second compresseur peut être positionné axialement en aval du premier compresseur. Le second compresseur peut être agencé pour recevoir (par exemple recevoir directement, par exemple par l'intermédiaire d'un conduit généralement annulaire) un flux depuis le premier compresseur.

[0192] 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 second 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 second arbres dans l'exemple ci-dessus.

[0193] 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.

[0194] Le réducteur peut avoir n'importe quel rapport de réduction souhaité (défini comme la vitesse de rotation de l'arbre d'entrée divisée par la vitesse de rotation de l'arbre de sortie), par exemple supérieur à 2,5, par exemple dans la plage de 3 à 4,2 ou de 3,2 à 3,8, par exemple de l'ordre de ou d'au moins 3, 3,1, 3,2, 3,3, 3,4, 3,5, 3,6, 3,7, 3,8, 3,9, 4, 4,1 ou 4,2. Le rapport d'engrenage peut être, par exemple, entre deux quelconques des valeurs dans la phrase précédente. Strictement à titre d'exemple, le réducteur peut être un réducteur en « étoile » ayant un rapport 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, le réducteur peut être un réducteur « planétaire » ayant un rapport de réduction dans la plage de 3,6 à 4,2. Dans certains agencements, le rapport d'engrenage peut être à l'extérieur de ces plages.

[0195] 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) second compresseur, lorsqu'un second 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 seconde turbine, lorsqu'une seconde turbine est fournie. La chambre de combustion peut être fournie en amont de la ou des turbine(s).

[0196] Le ou chaque compresseur (par exemple le premier compresseur et le second 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 »).

[0197] La ou chaque turbine (par exemple la première turbine et la seconde 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.

[0198] 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 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.

[0199] 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.

[0200] 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.

[0201] 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).

[0202] 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.

[0203] 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.

[0204] 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.

[0205] 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 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.

[0206] 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.

[0207] 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).

[0208] 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.

[0209] 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.

[0210] 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.

[0211] 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.

[0212] 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.

[0213] 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.

[0214] 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.

- [0215] 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.
- [0216] 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.
- [0217] 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.
- [0218] 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.

- [0219] 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.
- [0220] 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.
- [0221] 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.
- [0222] 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 di-

minution relative de l'altitude est requise, et qui peut nécessiter une demande de poussée réduite du moteur.

- [0223] 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.
- [0224] 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).
- [0225] 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.
- [0226] 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.
- [0227] Des modes de réalisation vont maintenant être décrits à titre d'exemple uniquement, en référence aux Figures, sur lesquelles :
- [0228] [Fig.1] est une vue latérale en coupe d'un moteur à turbine à gaz ;
- [0229] [Fig.2] est une vue latérale en coupe rapprochée d'une partie amont d'un moteur à turbine à gaz ;
- [0230] [Fig.3] est une vue partiellement écorchée d'un réducteur pour un moteur à turbine à gaz ;
- [0231] [Fig.4] montre un exemple d'aéronef comprenant deux moteurs à turbine à gaz ;
- [0232] [Fig.5] est une représentation schématique d'un exemple de système de carburant ;
- [0233] [Fig.6] est une représentation schématique d'une partie d'un exemple de système de lubrification à remise en circulation ;
- [0234] [Fig.7] est une représentation schématique d'une autre partie d'un exemple de système de lubrification à remise en circulation ;
- [0235] [Fig.8] est une représentation schématique d'une partie d'un exemple de système de lubrification à remise en circulation.
- [0236] [Fig.9] est une représentation schématique d'un exemple de système de carburant et un exemple de système de lubrification à remise en circulation ;
- [0237] [Fig.10] est une représentation schématique d'un exemple de système de lubrification

à remise en circulation ;

[0238] [Fig.11] est un exemple de procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz ;

[0239] [Fig.12] est un exemple de procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz ;
et

[0240] [Fig.13] est un exemple de procédé de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz.

[0241] La [Fig.1] illustre un moteur à turbine à gaz 10 ayant un axe de rotation principal 9. Le moteur 10 comprend une admission d'air 12 et une soufflante de propulsion 23 qui génère deux flux d'air : un flux d'air de cœur A et un flux d'air de contournement B. Le moteur à turbine à gaz 10 comprend un cœur 11 qui reçoit le flux d'air de cœur 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.

[0242] 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.

[0243] 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.

[0244] Il convient de noter que les termes « turbine basse pression » et « compresseur basse pression » tels qu'ils sont utilisés ici peuvent être pris pour indiquer les étages de turbine de plus basse pression et les étages de compresseur de plus basse pression (c'est-à-dire ne 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 (c'est-à-dire ne comportant 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.

[0245] Le réducteur épicycloïdal 30 est montré à titre d'exemple de façon plus détaillée sur la [Fig.3]. Chacun parmi l'engrenage solaire 28, les engrenages satellites 32 et la couronne dentée 38 comprend des dents autour de sa périphérie pour s'engrener avec les autres engrenages. Cependant, pour la clarté, seules des parties données à titre d'exemple des dents sont illustrées sur la [Fig.3]. Il y a quatre engrenages satellites 32 illustrés, bien qu'il sera apparent au lecteur spécialiste que plus ou moins d'engrenages satellites 32 puissent être fournis dans le champ d'application de l'invention revendiquée. Des applications pratiques d'un réducteur épicycloïdal planétaire 30 comprennent généralement au moins trois engrenages satellites 32.

[0246] Le réducteur épicycloïdal 30 illustré à titre d'exemple sur les Figures 2 et 3 est du type planétaire, en ce que le porte-satellites 34 est couplé à un arbre de sortie par l'intermédiaire de liaisons 36, avec la couronne dentée 38 fixe. Cependant, n'importe quel autre type approprié de réducteur épicycloïdal 30 peut être utilisé. À titre d'exemple supplémentaire, le réducteur épicycloïdal 30 peut être un agencement en étoile, dans lequel le porte-satellites 34 est maintenu fixe, avec la couronne (ou anneau) dentée 38 autorisée à tourner. Dans un tel agencement, la soufflante 23 est entraînée par la couronne dentée 38. À titre d'autre exemple alternatif, le réducteur 30 peut être un réducteur différentiel dans lequel la couronne dentée 38 et le porte-sa-

tellites 34 sont l'un et l'autre autorisés à tourner.

- [0247] On aura à l'esprit que l'agencement montré sur les Figures 2 et 3 est à titre d'exemple uniquement, et que diverses alternatives sont dans le champ d'application de la présente description. Strictement à titre d'exemple, n'importe quel agencement approprié peut être utilisé pour positionner le réducteur 30 dans le moteur 10 et/ou pour relier le réducteur 30 au moteur 10. À titre d'exemple supplémentaire, les connexions (telles que les liaisons 36, 40 sur l'exemple de la [Fig.2]) entre le réducteur 30 et d'autres parties du moteur 10 (telles que l'arbre d'entrée 26, l'arbre de sortie (e.g. 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].
- [0248] 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.
- [0249] Éventuellement, le réducteur peut entraîner des composants supplémentaires et/ou alternatifs (par exemple le compresseur à pression intermédiaire et/ou un surpresseur).
- [0250] 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.
- [0251] 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.

- [0252] 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.
- [0253] 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.
- [0254] 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 per-

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.

- [0255] 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 environ 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.
- [0256] 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, tandis 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 incluant) 100 % de carburant d'aviation durable (SAF) seront finalement approuvés pour une utilisation.
- [0257] 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 (e.g., 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.
- [0258] 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 inférieure ; des émissions de suie inférieure ; et, des émissions de CO₂ inférieures, par rapport à des combustibles hydrocarbonés à base fossile (e. g., 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.

- [0259] Tel que représenté sur la [Fig.4], un aéronef 1 peut comprendre plusieurs réservoirs de carburant 50, 53 ; par exemple un réservoir de carburant primaire plus grand 50 situé dans le fuselage d'aéronef, et un réservoir de carburant plus petit 53a, 53b situé dans chaque aile. Dans d'autres exemples, un aéronef 1 peut ne comporter qu'un seul réservoir de carburant 50, et/ou les réservoirs de carburant d'aile 53 peuvent être plus grands que le réservoir de carburant central 50, ou aucun réservoir de carburant central ne peut être prévu (avec tout le carburant au lieu d'être stocké dans les ailes de l'aéronef) – on comprendra que de nombreux agencements de réservoir différents sont envisagés et que les exemples qui ont été illustrés sont prévus dans un souci de facilité de description et non destinés à être limitatifs.
- [0260] 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 à bord de l'aéronef 1. Le système d'alimentation en carburant des exemples illustrés comprend une seule source de carburant 50, 53.
- [0261] 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.
- [0262] 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 inter-

connectés 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.

- [0263] 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]. Le système de carburant 1000 comprend à la fois le système d'alimentation en carburant (comprenant un ou plusieurs réservoirs 50, 53, et une pompe à carburant 1002) agencé pour fournir du carburant à partir de la ou des sources de carburant 50, 53 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.
- [0264] 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. Dans la mise en œuvre illustrée, le carburant s'écoule depuis le réservoir de carburant 50 à travers un échangeur de chaleur carburant-huile de générateur d'entraînement intégré (IDG) 1004 avant de s'écouler à travers un échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006. Les deux échangeurs de chaleur 1004, 1006 font partie du système d'échange de chaleur du moteur 1004, 1006. Le système d'échange de chaleur 1004, 1006 peut comprendre un ou plusieurs échangeurs de chaleur supplémentaires et/ou d'autres composants, ainsi que des liaisons de fluide (e.g. conduites) entre les composants du système d'échange de chaleur.
- [0265] À partir de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006, le carburant s'écoule 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. La pompe à carburant moteur 1003 pompe le carburant vers la chambre de combustion 16. L'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006, qui est également dénommé échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1006, peut avoir de l'huile utilisée pour lubrifier et/ou refroidir un réducteur principal 30 du moteur à turbine à gaz 10 le traversant, et peut donc être décrit comme un échangeur de chaleur carburant-huile principal. L'huile passant à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1006 peut en outre être utilisée pour refroidir et/ou lubrifier un ou plusieurs autres composants du moteur 33, tels qu'un réducteur auxiliaire 33. L'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 peut avoir

de l'huile utilisée pour lubrifier et/ou refroidir un ou plusieurs composants d'un générateur d'entraînement intégré 2006 passant à travers celui-ci, et peut donc être décrit comme un échangeur de chaleur carburant-huile de générateur d'entraînement intégré.

- [0266] Dans l'exemple représenté sur la [Fig.5], une boucle de remise en circulation 6010, 6011 est également représentée, comprenant une soupape de remise en circulation 6010 située en aval de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1006 et la pompe à carburant moteur 1003, et agencée pour remettre en circulation au moins une partie du carburant sortant de la pompe 1003 en retour vers l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1006, permettant un transfert de chaleur supplémentaire entre l'huile du système à boucle primaire et le carburant. La soupape de remise en circulation 6010 peut déterminer quelle proportion du carburant est remise en circulation, et quelle proportion continue vers la chambre de combustion 16. La conduite de remise en circulation 6011 retourne le carburant remis en circulation vers un point sur le trajet d'écoulement en amont à la fois de la pompe principale 1003 et de l'échangeur de chaleur primaire 1006, de telle sorte que le carburant remis en circulation traverse ces deux composants une fois supplémentaire. Dans d'autres exemples, cette boucle de remise en circulation peut ne pas être présente.
- [0267] Dans la mise en œuvre décrite, l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 et l'échangeur de chaleur carburant-huile IDG 1004 sont conçus de sorte qu'un flux de carburant est acheminé à travers ceux-ci. De manière générale, au moins la majorité du carburant qui traverse l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 passe également à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006, bien que chaque échangeur de chaleur 1004, 1006 puisse être pourvu d'un contournement pour permettre à une partie du carburant d'éviter de traverser l'échangeur de chaleur respectif. Les deux échangeurs de chaleur 1004, 1006 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 1004 et l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 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 1004, 1006 sont donc dans des systèmes à boucle fermée séparés 2000, 2000', par rapport à l'écoulement d'huile, comme illustré sur les Figures 6 et 7, dans la mise en œuvre qui est décrite.
- [0268] L'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 et l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 sont 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 1006 et d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 est supérieure à la température moyenne du carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 et l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 respectivement. De cette manière, l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 et l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 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.

- [0269] L'aéronef 1 comprend un système de lubrification à remise en circulation agencé pour alimenter de l'huile pour lubrifier et éliminer la chaleur d'une pluralité de composants. 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 décrits ci-dessus. Un exemple d'un système d'huile à boucle fermée secondaire 2000 est représenté schématiquement sur la [Fig.6]. Le système d'huile à boucle fermée secondaire 2000 est décrit d'abord car c'est le premier système d'huile avec lequel le carburant interagit à l'entrée du moteur 10.
- [0270] Le système d'huile à boucle fermée secondaire 2000 comprend un réservoir d'huile 2002 approprié pour contenir un volume d'huile. Dans certaines mises en œuvre, les gaz sont éliminés de l'huile au sein du réservoir d'huile 2002 par un dé-aérateur.
- [0271] 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 1004 (l'échangeur de chaleur secondaire 1004). La température moyenne de l'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004, aux conditions de croisière, est supérieure à la température moyenne de carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004. Dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 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 d'IDG 1004 est inférieure à la température moyenne de l'écoulement d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004. De cette manière également, la température moyenne du carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 est supérieure à la température moyenne de carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004.
- [0272] 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.

- [0273] 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 second carter 2008 en retour dans le réservoir d'huile 2002, prête à être réutilisée.
- [0274] Dans des mises en œuvre alternatives, les composants peuvent être agencés différemment. Par exemple, l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 peut être situé immédiatement après l'IDG 2006, ou sur le trajet d'écoulement de l'huile entre le second carter 2008 et le réservoir d'huile 2002 (plutôt qu'après le réservoir d'huile). Un transfert de chaleur dans le carburant à partir de l'huile plus important peut être obtenu dans de tels agencements, car la perte de chaleur de l'huile vers l'environnement dans le carter 2008 et/ou le réservoir 2002 peut être réduite. Dans des mises en œuvre dans lesquelles l'échangeur de chaleur 1004 refroidit l'huile sur un point du trajet de l'écoulement d'huile peu après sa sortie de l'IDG 2006 (plutôt que peu de temps avant de rentrer dedans), les pompes à huile 2004, 2010 peuvent être munies de températures de fonctionnement plus basses, ce qui pourrait améliorer leur longévité (bien qu'une augmentation correspondante des viscosités de l'huile pour l'huile plus froide puisse contrebalancer cela dans certaines mises en œuvre, selon les types de pompe et d'huile). On aura à l'esprit que le système d'huile à boucle fermée 2000 représenté est donc illustré à titre d'exemple uniquement, et que divers ordres alternatifs sont envisagés.
- [0275] Un système d'huile à boucle fermée à boucle fermée primaire 2000' (le second à être atteint par le carburant) comprend un second réservoir d'huile 2002' approprié pour contenir un volume d'huile, comme illustré sur la [Fig.7]. Dans certaines mises en œuvre, les gaz sont éliminés de l'huile au sein du second réservoir d'huile 2002' par un dé-aérateur.
- [0276] Une seconde pompe d'alimentation 2004' est conçue pour pomper de l'huile du second réservoir d'huile 2002' à l'échangeur de chaleur carburant-huile principal (primaire) 1006. La température moyenne de l'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006, aux conditions de croisière, est supérieure à la température moyenne du carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006. Dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 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 principal 1006 est inférieure à la température moyenne de l'écoulement d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006, 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 1006 est supérieure à la température moyenne de carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006.

[0277] 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.

[0278] 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 (e.g. 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.

[0279] 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. Un ou plusieurs paliers lisses peuvent être associés aux engrenages 28, 32, 38. L'huile peut être utilisée pour lubrifier les paliers lisses, et augmente généralement en température de façon significative en utilisation dans des conditions de croisière, de manière à aider à refroidir les paliers lorsque l'écoulement d'huile transporte la chaleur à l'écart des paliers.

[0280] 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, e.g. 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.

[0281] 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.

- [0282] À partir du réducteur de puissance 30 et de n'importe quels autres composants de moteur 33 refroidis par l'huile du système d'huile à boucle fermée à boucle fermée primaire 2000', l'huile est collectée dans un second carter 2008'. Une seconde pompe de récupération 2010' est conçue pour pomper de l'huile du second carter 2008' en retour dans le second réservoir d'huile 2002', prête à être réutilisée. Le carter 2008' peut être un seul carter, ou être composé d'une pluralité de carters séparés, par exemple chacun pour chacun des différents composants 30, 33. De manière similaire au ou aux carters, plusieurs pompes de récupération peuvent être utilisées dans certaines mises en œuvre.
- [0283] Comme pour le système à boucle d'huile secondaire 2000 décrit précédemment, on aura à l'esprit que des agencements de composant peuvent varier entre des mises en œuvre.
- [0284] La [Fig.8] représente schématiquement un système d'huile à boucle fermée primaire 2000' alternatif à celui illustré sur la [Fig.7], comprenant un écoulement d'huile à ramification. Dans ce système, 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 1006 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 1006. Le trajet d'écoulement d'huile peut être qualifié de ramification, avec l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 sur une branche et le premier échangeur de chaleur air-huile 2020 sur l'autre branche, dans une configuration parallèle de telle sorte que l'huile puisse s'écouler par l'intermédiaire d'une branche ou l'autre, mais la même partie d'huile ne peut pas passer par les deux sur le même cycle – l'écoulement se divise. Les écoulements d'huile sont ensuite recombinaés et acheminés vers le réducteur de puissance 30 et tout autre composant de moteur 33 à refroidir/lubrifier par l'huile. 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 1006. Dans certains exemples, la soupape 2016' est exploitable pour faire varier l'écoulement d'huile vers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 et le premier échangeur de chaleur air-huile 2020.
- [0285] Dans divers exemples, on peut prévoir un échangeur de chaleur huile-huile (non représenté), par exemple étant agencé en série avec le premier échangeur de chaleur air-huile 2020 sur cette branche de la division parallèle. L'échangeur de chaleur huile-

huile peut permettre un échange de chaleur entre les systèmes d'huile à boucle fermée primaire et secondaire.

- [0286] On aura également à l'esprit que dans des exemples n'importe lesquels des échangeurs de chaleur carburant-huile peuvent être agencés en série ou en parallèle avec un ou plusieurs échangeurs de chaleur air-huile et/ou échangeurs de chaleur huile-huile.
- [0287] La [Fig.9] montre schématiquement un exemple d'agencement et une interaction du système d'huile à boucle fermée secondaire 2000, du système d'huile à boucle fermée primaire 2000', et du système de carburant 1000.
- [0288] Le système d'huile à boucle fermée secondaire 2000 de cet exemple d'agencement est agencé généralement comme illustré sur la [Fig.6] (à l'exception de la conduite de contournement 1005 optionnelle qui n'est pas représentée ici). Le système d'huile à boucle fermée primaire 2000' de cet exemple d'agencement est agencé comme illustré sur la [Fig.7]. Le système de carburant 1000 de cet exemple d'agencement est agencé comme illustré sur la [Fig.5], mais sans la boucle de remise en circulation 6010, 6011. L'écoulement d'huile est illustré avec des lignes noires fines et l'écoulement de carburant avec des lignes noires plus épaisses.
- [0289] 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 1004. Le système d'huile à boucle fermée secondaire 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 1004.
- [0290] Aux conditions de croisière, la température moyenne de l'écoulement d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 est supérieure à la température moyenne de l'écoulement de carburant entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004. L'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 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 1004 est inférieure à la température moyenne de l'écoulement d'huile à l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004. De la même manière, la température moyenne de l'écoulement de carburant à la sortie de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 est supérieure à la température moyenne de l'écoulement de carburant à l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004.
- [0291] Aux conditions de croisière, la température moyenne de l'écoulement d'huile entrant dans l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 est supérieure à la température moyenne de l'écoulement de carburant entrant dans l'échangeur de chaleur

carburant-huile principal 1006. L'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 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 1006 est inférieure à la température moyenne de l'écoulement d'huile à l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006. De la même manière, la température moyenne de l'écoulement de carburant à la sortie de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 est supérieure à la température moyenne de l'écoulement de carburant à l'entrée de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006.

- [0292] Aux conditions de croisière, la température moyenne de l'écoulement d'huile s'écoulant à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 peut être inférieure à la température moyenne de l'écoulement d'huile s'écoulant à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006. 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.
- [0293] Après écoulement à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006, le carburant s'écoule vers la chambre de combustion 16 du moteur à turbine à gaz 10.
- [0294] Dans certains exemples, la chaleur transférée de l'huile au carburant dans le système d'échange de chaleur 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.
- [0295] Dans certains exemples, la chaleur transférée de l'huile au carburant dans le système d'échange de chaleur peut élever la température de carburant à une moyenne de 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.
- [0296] 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.
- [0297] Dans certains exemples, la chaleur transférée de l'huile au carburant dans le système d'échange de chaleur peut être de 200 à 600 kJ/m³ aux conditions de croisière (mesurée par mètre cube du carburant atteignant la chambre de combustion).
- [0298] Dans certains exemples, la chaleur transférée de l'huile au carburant avant que le carburant entre dans la chambre de combustion peut abaisser la viscosité de carburant à entre 0,58 mm²/s et 0,30 mm²/s à l'entrée de la chambre de combustion 16 dans des conditions de croisière.
- [0299] Dans certains exemples, la chaleur transférée de l'huile au carburant avant que le carburant entre dans la chambre de combustion peut abaisser la viscosité de carburant

entre 0,50 mm² s et 0,35 mm²/s, ou entre 0,48 mm²/s et 0,40 mm²/s, ou entre 0,44 mm² / s et 0,42 mm²/s à l'entrée de la chambre de combustion 16 dans des conditions de croisière.

- [0300] Dans certains exemples, la chaleur transférée de l'huile au carburant avant que le carburant entre dans la chambre de combustion peut abaisser la viscosité de carburant à 0,57, 0,56, 0,55, 0,54, 0,53, 0,52, 0,51, 0,50, 0,49, 0,48, 0,47, 0,46, 0,45, 0,44, 0,43, 0,42, 0,41, 0,40, 0,39, 0,38, 0,37, 0,36, 0,35, 0,34, 0,33, 0,32, 0,31 ou 0,30 mm²/s ou moins à l'entrée dans la chambre de combustion 16 aux conditions de croisière.
- [0301] La [Fig.10] montre schématiquement un exemple de configuration du système d'huile à boucle fermée secondaire 2000 et du système d'huile à boucle fermée primaire 2000' où les deux écoulements indépendants de remise en circulation d'huile sont amenés en relation d'échange de chaleur à travers un échangeur de chaleur huile-huile 2030.
- [0302] Le système d'huile à boucle fermée secondaire 2000 de cet exemple d'agencement est agencé comme illustré sur la [Fig.6], mais avec un échangeur de chaleur huile-huile 2030 en parallèle avec l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1004, et une soupape supplémentaire 2016. Le système d'huile à boucle fermée primaire 2000' de cet exemple d'agencement est agencé comme illustré sur la [Fig.8]. Le système de carburant 1000 de cet exemple d'agencement est agencé comme illustré sur la [Fig.5], mais sans la boucle de remise en circulation 6010, 6011. L'écoulement d'huile est illustré avec des lignes noires minces.
- [0303] Dans l'exemple illustré sur la [Fig.10], le système d'huile à boucle fermée secondaire 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 1004 et l'échangeur de chaleur huile-huile 2030, l'échangeur de chaleur huile-huile 2030 étant agencé en parallèle de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004. Dans d'autres exemples, l'échangeur de chaleur huile-huile 2030 peut plutôt être en série avec l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire 1004, et l'écoulement d'huile secondaire peut ne pas se ramifier, et donc aucune telle soupape 2016 ne peut être fournie.
- [0304] Dans des exemples, toute partie appropriée de l'écoulement d'huile peut être déviée entre l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 et l'échangeur de chaleur huile-huile 2030. Dans des exemples, la soupape 2016 est exploitable pour dévier une partie fixe de l'écoulement d'huile vers chacun de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 et l'échangeur de chaleur huile-huile 2030. Dans d'autres exemples, la soupape 2016 est exploitable pour dévier une partie variable de l'écoulement d'huile vers chacun de l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 et l'échangeur de

chaleur huile-huile 2030. La division d'huile peut être variée en fonction de la sortie d'un ou plusieurs capteurs – e.g., des capteurs de viscosité ou de température de carburant et/ou des capteurs de température d'huile.

- [0305] 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.
- [0306] L'écoulement d'huile au sein du système d'huile à boucle fermée secondaire 2000 est agencé pour être amené en une relation d'échange de chaleur avec l'écoulement séparé d'huile au sein du système d'huile à boucle fermée primaire 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 système d'huile à boucle fermée secondaire 2000 ne se mélange pas avec l'écoulement d'huile au sein du système d'huile à boucle fermée primaire 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, de 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.
- [0307] Le système d'huile à boucle fermée primaire 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 soupape 2016'. La soupape 2016' est exploitable pour dévier au moins une partie de l'écoulement d'huile à la fois de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 et d'un premier échangeur de chaleur air-huile 2020, où le premier échangeur de chaleur air-huile 2020 est en série avec l'échangeur de chaleur huile-huile 2030, et l'agencement d'échangeur de chaleur air-huile 2020 et huile-huile 2030 est agencé en parallèle avec l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006.
- [0308] Dans des exemples, toute partie appropriée de l'écoulement d'huile peut être divisée entre l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 et le premier échangeur de chaleur air-huile 2020. Dans des exemples, la soupape 2016' est exploitable pour dévier une partie fixe de l'écoulement d'huile vers chacun de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 et du premier échangeur de chaleur air-huile 2020. Dans d'autres exemples, la soupape 2016' est exploitable pour dévier une partie variable de l'écoulement d'huile vers chacun de l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006 et du premier échangeur de chaleur air-huile 2020. La division d'huile (c'est-à-dire la proportion qui descend de chaque branche de l'agencement parallèle) peut à nouveau être variée en fonction de la sortie d'un ou plusieurs capteurs – e.g., des capteurs de viscosité ou de température de carburant et/ou des capteurs de température d'huile.

- [0309] Après l'écoulement à travers les échangeurs de chaleur, l'écoulement d'huile est ensuite acheminé vers le réducteur de puissance 30 et/ou d'autres composants de moteur 33 puis vers le second carter 2008'. La seconde pompe de récupération 2010 pompe alors l'huile du second carter 2008' au second réservoir d'huile 2002', pour réutilisation.
- [0310] Les inventeurs étaient conscients qu'une sélection et un contrôle soigneux du carburant en fonction de paramètres tels que la viscosité et la température peuvent affecter l'efficacité de la combustion, en particulier par rapport à la performance de pulvérisation de la tuyère de carburant au sein de la chambre de combustion (e. g. taille et distribution des gouttelettes), et/ou améliorer la longévité des composants (e.g., en réduisant le fluage et/ou l'endommagement en raison de différents coefficients de dilatation thermique des composants sur le cyclage thermique en cours d'utilisation, et réduisant le dépôt des produits de décomposition thermique du carburant à l'intérieur de la pompe qui peut entraîner des blocages, ce qui entraîne une dégradation de l'écoulement de distribution sur la durée de vie de la pompe). En utilisant le carburant pour absorber plus de chaleur de l'huile, plutôt que de s'appuyer sur le transfert de chaleur de l'huile vers l'environnement/air (e.g., dans l'échangeur de chaleur air-huile) on fournit un moteur à turbine 10 plus performant thermiquement. La température maximale réduite à laquelle la pompe est exposée peut réduire le fluage, réduire les dommages thermiques aux composants tels que les joints d'étanchéité, et/ou réduire les dommages sur le cyclage résultant de différentes dilatations thermiques de composants de pompe différents, 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 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. Cependant, l'augmentation de la température de carburant peut fournir des effets bénéfiques tels que la combustion améliorée dans certaines mises en œuvre, et un équilibre approprié peut donc être choisi – un échange de chaleur entre l'huile et le carburant peut donc être ajusté de manière appropriée pour atteindre les caractéristiques souhaitées en croisière.

- [0311] La [Fig.11] illustre un exemple de procédé 11000 d'un moteur à turbine à gaz 10. Le procédé 11000 comprend les étapes consistant à :
- [0312] Étape 11100 : Acheminement du carburant du réservoir de carburant 50 vers la chambre de combustion 16 par l'intermédiaire du système d'échange de chaleur.
- [0313] Le moteur à turbine à gaz 10 comprend un système à boucle d'huile primaire 2000' agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier et/ou refroidir le réducteur 30 et facultativement également d'autres composants de moteur 33, l'huile ayant une température moyenne d'au moins 180 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière (après avoir obtenu de la chaleur provenant du réducteur principal 30 et facultativement également des autres composants de moteur 33), et le système d'échange de chaleur est agencé pour transférer de la chaleur de l'huile (et facultativement également d'une ou plusieurs sources supplémentaires) au carburant.
- [0314] Étape 11200 : Contrôle du système d'échange de chaleur de manière à transférer la chaleur de l'huile au carburant, de manière à élever la température de carburant à une moyenne d'au moins 135 °C à l'entrée de la chambre de combustion dans des conditions de croisière.
- [0315] L'étape 11200 peut également être décrite comme le transfert 11200 de chaleur de l'huile au carburant, à l'aide du système d'échange de chaleur 1004, 1006, de façon à élever la température de carburant jusqu'à une moyenne d'au moins 135 °C à l'entrée de la chambre de combustion 16 aux conditions de croisière.
- [0316] Dans divers mises en œuvre telles qu'abordées précédemment, le contrôle 11200 du système d'échange de chaleur peut comprendre le contrôle de l'écoulement de carburant à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire 1006, 1004.
- [0317] 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 1006 peut être remise en circulation vers l'échangeur de chaleur primaire 1006 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.

- [0318] En variante ou en complément, l'écoulement de carburant peut être contrôlé à l'aide d'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 e.g. la conduite de contournement 1005 illustrée sur la [Fig.6] et agencée pour permettre au carburant de contourner l'échangeur de chaleur secondaire 1004.
- [0319] 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).
- [0320] Le contrôle 11200 du système d'échange de chaleur peut comprendre le contrôle de l'écoulement d'huile à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire 1006, 1004, et/ou par l'intermédiaire d'un ou plusieurs autres échangeurs de chaleur – e.g. un échangeur de chaleur huile-huile 2030 entre des systèmes d'huile à boucle fermée séparés ou un échangeur de chaleur air-huile 2020.
- [0321] En complément ou alternativement, comme pour l'écoulement de carburant, l'écoulement d'huile peut être contrôlé en utilisant 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.
- [0322] Le système d'échange de chaleur peut comprendre un contrôleur agencé pour mettre en œuvre ce contrôle. Le contrôleur peut recevoir des entrées provenant d'un ou plusieurs capteurs de température, et peut contrôler une ou plusieurs soupapes (e.g. 2016, 2016' comme illustré sur la [Fig.10]), et/ou la pompe 1003, en fonction des données reçues.
- [0323] Ce contrôle actif peut être effectué en fonction d'un ou plusieurs paramètres tels que :
- [0324] • Vitesse d'arbre de cœur et demande de poussée du moteur ;
 - [0325] • Température actuelle du carburant et/ou température de l'huile de carburant au niveau d'un ou plusieurs emplacements ;
 - [0326] • Valeur calorifique de carburant ;
 - [0327] • Viscosité de carburant ;
 - [0328] • Débit de carburant vers la chambre de combustion (couramment dénommé WFE - poids d'écoulement de carburant de moteur principal) ;
 - [0329] • Vitesse de rotation de soufflante ; et
 - [0330] • Vitesse de pompe à carburant principale/moteur, ou options de vitesse.

- [0331] Dans des exemples alternatifs, le contrôle de la quantité de carburant sortant de l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire 1006 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.
- [0332] Les inventeurs sont également conscients qu'un contrôle rigoureux du transfert de chaleur de l'huile dans le carburant pourrait permettre d'utiliser plus efficacement des carburants plus récents, d'ajuster des paramètres dans des conditions de croisière pour améliorer l'efficacité de la combustion et/ou améliorer la longévité du composant, et permettre un refroidissement d'huile plus efficace, comme abordé précédemment.
- [0333] La [Fig.12] illustre un exemple de procédé 12000 d'un moteur à turbine à gaz 10. Le procédé 12000 comprend les étapes consistant à :
- [0334] Étape 12100 : Acheminement du carburant du réservoir de carburant 50 vers la chambre de combustion 16 par l'intermédiaire du système d'échange de chaleur.
- [0335] Le moteur à turbine à gaz 10 comprend un système à boucle d'huile primaire 2000' agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier et/ou refroidir le réducteur 30 et facultativement également d'autres composants de moteur 33, tels qu'un AGB, l'huile ayant une température moyenne d'au moins 180 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur dans des conditions de croisière (après avoir obtenu de la chaleur provenant du réducteur principal 30 et facultativement également des autres composants de moteur 33), et le système d'échange de chaleur est agencé pour transférer de la chaleur de l'huile (et facultativement également d'une ou plusieurs sources supplémentaires) au carburant à mesure que le carburant s'écoule du réservoir de carburant 50 et vers la chambre de combustion 16.
- [0336] Comme abordé par rapport à la [Fig.5], le système de carburant 1000 peut comprendre un échangeur de chaleur carburant-huile principal (primaire) 1006 et un échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG (secondaire) 1004 agencés pour transférer de la chaleur à un écoulement de carburant. Le système de carburant 1000 peut être agencé pour que le carburant atteigne l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 avant l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006.
- [0337] Étape 12200 : Contrôle du système d'échange de chaleur de manière à transférer 200 à 600 kJ/m³ de la chaleur (par mètre cube de carburant atteignant la chambre de combustion) au carburant à partir de l'huile dans des conditions de croisière. Cette étape 12200 peut être utilisée pour contrôler la température d'huile à l'entrée du réducteur 30.
- [0338] L'étape 12200 peut également être décrite comme le transfert 12200 de 200 à 600 kJ/m³ de la chaleur au carburant à partir de l'huile, à travers le système

d'échange de chaleur 1004, 1006, aux conditions de croisière de façon à contrôler la température d'huile à l'entrée du réducteur 30.

- [0339] Le transfert de chaleur peut être obtenu dans un ou plusieurs échangeurs de chaleur carburant-huile (bien que l'on aura à l'esprit qu'un fluide caloporteur intermédiaire pourrait être utilisé dans certaines mises en œuvre plutôt qu'un transfert de chaleur direct de l'huile au carburant).
- [0340] Dans divers mises en œuvre telles qu'abordées précédemment, le contrôle 12200 du système d'échange de chaleur peut comprendre le contrôle de l'écoulement de carburant à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire 1006, 1004.
- [0341] Le contrôle du système d'échange de chaleur peut être ou comprendre sensiblement les mêmes mécanismes de contrôle que décrits par rapport à l'étape 11200 du procédé 11000 de la [Fig.11].
- [0342] Le procédé de la [Fig.12] peut être utilisé conjointement avec le procédé de la [Fig.11].
- [0343] Les inventeurs sont également conscients qu'une sélection et un contrôle soigneux du carburant en fonction de paramètres tels que la viscosité peuvent affecter l'efficacité de la combustion, en particulier par rapport à la performance de pulvérisation de la tuyère de carburant au sein de la chambre de combustion. La performance de pulvérisation de la tuyère de carburant affecte l'efficacité de combustion du carburant tel que mentionné ci-dessus, ainsi l'efficacité du moteur peut être améliorée avec la sélection de la viscosité souhaitée. En outre, le contrôle rigoureux de la viscosité de carburant peut également améliorer les performances de la pompe, et potentiellement améliorer la longévité de la pompe – par exemple, un fluide de plus faible viscosité peut placer moins de contrainte sur la pompe pour le même taux de pompage.
- [0344] La [Fig.13] illustre un exemple de procédé 13000 d'un moteur à turbine à gaz 10. Le procédé 13000 comprend les étapes consistant à :
- [0345] Étape 13100 : Acheminement du carburant du réservoir de carburant 50 vers la chambre de combustion 16 par l'intermédiaire du système d'échange de chaleur.
- [0346] Le moteur à turbine à gaz 10 comprend un système à boucle d'huile primaire 2000' agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier et/ou refroidir le réducteur 30 et facultativement également d'autres composants de moteur 33, l'huile ayant une température moyenne d'au moins 180 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur aux conditions de croisière, et le système d'échange de chaleur est agencé pour transférer de la chaleur de l'huile (et facultativement également d'une ou plusieurs sources supplémentaires) au carburant.
- [0347] Comme abordé par rapport à la [Fig.5], le système de carburant 1000 peut comprendre un échangeur de chaleur carburant-huile principal (primaire) 1006 et un

échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG (secondaire) 1004 agencés pour transférer de la chaleur à un écoulement de carburant. Le système de carburant 1000 peut être agencé pour que le carburant atteigne l'échangeur de chaleur carburant-huile d'IDG 1004 avant l'échangeur de chaleur carburant-huile principal 1006.

- [0348] Étape 13200 : Contrôle du système d'échange de chaleur de manière à abaisser la viscosité de carburant à un maximum de $0,58 \text{ mm}^2/\text{s}$ à l'entrée de la chambre de combustion aux conditions de croisière.
- [0349] L'étape 13200 peut également être décrite comme le transfert de chaleur 13200 de l'huile au carburant, à l'aide du système d'échange de chaleur 1004, 1006, de manière à abaisser la viscosité de carburant à une valeur inférieure ou égale à $0,58 \text{ mm}^2/\text{s}$ à l'entrée de la chambre de combustion 16 dans des conditions de croisière.
- [0350] Dans divers mises en œuvre telles qu'abordées précédemment, le contrôle 13200 du système d'échange de chaleur peut comprendre le contrôle de l'écoulement de carburant à travers les échangeurs de chaleur carburant-huile primaire et secondaire 1006, 1004.
- [0351] Le contrôle 13200 du système d'échange de chaleur peut être ou comprendre sensiblement les mêmes mécanismes de contrôle que décrits par rapport à l'étape 11200 du procédé 11000 décrit par rapport à la [Fig.11].
- [0352] Le procédé 13000 de la [Fig.13] peut être utilisé conjointement avec le procédé de la [Fig.11] et/ou le procédé de la [Fig.12].
- [0353] 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 comporte toutes les combinaisons et sous-combinaisons d'une ou plusieurs caractéristiques décrites ici.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé (13000) de fonctionnement d'un moteur à turbine à gaz (10), le moteur à turbine à gaz (10) comprenant :
- un cœur de moteur (11) comprenant une turbine (19), un compresseur (14), une chambre de combustion (16) agencée pour brûler un carburant, et un arbre de cœur (26) reliant la turbine au compresseur ;
 - une soufflante (23) située en amont du cœur de moteur (11) ;
 - un arbre de soufflante (42) ;
 - un réducteur principal (30) qui reçoit une entrée provenant de l'arbre de cœur (26) et délivre en sortie un entraînement à la soufflante (23) par l'intermédiaire de l'arbre de soufflante (42) ;
 - un système à boucle d'huile primaire (2000') agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier le réducteur principal (30) ; et
 - un système d'échange de chaleur (1004, 1006) agencé pour transférer la chaleur entre l'huile et le carburant, l'huile ayant une température moyenne d'au moins 180 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur (1004, 1006) dans des conditions de croisière, dans lequel le procédé (13000) comprend le contrôle (13200) du système d'échange de chaleur (1004, 1006) de manière à abaisser la viscosité de carburant à un maximum de 0,58 mm²/s à l'entrée de la chambre de combustion (16) dans des conditions de croisière.
- [Revendication 2] Procédé (13000) selon la revendication 1, dans lequel le procédé comprend le transfert (13200) de chaleur de l'huile au carburant de manière à abaisser la viscosité de carburant à entre 0,30 mm²/s et 0,58 mm²/s à l'entrée de la chambre de combustion (16) dans des conditions de croisière.
- [Revendication 3] Procédé (13000) selon la revendication 1, dans lequel le moteur à turbine à gaz (10) comprend en outre :
- un générateur d'entraînement intégré (2006) ; et
 - un système à boucle d'huile secondaire (2000) agencé pour fournir de l'huile au générateur d'entraînement intégré ;
 - dans lequel le système d'échange de chaleur (1004, 1006) comprend un échangeur de chaleur huile-huile (2030) agencé pour transférer la chaleur entre l'huile du système à boucle primaire (2000') et l'huile du système à boucle secondaire (2000).
- [Revendication 4] Procédé (13000) selon la revendication 3, dans lequel le système à boucle d'huile primaire (2000') comprend deux branches à travers

lesquelles l'huile s'écoule, pour fournir une configuration d'échangeur de chaleur parallèle, et un échangeur de chaleur air-huile (2020), et dans lequel l'échangeur de chaleur huile-huile (2030) est sur la même branche que l'échangeur de chaleur air-huile (2020).

[Revendication 5]

Procédé (13000) selon la revendication 1, dans lequel le moteur à turbine à gaz (10) comprend en outre :

un générateur d'entraînement intégré (2006) ; et

un système à boucle d'huile secondaire (2000) agencé pour fournir de l'huile au générateur d'entraînement intégré ;

et le système d'échange de chaleur (1004, 1006) comprend :

un échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1006) agencé pour recevoir le carburant et l'huile du système à boucle d'huile primaire (2000') ; et

un échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1004) agencé pour recevoir le carburant et l'huile du système à boucle d'huile secondaire (2000) ;

et dans lequel le procédé (13000) comprend le transfert (13200) de chaleur entre l'huile provenant du système à boucle d'huile secondaire (2000) et le carburant à l'aide de l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1004).

[Revendication 6]

Procédé (13000) selon la revendication 5, dans lequel le carburant s'écoule à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile secondaire (1004) avant l'écoulement à travers l'échangeur de chaleur carburant-huile primaire (1006), de telle sorte que de la chaleur est transférée de l'huile dans le système à boucle d'huile secondaire (2000) au carburant avant que de la chaleur soit transférée de l'huile dans le système à boucle d'huile primaire (2000') au carburant.

[Revendication 7]

Procédé (13000) selon la revendication 1, dans lequel le système d'échange de chaleur (1004, 1006) comprend au moins une conduite de contournement (1005) agencée pour permettre au carburant de contourner un échangeur de chaleur du système d'échange de chaleur, et dans lequel le procédé (13000) comprend l'ajustement de la quantité de carburant envoyée à travers la conduite de contournement (1005) au lieu de à travers l'échangeur de chaleur (1004, 1006).

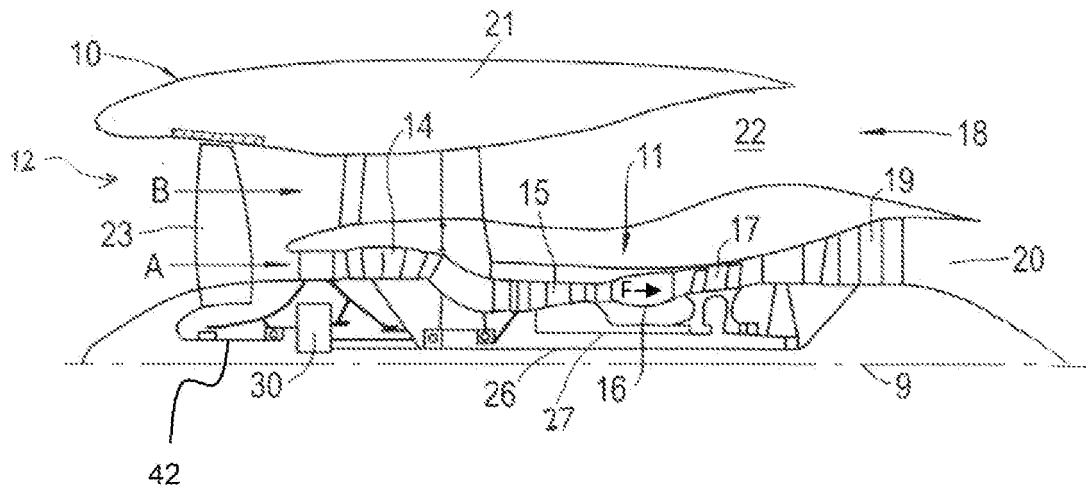
[Revendication 8]

Procédé (13000) selon la revendication 5, dans lequel plus de chaleur est délivrée dans l'huile dans le système à boucle fermée primaire (2000') par le réducteur principal que la sortie d'huile dans le système à boucle fermée secondaire (2000) par le générateur d'entraînement

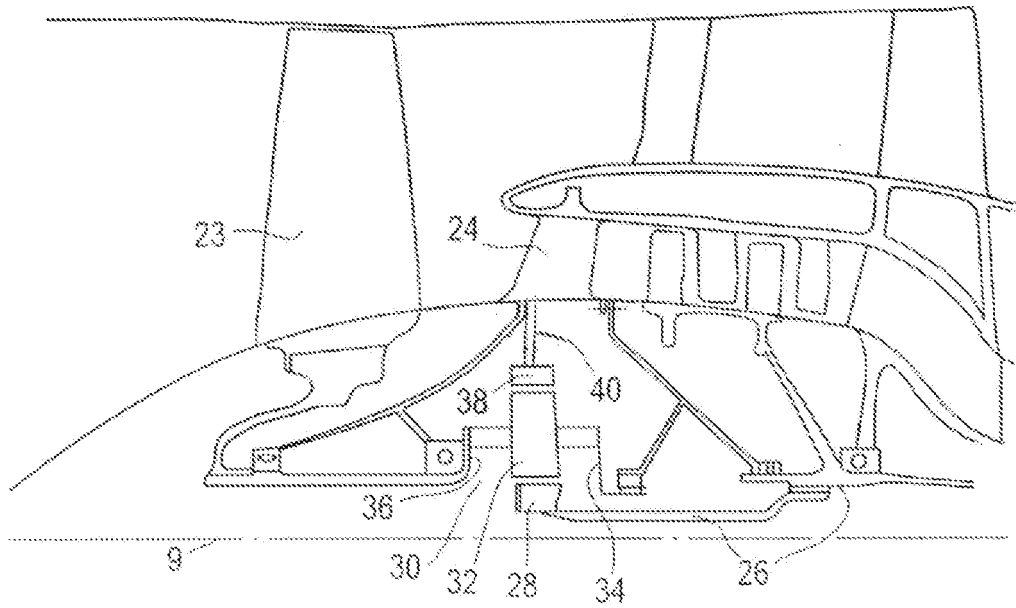
- intégré (2006).
- [Revendication 9] Procédé (13000) selon la revendication 1, dans lequel le système d'échange de chaleur (1004, 1006) comprend de multiples échangeurs de chaleur agencés pour refroidir l'huile, et dans lequel les multiples échangeurs de chaleur comportent un échangeur de chaleur carburant-huile (1006) et au moins un autre échangeur de chaleur et sont agencés dans une configuration parallèle et le procédé comprend 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 (1006) et la quantité d'huile qui s'écoule à travers un échangeur de chaleur sur l'autre branche.
- [Revendication 10] Procédé (13000) selon la revendication 4, dans lequel le système à boucle fermée primaire (2000') et le système à boucle fermée secondaire (2000) sont conçus pour interagir par l'intermédiaire d'au moins un échangeur de chaleur huile-huile (2030) de telle sorte que de la chaleur peut être transférée d'un écoulement d'huile à l'autre.
- [Revendication 11] 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 turbine (19), un compresseur (14), une chambre de combustion (16) agencée pour brûler un carburant, et un arbre de cœur (26) reliant la turbine au compresseur ;
 - une soufflante (23) située en amont du cœur de moteur (11) ;
 - un arbre de soufflante (42) ;
 - un réducteur principal (30) agencé pour recevoir une entrée provenant de l'arbre de cœur (26) et délivrer en sortie un entraînement à la soufflante (23) par l'intermédiaire de l'arbre de soufflante (42) ;
 - un système à boucle d'huile primaire (2000') agencé pour fournir de l'huile pour lubrifier le réducteur principal (30) ; et
 - un système d'échange de chaleur (1004, 1006) agencé pour transférer de la chaleur entre l'huile et le carburant, le système à boucle d'huile primaire (2000') étant agencé de telle sorte que l'huile a une température moyenne d'au moins 180 °C à l'entrée du système d'échange de chaleur (1004, 1006) dans des conditions de croisière, et dans lequel le système d'échange de chaleur (1004, 1006) est agencé pour transférer de la chaleur de l'huile au carburant de manière à abaisser la viscosité de carburant à un maximum de 0,58 mm²/s à l'entrée de la chambre de combustion (16) dans des conditions de

- croisière.
- [Revendication 12] Moteur à turbine à gaz (10) selon la revendication 11, dans lequel le système d'échange de chaleur (1004, 1006) est agencé pour transférer de la chaleur de l'huile au carburant de manière à abaisser la viscosité de carburant entre 0,40 mm²/s et 0,48 mm²/s à l'entrée de la chambre de combustion (16) dans des conditions de croisière.
- [Revendication 13] Moteur à turbine à gaz (10) selon la revendication 11, comprenant en outre un générateur d'entraînement intégré (2006) et un système d'huile à boucle fermée secondaire (2000), dans lequel le système à boucle fermée secondaire est agencé pour fournir de l'huile au générateur d'entraînement intégré, et dans lequel le système d'échange de chaleur (1004, 1006) est agencé pour transférer de la chaleur de l'huile dans le système à boucle fermée secondaire (2000) au carburant.
- [Revendication 14] Moteur à turbine à gaz (10) selon la revendication 11, dans lequel le système d'échange de chaleur (1004, 1006) comprend de multiples échangeurs de chaleur agencés pour refroidir l'huile, les multiples échangeurs de chaleur comportant un échangeur de chaleur carburant-huile (1006) et au moins l'un parmi :
- (i) un échangeur de chaleur air-huile (2020) ; et
 - (ii) un échangeur de chaleur huile-huile (2030), ayant un écoulement d'huile provenant d'une source différente s'écoulant à travers celui-ci.
- [Revendication 15] Moteur à turbine à gaz (10) selon la revendication 13, comprenant en outre au moins un échangeur de chaleur huile-huile (2030), et dans lequel le système à boucle fermée primaire (2000') et le système à boucle fermée secondaire (2000) sont conçus pour interagir par l'intermédiaire de l'au moins un échangeur de chaleur huile-huile (2030) de telle sorte que de la chaleur peut être transférée d'un écoulement d'huile à l'autre.

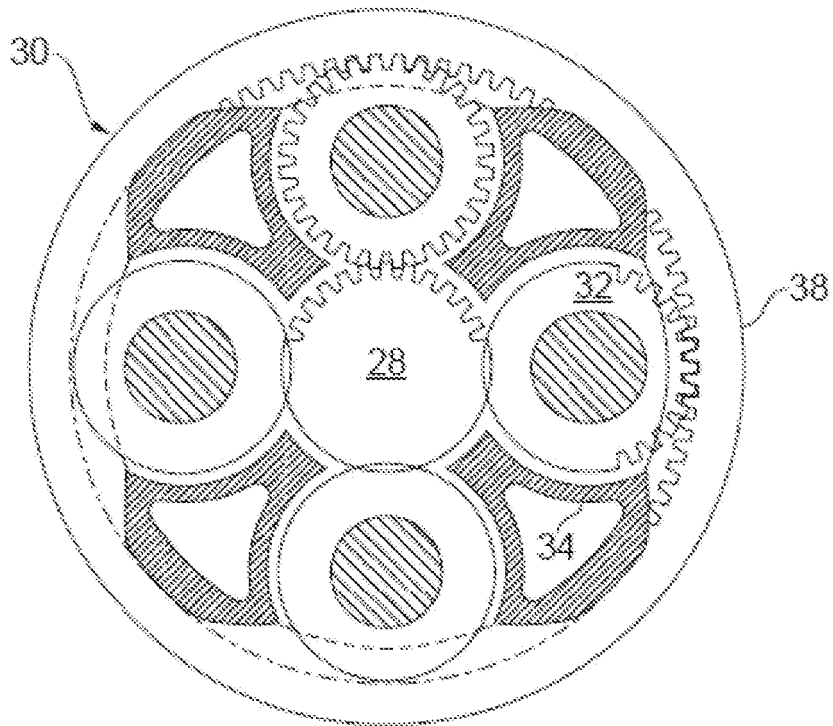
[Fig. 1]



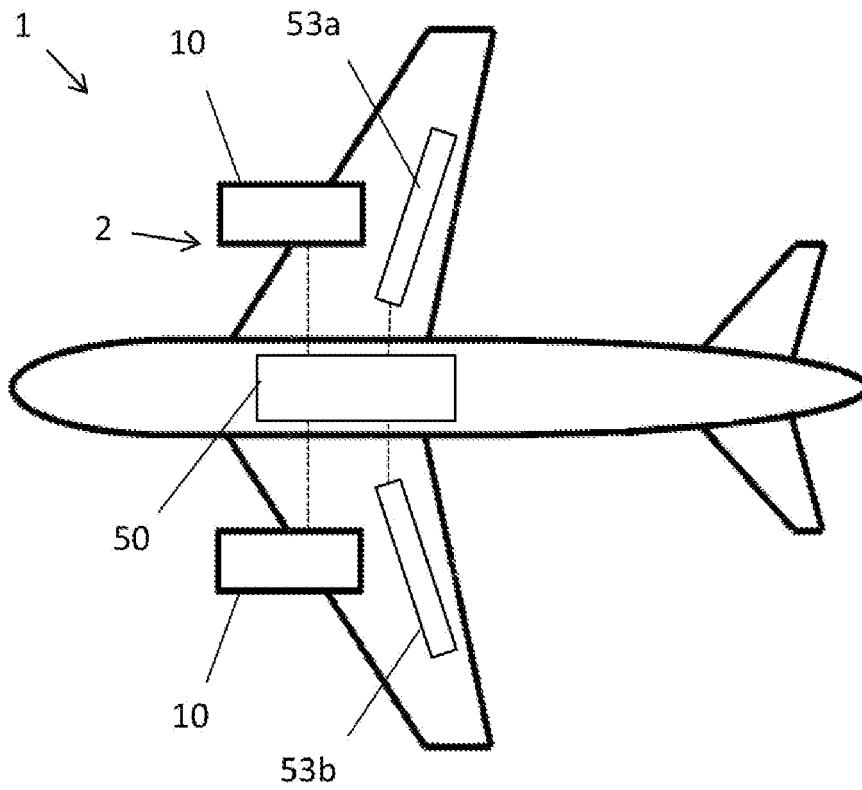
[Fig. 2]



[Fig. 3]

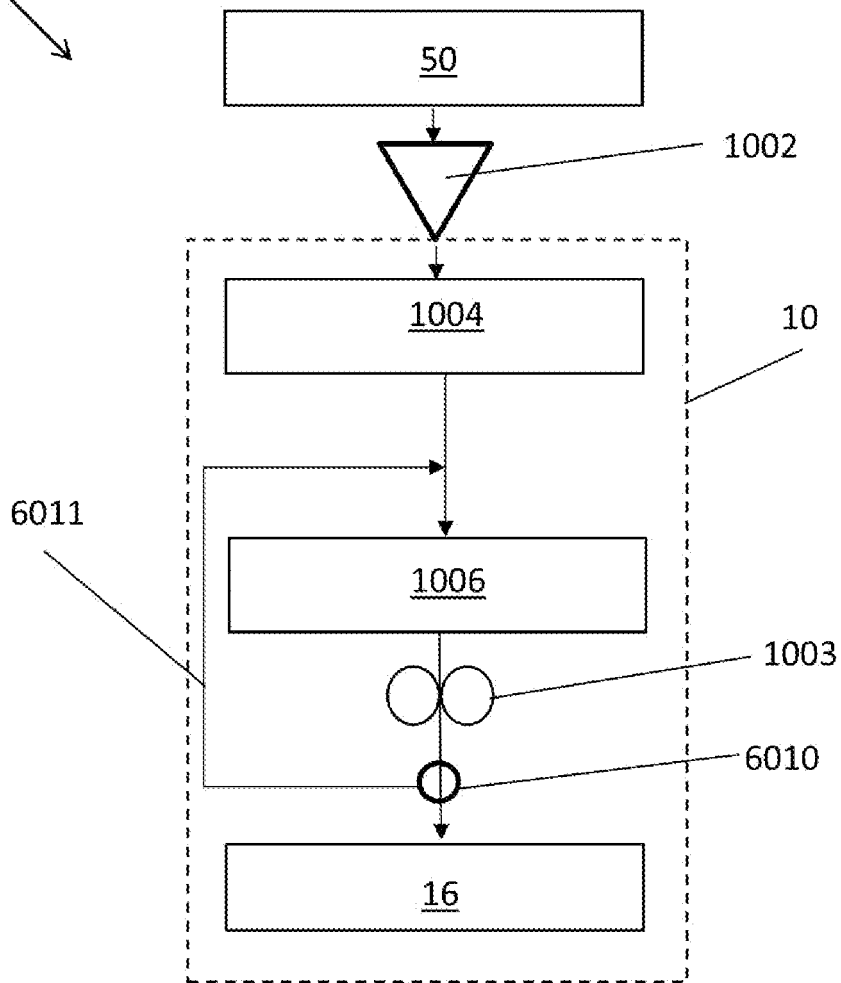


[Fig. 4]



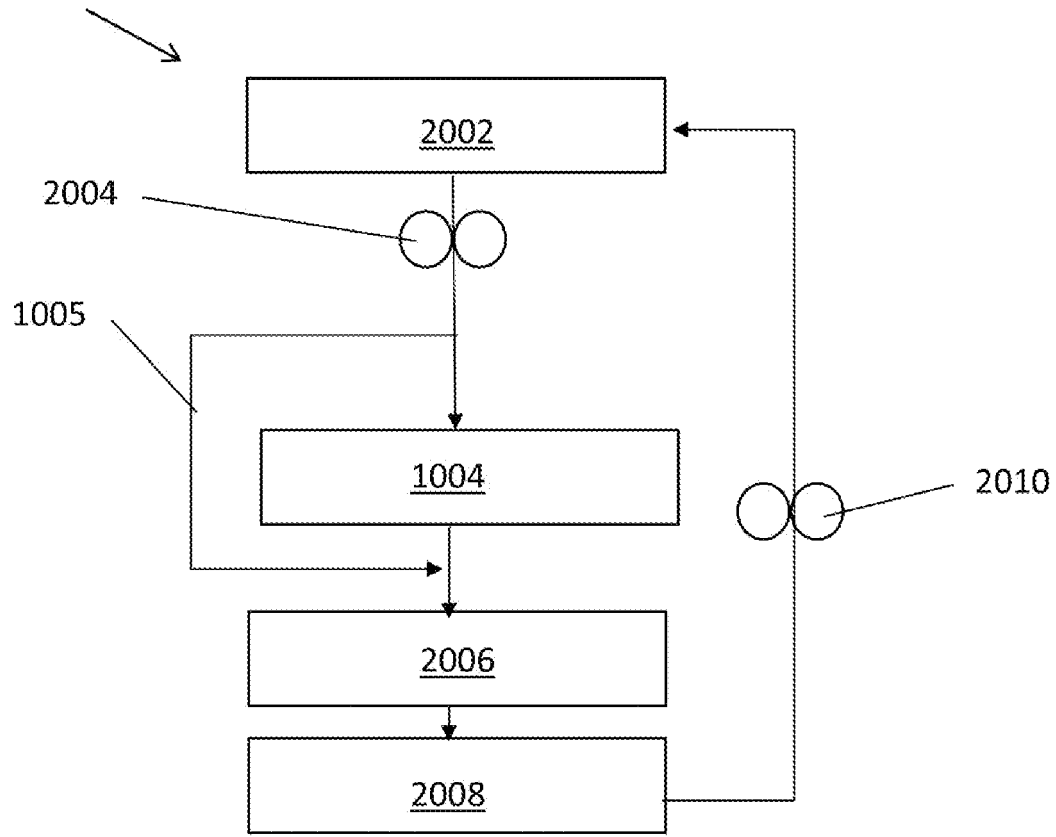
[Fig. 5]

1000



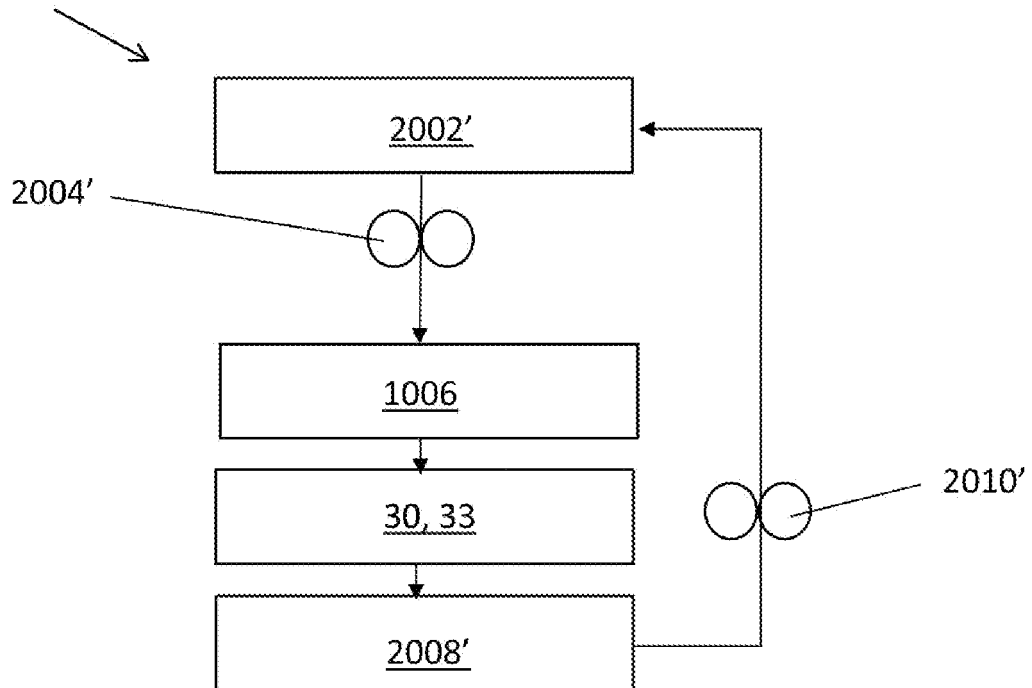
[Fig. 6]

2000

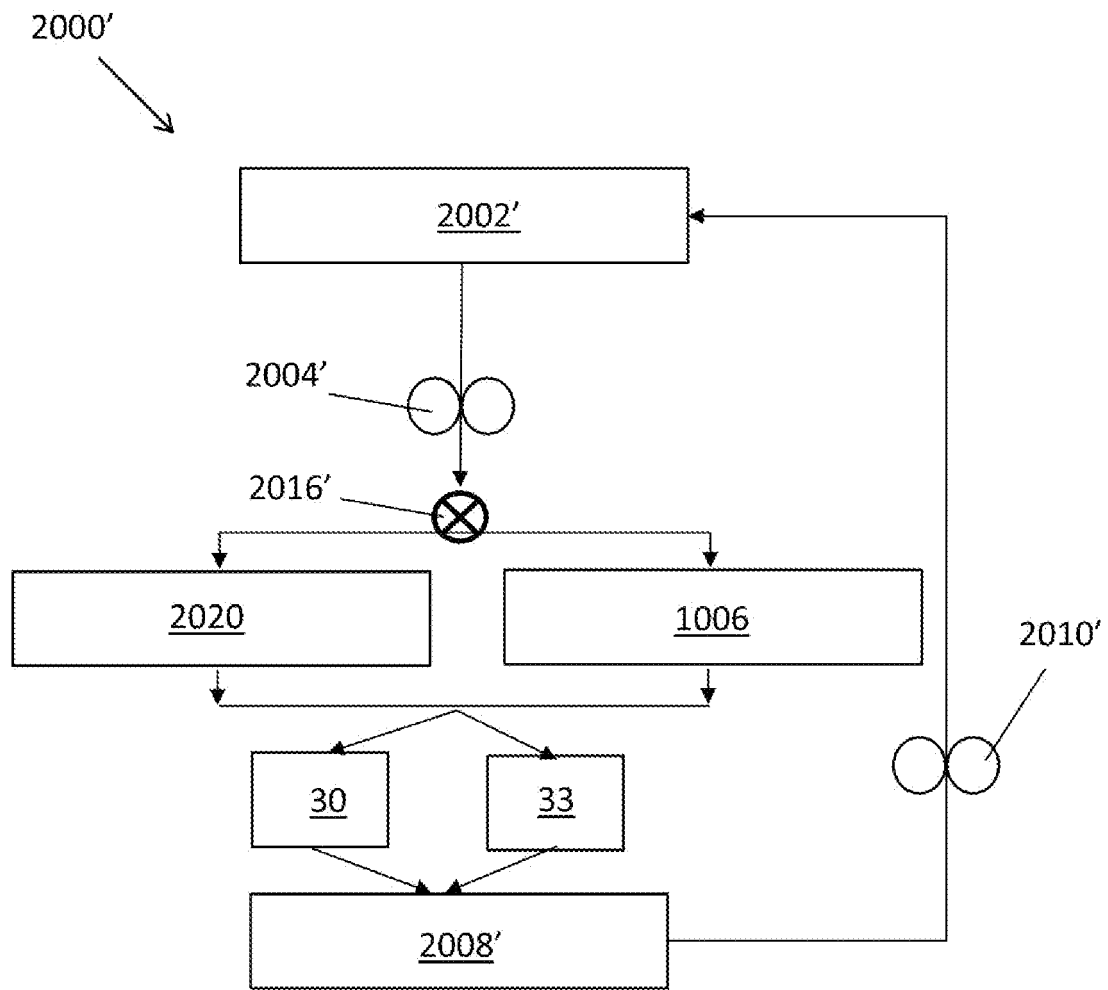


[Fig. 7]

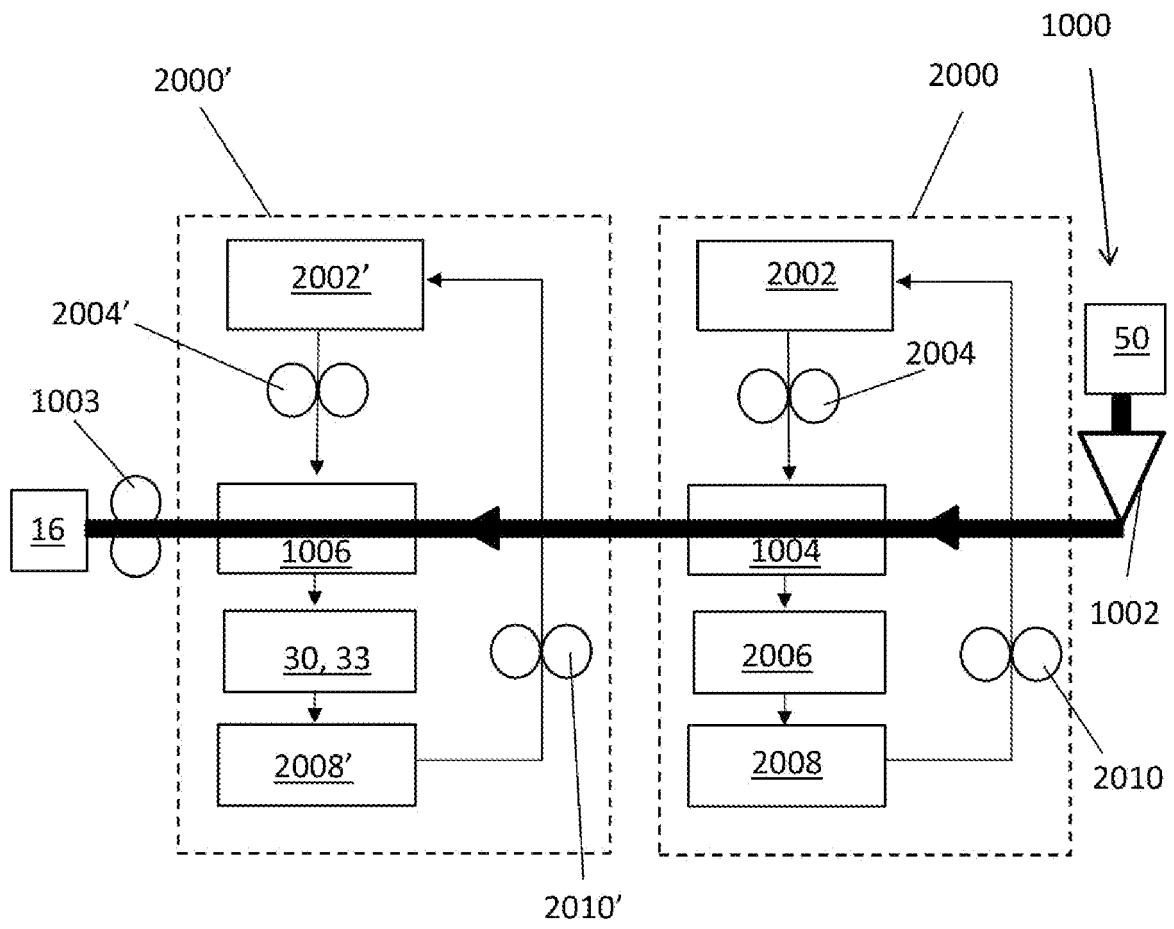
2000'



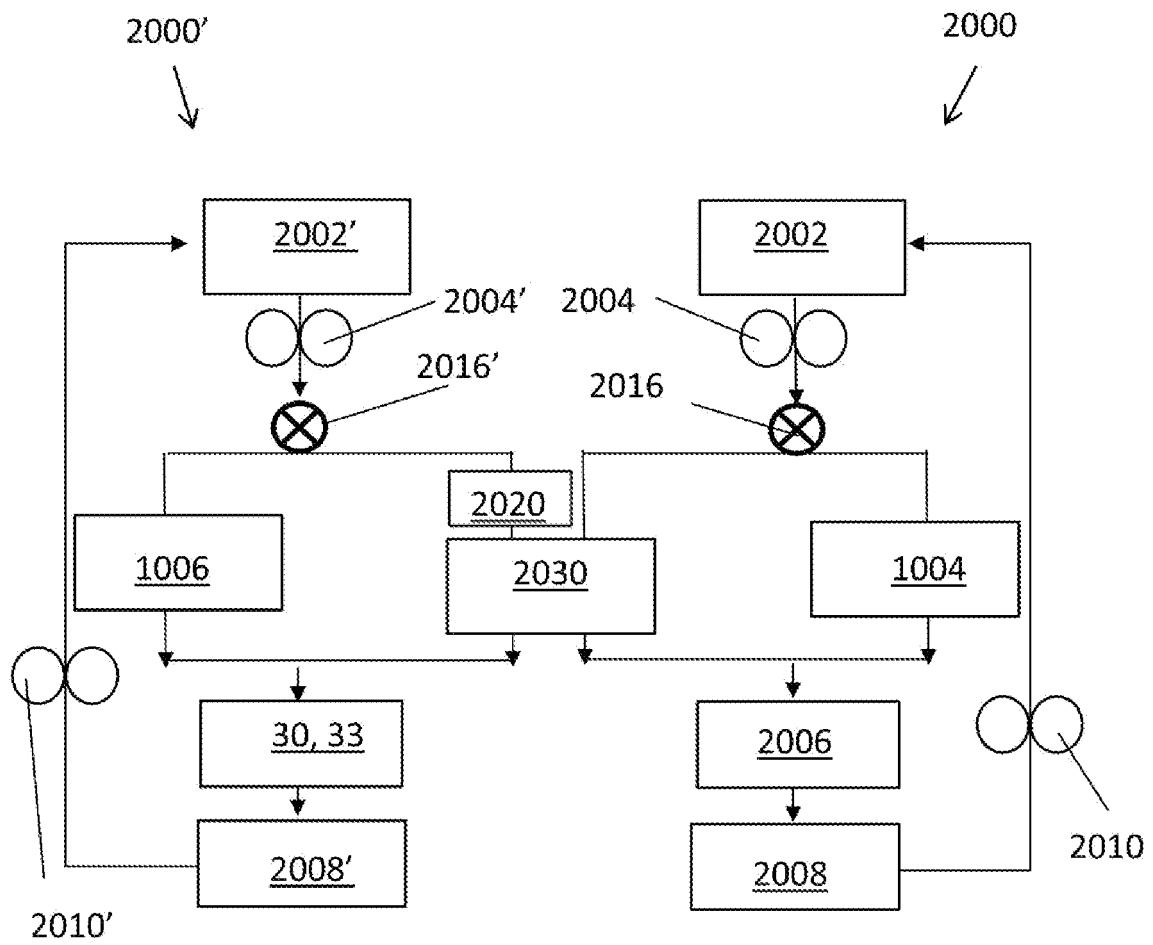
[Fig. 8]



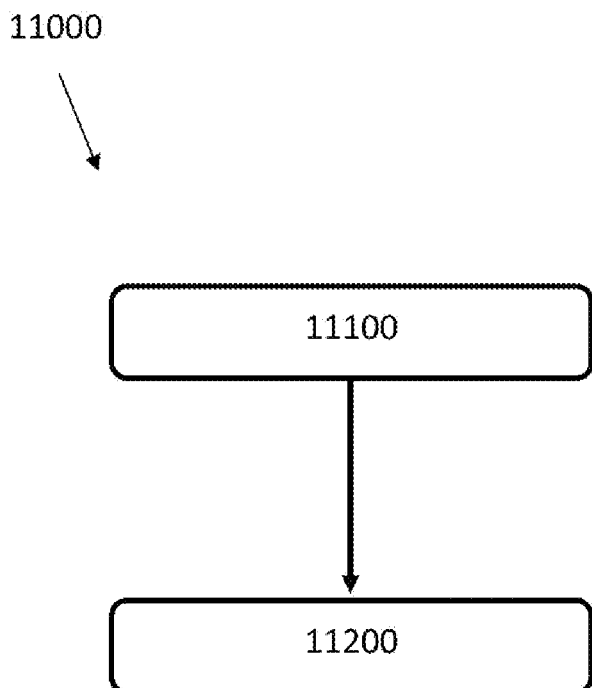
[Fig. 9]



[Fig. 10]

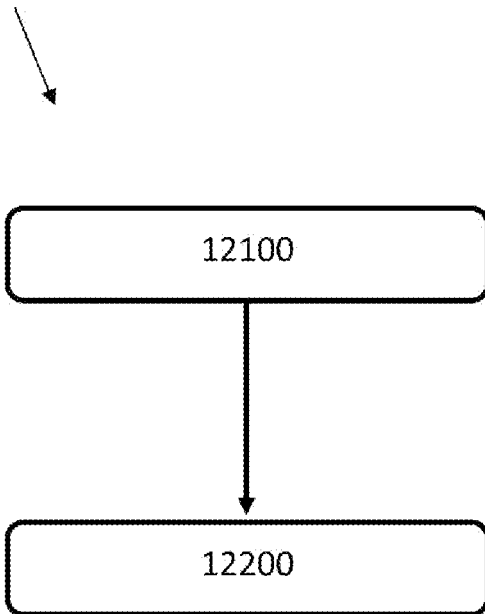


[Fig. 11]



[Fig. 12]

12000



[Fig. 13]

13000

