

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 138 409

21 N° d'enregistrement national : 22 07652

51 Int Cl⁸ : B 64 D 27/24 (2022.01), B 64 D 37/34, 27/10, 37/30,
B 60 L 50/70

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 26.07.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 02.02.24 Bulletin 24/05.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : SAFRAN HELICOPTER ENGINES
Société par actions simplifiée à associé unique — FR.

72 Inventeur(s) : POUSSE Frédéric Gaétan et THIRIET
Romain Jean Gilbert.

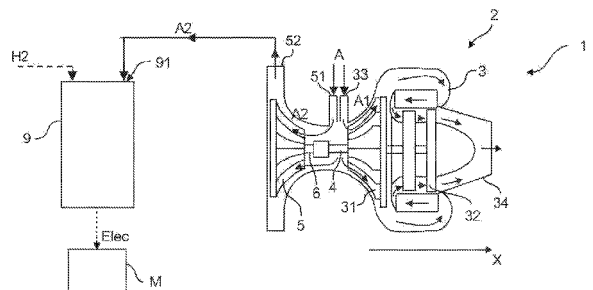
73 Titulaire(s) : SAFRAN HELICOPTER ENGINES
Société par actions simplifiée à associé unique.

74 Mandataire(s) : ARGYMA.

54 Ensemble propulsif pour aéronef comprenant une machine électrique de propulsion alimentée par une pile à combustible.

57 Un ensemble propulsif pour aéronef comprenant au moins une machine électrique de propulsion (M); une pile à combustible (9) pour alimenter la machine électrique de propulsion (M); et une turbomachine à gaz (2) comportant : un générateur de gaz (3) comprenant un arbre de propulsion principal (4) relié à au moins un étage de compression principal (31) configuré pour accélérer un flux d'air principal (A1) issu d'une entrée d'air principale (33), et un étage de compression auxiliaire (5) monté sur un arbre de propulsion auxiliaire (6) relié mécaniquement à l'arbre de propulsion principal (4), l'étage de compression auxiliaire (5) étant configuré pour accélérer un flux d'air auxiliaire (A2) entre une entrée d'air auxiliaire (51) et une sortie d'air auxiliaire (52), la sortie d'air auxiliaire (52) étant reliée à l'entrée d'air (91) de la pile à combustible (9) de manière à l'alimenter avec un flux d'air sous pression.

Figure de l'abrégé: Figure 1



FR 3 138 409 - A1



Description

Titre de l'invention : Ensemble propulsif pour aéronef comprenant une machine électrique de propulsion alimentée par une pile à combustible

Domaine technique

- [0001] La présente invention concerne le domaine des ensembles propulsifs utilisés pour la propulsion d'un aéronef et concerne en particulier un ensemble propulsif comprenant une machine électrique de propulsion alimentée par une pile à combustible.
- [0002] Le changement climatique est une préoccupation majeure pour de nombreux organes législatifs et de régulation à travers le monde. En effet, diverses restrictions sur les émissions de carbone ont été, sont ou seront adoptées par divers états. En particulier, une norme ambitieuse s'applique à la fois aux nouveaux types d'avions mais aussi ceux en circulation nécessitant de devoir mettre en œuvre des solutions technologiques afin de les rendre conformes aux réglementations en vigueur. L'aviation civile se mobilise depuis maintenant plusieurs années pour apporter une contribution à la lutte contre le changement climatique.
- [0003] Les efforts de recherche technologique ont déjà permis d'améliorer de manière très significative les performances environnementales des avions. La Déposante prend en considération les facteurs impactant dans toutes les phases de conception et de développement pour obtenir des composants et des produits aéronautiques moins énergivores, plus respectueux de l'environnement et dont l'intégration et l'utilisation dans l'aviation civile ont des conséquences environnementales modérées dans un but d'amélioration de l'efficacité énergétique des avions.
- [0004] Par voie de conséquence, la Déposante travaille en permanence à la réduction de son incidence climatique négative par l'emploi de méthodes et l'exploitation de procédés de développement et de fabrication vertueux et minimisant les émissions de gaz à effet de serre au minimum possible pour réduire l'empreinte environnementale de son activité.
- [0005] Ces travaux de recherche et de développement soutenus portent à la fois sur les nouvelles générations de moteurs d'aéronefs, l'allègement des appareils, notamment par les matériaux employés et les équipements embarqués allégés, le développement de l'emploi de machines électriques pour assurer la propulsion, en particulier, alimentées par une pile à combustible.
- [0006] A cet effet, l'invention est le résultat des recherches technologiques visant à améliorer de manière très significative les performances des aéronefs et, en ce sens, contribue à la réduction de l'impact environnemental des aéronefs. Pour cela,

l'invention concerne le domaine des aéronefs comportant un ensemble propulsif hybride comprenant une machine électrique de propulsion alimentée par une pile à combustible.

- [0007] De manière connue, un aéronef comprend un ensemble propulsif pour permettre son déplacement à partir de l'accélération d'un flux d'air.
- [0008] Dans le cadre de la décarbonisation des aéronefs, il est connu une architecture dite « hybride » dans laquelle l'ensemble propulsif comprend une machine électrique de propulsion alimentée par une pile à combustible. La pile à combustible est alimentée en hydrogène et permet de réduire la consommation en kérosène.
- [0009] Une pile à combustible est un dispositif permettant de mettre en œuvre une réaction électrochimique pour générer de l'énergie électrique à partir d'une réaction d'oxydoréduction. Pour cela, la pile à combustible est alimentée par un fluide oxydant et un fluide réducteur, par exemple du dihydrogène et du dioxygène, qui circulent dans une pluralité de cellules et réagissent au moyen d'un catalyseur pour former la réaction électrochimique et produire de l'énergie électrique.
- [0010] De manière connue, la pile à combustible doit être alimentée avec un flux d'oxygène sous pression. Aussi, il est connu de prévoir un compresseur pour fournir un flux d'air sous pression à la pile à combustible et l'alimenter en dioxygène.
- [0011] Cependant, un tel compresseur est lourd et encombrant, ce qui présente un inconvénient important dans un contexte aéronautique qui vise à limiter la masse des aéronefs pour permettre de limiter leur consommation énergétique et ainsi leur impact environnemental. De plus, le compresseur nécessite d'être alimenté en énergie pour fonctionner. Une telle énergie est généralement fournie par la pile à combustible elle-même, ce qui limite son efficacité puisqu'elle fournit moins d'énergie aux autres équipements de l'aéronef. L'autonomie de la pile à combustible est également affectée puisqu'elle doit fournir plus d'énergie pour alimenter le compresseur en parallèle.
- [0012] L'invention vise ainsi à éliminer au moins certains de ces inconvénients en proposant un ensemble propulsif qui soit efficace et dont l'autonomie est accrue, tout en s'assurant de limiter à la fois sa masse et son encombrement. L'ensemble propulsif selon l'invention permet également de conserver un niveau de sûreté de fonctionnement optimal tout en limitant les émissions de gaz à effet de serre.

PRESENTATION DE L'INVENTION

- [0013] L'invention concerne un ensemble propulsif pour aéronef comprenant :
- au moins une machine électrique de propulsion ,
 - au moins une pile à combustible configurée pour générer de l'énergie électrique pour alimenter la machine électrique de propulsion , la pile à combustible comprenant une entrée d'air , et

- une turbomachine à gaz comportant :
 - un générateur de gaz comprenant un arbre de propulsion principal relié à au moins un étage de compression principal et à au moins un étage de turbine , l'étage de compression principal étant configuré pour accélérer un flux d'air principal issu d'une entrée d'air principale ,
 - un étage de compression auxiliaire monté sur un arbre de propulsion auxiliaire relié mécaniquement à l'arbre de propulsion principal , l'étage de compression auxiliaire étant configuré pour accélérer un flux d'air auxiliaire entre une entrée d'air auxiliaire et une sortie d'air auxiliaire , la sortie d'air auxiliaire étant reliée à l'entrée d'air de la pile à combustible de manière à l'alimenter avec un flux d'air sous pression.

[0014] L'ensemble propulsif selon l'invention permet d'alimenter le générateur de gaz et la pile à combustible en parallèle avec deux flux d'air distincts accélérés par deux étages de compression distincts intégrés à la turbomachine à gaz. Grâce à l'invention, la pile à combustible est alimentée avec un flux d'air sous pression en s'affranchissant de l'ajout d'un compresseur extérieur, ce qui permet de limiter la masse et l'encombrement de l'ensemble propulsif.

[0015] Grâce à la machine électrique de propulsion en complément de la turbomachine à gaz, l'ensemble propulsif présente également une autonomie accrue, ce qui permet d'optimiser ses performances.

[0016] La pile à combustible qui fonctionne à l'hydrogène alimente la machine électrique de propulsion avec de l'énergie électrique, ce qui permet un ensemble propulsif dont les émissions de gaz à effet de serre sont fortement limitées.

[0017] Dans une forme de réalisation, l'entrée d'air auxiliaire est confondue avec l'entrée d'air principal. La turbomachine à gaz comprend ainsi une unique entrée d'air commune pour l'étage de compression principal et l'étage de compression auxiliaire, ce qui permet de simplifier l'architecture de la turbomachine à gaz.

[0018] Dans une forme de réalisation, la turbomachine à gaz comprend un système de débrayage reliant mécaniquement l'arbre de propulsion principal et l'arbre de propulsion auxiliaire, le système de débrayage étant configuré pour évoluer entre une position embrayée, dans laquelle l'arbre de propulsion principal est solidaire de l'arbre de propulsion auxiliaire, et une position débrayée, dans laquelle l'arbre de propulsion principal est désolidarisé de l'arbre de propulsion auxiliaire. Un tel système de débrayage permet avantageusement de désolidariser en rotation les deux arbres de propulsion permettant à chaque étage de compression de fonctionner indépendamment. Un niveau de sûreté de fonctionnement optimal est ainsi garanti.

- [0019] Le système de débrayage permet à la pile à combustible d'être alimentée avec le flux d'air auxiliaire même lorsque le générateur de gaz ne fonctionne pas, par exemple en cas de panne de celui-ci. Dans ce cas, l'étage de compression auxiliaire est de préférence entraîné par un moteur électrique.
- [0020] Dans une forme de réalisation, l'ensemble propulsif comprend un système de supervision configuré pour détecter lorsque le générateur de gaz fonctionne, ce qui permet de placer le système de débrayage dans la position débrayée de manière automatique. La continuité de l'alimentation de la machine électrique de propulsion est ainsi garantie.
- [0021] Dans une forme de réalisation, l'étage de turbine du générateur de gaz étant configuré pour tourner autour de l'arbre de propulsion principal selon une vitesse de rotation, le système de débrayage est configuré pour évoluer entre la position embrayée et la position débrayée de manière automatique en fonction de la vitesse de rotation de l'étage de turbine du générateur de gaz, permettant de s'assurer du fonctionnement de l'ensemble propulsif.
- [0022] Dans une forme de réalisation, le système de débrayage est configuré pour évoluer de la position débrayée et la position embrayée lorsque la vitesse de rotation de l'étage de turbine du générateur de gaz est supérieure à une vitesse seuil, en particulier, lorsque la vitesse de l'arbre de propulsion principal est supérieure à celle de l'arbre de propulsion auxiliaire.
- [0023] De manière préférée, le système de débrayage est une roue libre, permettant l'utilisation d'un système simple, facilement intégrable dans l'enceinte de la turbomachine à gaz.
- [0024] Lorsque l'étage de turbine du générateur de gaz fonctionne à un régime trop bas, par exemple lorsqu'il est en cours d'arrêt, le système de débrayage peut passer automatiquement dans la position débrayée pour permettre avantageusement à la pile à combustible de fonctionner.
- [0025] De manière préférée, l'arbre de propulsion principal et l'arbre de propulsion auxiliaire sont coaxiaux, permettant une intégration simple dans la turbomachine à gaz.
- [0026] Dans une forme de réalisation préférée, l'étage de compression principal et l'étage de compression auxiliaire sont orientés dans des sens opposés, permettant d'accélérer deux flux d'air simultanément dans l'étage de compression principal vers l'étage de turbine du générateur de gaz et dans l'étage de compression auxiliaire vers la sortie d'air auxiliaire pour alimenter la pile à combustible. Les deux flux d'air sont ainsi distincts et peuvent alimenter les étages de compression de manière indépendante sans que l'architecture de la turbomachine à gaz ne soit trop complexe.
- [0027] Dans une forme de réalisation, l'ensemble propulsif comprend une machine électrique auxiliaire reliée à l'arbre de propulsion auxiliaire, la machine électrique

auxiliaire étant configurée pour entraîner en rotation l'arbre de propulsion auxiliaire et générer de l'énergie électrique à partir de la rotation de l'arbre de propulsion auxiliaire. La machine électrique auxiliaire permet avantageusement d'alimenter la pile à combustible avec le flux d'air auxiliaire même lorsque le générateur de gaz ne fonctionne pas.

[0028] De manière préférée, la turbomachine à gaz et la pile à combustible sont alimentées par un même carburant, permettant de simplifier l'architecture de l'ensemble propulsif, ce qui permet un gain de place et de masse dans l'aéronef.

[0029] Dans une forme de réalisation, le carburant alimentant la turbomachine à gaz et le carburant alimentant la pile à combustible sont stockés dans un même réservoir, en particulier du dihydrogène, permettant de limiter de manière encore plus importante les émissions de gaz à effets de serre de l'ensemble propulsif.

[0030] De manière alternative, la turbomachine est alimentée en kérosène et la pile à combustible en dihydrogène.

[0031] Dans une forme de réalisation préférée, le générateur de gaz et l'étage de compression auxiliaire sont montés dans une même enceinte. Autrement dit, la turbomachine à gaz comporte un unique carter dans lequel sont montés tous les éléments, ce qui permet de limiter l'encombrement de la turbomachine à gaz de manière importante.

[0032] Dans une forme de réalisation, l'arbre de propulsion principal est relié à un organe propulsif.

[0033] L'invention concerne également un aéronef comprenant au moins un ensemble propulsif tel que décrit précédemment.

[0034] Enfin, l'invention porte sur un procédé d'alimentation en air d'une pile à combustible d'un ensemble propulsif tel que décrit précédemment, le procédé comprenant les étapes consistant à :

- accélérer un flux d'air auxiliaire dans l'étage de compression auxiliaire monté dans la turbomachine à gaz, et
- acheminer le flux d'air auxiliaire via la sortie d'air auxiliaire de la turbomachine à gaz vers l'entrée d'air de la pile à combustible pour l'alimenter.

[0035] Dans un mode de mise en œuvre, l'arbre de propulsion principal étant solidaire en rotation de l'arbre de propulsion auxiliaire, le procédé comprend les étapes consistant à :

- entraîner l'arbre de propulsion auxiliaire par l'arbre de propulsion principal pour accélérer le flux d'air auxiliaire,
- désolidariser l'arbre de propulsion principal et de l'arbre de propulsion auxiliaire, et
- entraîner l'arbre de propulsion auxiliaire par une machine électrique auxiliaire

pour accélérer le flux d'air auxiliaire.

[0036] Dans un mode de mise en œuvre, le procédé d'alimentation en air de la pile à combustible est intégré dans une méthode d'alimentation en énergie d'une machine électrique de propulsion. La méthode d'alimentation comprend alors une étape consistant à générer de l'énergie électrique dans la pile à combustible à partir du flux d'air auxiliaire et d'un flux de carburant pour alimenter la machine électrique de propulsion.

[0037] Dans un mode de mise en œuvre, la méthode comprend une étape consistant à entraîner en rotation l'arbre de propulsion auxiliaire à partir de la machine électrique auxiliaire. Dans une telle configuration, la pile à combustible génère avantageusement de l'énergie électrique pour alimenter la machine électrique auxiliaire qui permet alors d'actionner l'étage de compression auxiliaire et donc de fournir un flux d'air sous pression à la pile à combustible.

PRESENTATION DES FIGURES

[0038] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple, et se référant aux figures suivantes, données à titre d'exemples non limitatifs, dans lesquelles des références identiques sont données à des objets semblables.

[0039] La [Fig.1] est une représentation schématique d'un ensemble propulsif selon une première forme de réalisation de l'invention.

[0040] La [Fig.2] est une représentation schématique d'un ensemble propulsif selon une deuxième forme de réalisation de l'invention.

[0041] La [Fig.3] est une représentation schématique d'un ensemble propulsif selon une troisième forme de réalisation de l'invention.

[0042] Il faut noter que les figures exposent l'invention de manière détaillée pour mettre en œuvre l'invention, lesdites figures pouvant bien entendu servir à mieux définir l'invention le cas échéant.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0043] En référence à la [Fig.1], il est représenté un ensemble propulsif 1 pour aéronef selon une forme de réalisation de l'invention. L'ensemble propulsif 1 s'étend longitudinalement selon un axe X et comprend un organe propulsif (non représenté), configuré pour participer à la propulsion de l'aéronef par accélération d'un flux d'air circulant d'amont en aval. Les termes « amont » et « aval » se réfèrent à l'axe X qui s'étend depuis l'amont vers l'aval de l'ensemble propulsif 1, comme représenté sur la [Fig.1].

[0044] En référence à la [Fig.1], l'ensemble propulsif 1 selon l'invention comprend une turbomachine à gaz 2, une machine électrique de propulsion M et une pile à combustible 9 pour alimenter la machine électrique de propulsion M.

- [0045] La machine électrique de propulsion M est configurée pour participer à la propulsion de l'aéronef en transférant de l'énergie à l'organe propulsif de manière à l'entraîner en rotation.
- [0046] La pile à combustible 9 est configurée pour générer de l'énergie électrique Elec pour alimenter la machine électrique de propulsion M.
- [0047] Comme cela est connu, la pile à combustible 9 est un dispositif permettant de mettre en œuvre une réaction électrochimique pour générer de l'énergie électrique Elec à partir d'une réaction d'oxydoréduction. Pour cela, la pile à combustible 9 est alimentée par un fluide oxydant et un fluide réducteur, par exemple du dihydrogène (H₂) et du dioxygène (O₂), qui circulent dans une pluralité de cellules et réagissent au moyen d'un catalyseur pour former la réaction électrochimique et produire de l'énergie électrique Elec.
- [0048] Pour permettre la mise en œuvre de la réaction d'oxydo-réduction, la pile à combustible 9 est configurée pour être alimentée par un flux de carburant Q, de préférence du dihydrogène (H₂). Dans cet exemple, le carburant Q est stocké dans un réservoir cryogénique R (représenté sur la [Fig.3]) qui permet de stocker le dihydrogène à l'état liquide permettant d'embarquer une masse plus importante de carburant Q dans l'aéronef.
- [0049] La pile à combustible 9 est également configurée pour être alimentée avec un flux d'oxygène sous pression. Pour cela, la pile à combustible 9 comprend une entrée d'air 91.
- [0050] Toujours en référence à la [Fig.1], la turbomachine à gaz 2 selon l'invention comporte un générateur de gaz 3 comprenant un arbre de propulsion principal 4 relié à l'organe propulsif, par exemple, via une boîte de transmission. Le générateur de gaz 3 comporte également un étage de compression principal 31 et un étage de turbine 32 reliés à l'arbre de propulsion principal 4 pour l'entraîner en rotation et entraîner ainsi l'organe propulsif.
- [0051] Le générateur de gaz 3 comprend une entrée d'air principale 33 pour alimenter l'étage de compression principal 31 avec un flux d'air principal A1, en particulier, issu de l'extérieur. L'étage de compression principal 31 est configuré pour accélérer le flux d'air principal A1 de manière à entraîner la rotation de l'étage de turbine 32 et ainsi de l'arbre de propulsion principal 4. Le flux d'air principal A1 circule, de préférence, d'amont en aval dans le générateur de gaz 3, c'est-à-dire selon l'axe longitudinal X.
- [0052] L'étage de turbine 32 entraîne l'arbre de propulsion principal 4 selon une vitesse de rotation prédéterminée.
- [0053] Le générateur de gaz 3 comprend également une tuyère d'échappement 34 par laquelle s'échappe un flux d'air d'échappement issu de la combustion entre un carburant et le flux d'air principal A1 compressé dans l'étage de compression principal

31.

- [0054] Le fonctionnement d'un tel générateur de gaz 3 est connu de l'homme du métier et ne sera pas décrit plus en détails dans ce document.
- [0055] Selon l'invention, la turbomachine à gaz 2 comprend un étage de compression auxiliaire 5 monté sur un arbre de propulsion auxiliaire 6.
- [0056] L'arbre de propulsion auxiliaire 6 est relié mécaniquement à l'arbre de propulsion principal 4. Dans une forme de réalisation préférée, l'arbre de propulsion principal 4 et l'arbre de propulsion auxiliaire 6 sont coaxiaux et sont adjacents selon l'axe longitudinal X, permettant une architecture simple. Dans cette forme de réalisation, l'arbre de propulsion principal 4 et l'arbre de propulsion auxiliaire 6 sont solidaires en rotation, de préférence, forment ensemble un même arbre de propulsion.
- [0057] L'étage de compression auxiliaire 5 comprend une entrée d'air auxiliaire 51 et une sortie d'air auxiliaire 52 et est configuré pour accélérer un flux d'air auxiliaire A2 circulant depuis l'entrée d'air auxiliaire 51 vers la sortie d'air auxiliaire 52. La sortie d'air auxiliaire 52 est reliée à l'entrée d'air 91 de la pile à combustible 9 de manière à l'alimenter avec un flux d'air sous pression. Autrement dit, l'étage de compression auxiliaire 5 monté dans la turbomachine à gaz 2 permet de générer un flux d'air sous pression à destination de la pile à combustible 9. De manière préférée, l'entrée d'air auxiliaire 51 prélève de l'air dans le milieu extérieur.
- [0058] Dans cet exemple, l'étage de compression principal 31, monté sur l'arbre de propulsion principal 4, et l'étage de compression auxiliaire 5, monté sur l'arbre de propulsion auxiliaire 6, comprennent chacun une roue centrifuge permettant d'accélérer respectivement le flux d'air principal A1 et le flux d'air auxiliaire A2. Les roues centrifuges sont montées de préférence axialement successivement selon l'axe longitudinal X. Les flux d'air A1, A2 sont ainsi aspirés longitudinalement et évacués radialement. Il va néanmoins de soi que l'invention s'applique aussi à des roues axiales.
- [0059] De manière préférée, l'entrée d'air auxiliaire 51 est positionnée longitudinalement entre l'étage de compression principal 31 et l'étage de compression auxiliaire 5. Plus précisément, dans cet exemple, la turbomachine à gaz 2 comprend successivement d'amont en aval la sortie d'air auxiliaire 52, l'étage de compression auxiliaire 5 et l'entrée d'air auxiliaire 51. Autrement dit, dans cet exemple, l'étage de compression principal 31 et l'étage de compression auxiliaire 5 s'étendent dans des sens opposés de manière à permettre une intégration mécanique optimale. Les flux d'air A1, A2 sont conduits respectivement d'amont vers l'aval et depuis l'entrée d'air principale 33 et d'aval vers l'amont depuis l'entrée d'air auxiliaire 51.
- [0060] Dans une forme de réalisation préférée, comme représenté sur la [Fig.2], l'entrée d'air auxiliaire 51 est confondue avec l'entrée d'air principale 33, ce qui permet une

unique entrée d'air A pour alimenter à la fois l'étage de compression principal 31 avec le flux d'air principal A1 et l'étage de compression auxiliaire 5 avec le flux d'air auxiliaire A2. Cela permet d'améliorer la compacité et d'équiper l'unique entrée d'air d'une grille de collecte de débris antigivrante.

- [0061] De manière préférée, le générateur de gaz 3 et l'étage de compression auxiliaire 5 sont montés dans une même enceinte fermée. Autrement dit, l'étage de compression auxiliaire 5 est intégré à la turbomachine à gaz 2 et cette dernière comprend un unique carter, permettant un gain de place important. La turbomachine à gaz 2 permet ainsi de s'affranchir de l'ajout d'un compresseur extérieur pour alimenter la pile à combustible 9 en air, ce qui permet de limiter la masse et l'encombrement de l'ensemble propulsif 1. Cela est d'autant plus avantageux que l'arbre de propulsion principal 4 et l'arbre de propulsion auxiliaire 6 sont reliés mécaniquement. La lubrification est avantageusement commune au sein du carter.
- [0062] Autrement dit, la turbomachine à gaz 2 selon l'invention permet d'alimenter le générateur de gaz 3 et la pile à combustible 9 en parallèle avec deux flux d'air A1, A2 distincts accélérés par deux étages de compression 31, 5 distincts montés dans une même enceinte. Dans cet exemple, le flux d'air principal A1 et le flux d'air auxiliaire A2 sont issus d'un même flux d'air A entrant dans la turbomachine à gaz 2.
- [0063] Dans une forme de réalisation préférée, en référence à la [Fig.2], la turbomachine à gaz 2 comprend un système de débrayage 7 qui relie mécaniquement l'arbre de propulsion principal 4 et l'arbre de propulsion auxiliaire 6. Autrement dit, le système de débrayage 7 est à l'interface entre les deux arbres de propulsion principal 4 et de propulsion auxiliaire 6.
- [0064] De manière avantageuse, cela permet d'entraîner l'arbre de propulsion auxiliaire 6 indépendamment de l'arbre de propulsion principal 4. Cela est particulièrement avantageux lorsque l'arbre de propulsion auxiliaire 6 est relié à une machine électrique auxiliaire indépendante comme cela sera présenté par la suite.
- [0065] Le système de débrayage 7 est configuré pour évoluer entre une position embrayée dans laquelle l'arbre de propulsion principal 4 est solidaire en rotation de l'arbre de propulsion auxiliaire 6, et une position débrayée dans laquelle l'arbre de propulsion principal 4 est désolidarisé de l'arbre de propulsion auxiliaire 6. Autrement dit, le système de débrayage 7 est configuré pour désolidariser l'arbre de propulsion principal 4 et l'arbre de propulsion auxiliaire 6, ce qui permet d'alimenter la pile à combustible 9 avec le flux d'air auxiliaire A2 même lorsque le générateur à gaz 3 n'est pas en fonctionnement.
- [0066] En particulier, dans cet exemple, le système de débrayage 7 est configuré pour évoluer entre la position embrayée et la position débrayée de manière automatique en fonction de la vitesse de rotation de l'étage de turbine 32 du générateur à gaz 3. Dans

une forme de réalisation, le système de débrayage 7 est configuré pour être automatiquement dans la position embrayée lorsque la vitesse de rotation de l'étage de turbine 32 est supérieure à un seuil de vitesse prédéterminé. De manière analogue, le système de débrayage 7 est configuré pour être dans la position débrayée lorsque la vitesse de rotation de l'étage de turbine 32 est inférieure au seuil de vitesse prédéterminé. Dans cet exemple, la position embrayée est activée lorsque la vitesse de l'arbre de propulsion principal 4 est supérieure à celle de l'arbre de propulsion auxiliaire 6. De manière inverse, la position débrayée est activée lorsque la vitesse de l'arbre de propulsion principal 4 est inférieure à celle de l'arbre de propulsion auxiliaire 6.

[0067] En résumé, dans cet exemple, lorsque le générateur de gaz 3 fonctionne à un régime trop bas, par exemple lorsqu'il est en cours d'arrêt, le système de débrayage 7 est configuré pour passer automatiquement dans la position débrayée, permettant à la pile à combustible 9 de continuer à fonctionner.

[0068] Dans cet exemple, le système de débrayage 7 se présente sous la forme d'une roue libre, permettant un système simple et dont l'encombrement est limité pour un montage dans la turbomachine à gaz 2.

[0069] Dans une forme de réalisation, l'ensemble propulsif 1 comprend un système de supervision (non représenté) configuré pour détecter lorsque le générateur de gaz 3 fonctionne et ne fonctionne pas. Le système de supervision est configuré pour placer automatiquement le système de débrayage dans la position débrayée en cas de détection de non-fonctionnement du générateur de gaz 3, ce qui permet de garantir l'alimentation en énergie électrique Elec de la machine électrique de propulsion M et ainsi de garantir le fonctionnement de l'organe propulsif.

[0070] Dans une forme de réalisation, en référence à la [Fig.2], la turbomachine à gaz 2 comprend une machine électrique auxiliaire 8 reliée à l'arbre de propulsion auxiliaire 6. La machine électrique auxiliaire 8 est configurée pour entraîner en rotation l'arbre de propulsion auxiliaire 6 par exemple lorsque le système de débrayage 7 est dans la position débrayée. Autrement dit, lorsque le système de débrayage 7 est dans la position débrayée, par exemple en cas de panne du générateur de gaz 3, la pile à combustible 9 est configurée pour fournir de l'énergie électrique Elec à la machine électrique auxiliaire 8 qui peut ainsi entraîner l'étage de compression auxiliaire 5. De manière préférée, la machine électrique auxiliaire 8 est montée extérieurement au carter de la turbomachine à gaz 2.

[0071] La machine électrique auxiliaire 8 est également configurée pour générer de l'énergie électrique Elec à partir de la rotation de l'arbre de propulsion auxiliaire 6, de manière à alimenter par exemple la machine électrique de propulsion M en complément de la pile à combustible 9.

[0072] Dans une forme de réalisation, le générateur de gaz 3 et la pile à combustible 9 sont

alimentées par un même carburant Q, permettant de simplifier la turbomachine à gaz 2 et de limiter son encombrement dans l'aéronef. De préférence, le carburant Q est du dihydrogène, permettant un carburant propre qui permet de limiter les émissions de gaz à effet de serre. Il va de soi que le carburant pourrait être différent, par exemple un carburant durable connu sous son abréviation anglaise SAF pour « sustainable aviation fuel ». De même il va de soi que la pile à combustible 9 pourrait par exemple être alimentée par du dihydrogène et le générateur de gaz 3 par du kérosène.

- [0073] En référence à la [Fig.3], dans cet exemple, le carburant Q, configuré pour alimenter le générateur de gaz 3 et la pile à combustible 9, est stocké dans un unique réservoir R, de préférence un réservoir R cryogénique, qui permet d'embarquer une masse plus importante de carburant Q tout en limitant la masse de l'aéronef.
- [0074] Dans une telle forme de réalisation, l'ensemble propulsif 1 comprend un circuit de carburant pour alimenter conjointement le générateur de gaz 3 et la pile à combustible 9. Le circuit de carburant comprend alors de préférence un échangeur de chaleur Ec configuré pour réchauffer le flux de carburant Q et le faire passer à l'état gazeux, de manière à ce que celui-ci ne givre pas l'air en entrée de la chambre de combustion du générateur de gaz 3 ou dans la pile à combustible 9. De manière complémentaire ou alternative, le circuit de carburant comprend une portion montée autour de la tuyère 34 de manière à échanger des calories entre le flux d'échappement qui circule dans la tuyère 34 et le flux de carburant Q qui circule autour de la tuyère 34. Dans un exemple de réalisation, la tuyère 34 comprend une veine périphérique de circulation du flux de carburant Q. Ce dernier est ainsi configuré pour être réchauffé directement par le flux d'air circulant dans le générateur de gaz 3, ce qui permet un chauffage efficace en limitant d'ajout d'échangeurs de chaleur supplémentaires.
- [0075] Dans une forme de réalisation, l'ensemble propulsif 1 comprend un système de refroidissement S configuré pour refroidir l'huile moteur circulant dans la turbomachine à gaz 2 à partir du flux de carburant Q cryogénique en sortie du réservoir R.
- [0076] Il va dorénavant être décrit une méthode d'alimentation en énergie d'une machine électrique de propulsion M d'un ensemble propulsif 1 tel que décrit précédemment, en référence à la [Fig.3]. La méthode d'alimentation comprend un procédé d'alimentation en air d'une pile à combustible 9 de l'ensemble propulsif 1. Dans cet exemple, en référence à la [Fig.3], le générateur de gaz 3 et la pile à combustible 9 sont alimentés en parallèle par un même carburant Q issu d'un même réservoir R, dans cet exemple du dihydrogène. De plus, dans cet exemple, le système de débrayage 7 est initialement dans la position embrayée. Autrement dit, l'arbre de propulsion principal 4 et l'arbre de propulsion auxiliaire 6 sont initialement solidaires et tournent selon une même vitesse de rotation.
- [0077] Le procédé comprend une première étape E1 d'introduction d'un flux d'air auxiliaire

A2 dans la turbomachine à gaz 2, via l'entrée d'air auxiliaire 51 montée, dans cet exemple, entre l'étage de compression principal 31 et l'étage de compression auxiliaire 5.

- [0078] Le flux d'air auxiliaire A2 est ensuite accéléré, dans une étape E2 dans l'étage de compression auxiliaire 5 monté dans l'enceinte de la turbomachine à gaz 2. Le flux d'air principal A1 est accéléré dans le générateur de gaz 3 qui entraîne en rotation l'arbre de propulsion principal 4 et l'arbre de propulsion auxiliaire 6.
- [0079] En sortie de l'étage de compression auxiliaire 5, le flux d'air auxiliaire A2 sous pression est acheminé, dans une étape E3, via la sortie d'air auxiliaire 52 vers l'entrée d'air 91 de la pile à combustible 9 de manière à l'alimenter. Si l'énergie mécanique générée est supérieure aux besoins de compression du flux d'air auxiliaire A2, cette énergie mécanique peut être fournie à un organe propulsif (non représenté) ou convertie en énergie électrique par la machine électrique auxiliaire 8.
- [0080] En parallèle du flux d'air auxiliaire A2, dans une étape E4, un flux de carburant Q issu du réservoir R est réchauffé, dans cet exemple dans un échangeur de chaleur Ec, puis acheminé vers la pile à combustible 9. Suite à la réaction d'oxydo-réduction, la pile à combustible 9 génère de l'énergie électrique Elec, dans une étape E5, pour alimenter la machine électrique de propulsion M.
- [0081] Dans un mode de mise en œuvre, lorsque l'étage de turbine 32 du générateur de gaz 3 tourne à une vitesse de rotation inférieure à celle de l'arbre de propulsion auxiliaire 6, le système de débrayage 7 est placé dans la position débrayée, de manière à désolidariser l'arbre de propulsion auxiliaire 6 de l'arbre de propulsion principal 4. De manière préférée, le débrayage est réalisé automatiquement. La machine électrique auxiliaire 8, alimentée en énergie par la pile à combustible 9 ou une batterie, entraîne en rotation l'arbre de propulsion auxiliaire 6, de manière à alimenter la pile à combustible 9 avec un flux d'air auxiliaire A2 sous pression. La turbomachine à gaz 2 est ainsi avantageusement auto-alimentée en permettant la rotation de l'arbre de propulsion auxiliaire 6 grâce à l'énergie électrique Elec fournie par la pile à combustible 9 tout en alimentant la pile à combustible 9 avec un flux d'air sous pression. De manière avantageuse, l'arbre de propulsion principal 4 n'est pas entraîné, ce qui permet de réduire la puissance de la machine électrique auxiliaire 8. Il va néanmoins de soi que l'arbre de propulsion principal 4 pourrait être entraîné, en particulier, quand ce dernier participe à la propulsion.
- [0082] Grâce à l'invention, la machine électrique de propulsion est alimentée en énergie par une pile à combustible qui fonctionne avec un carburant dont l'impact environnemental est limité. L'ajout d'un étage de compression auxiliaire dans l'enceinte de la turbomachine à gaz permet d'alimenter la pile à combustible avec un flux d'air sous pression sans ajouter un compresseur extérieur par exemple, comme cela était le cas

dans l'art antérieur. La turbomachine à gaz permet ainsi d'alimenter en parallèle le générateur de gaz et la pile à combustible avec deux flux d'air distincts sous pression sans que son encombrement ou sa masse ne soit augmentés.

Revendications

[Revendication 1]

Ensemble propulsif (1) pour aéronef comprenant :

- au moins une machine électrique de propulsion (M),
- au moins une pile à combustible (9) configurée pour générer de l'énergie électrique (Elec) pour alimenter la machine électrique de propulsion (M), la pile à combustible (9) comprenant une entrée d'air (91), et
- une turbomachine à gaz (2) comportant :
 - un générateur de gaz (3) comprenant un arbre de propulsion principal (4) relié à au moins un étage de compression principal (31) et à au moins un étage de turbine (32), l'étage de compression principal (31) étant configuré pour accélérer un flux d'air principal (A1) issu d'une entrée d'air principale (33),
 - un étage de compression auxiliaire (5) monté sur un arbre de propulsion auxiliaire (6) relié mécaniquement à l'arbre de propulsion principal (4), l'étage de compression auxiliaire (5) étant configuré pour accélérer un flux d'air auxiliaire (A2) entre une entrée d'air auxiliaire (51) et une sortie d'air auxiliaire (52), la sortie d'air auxiliaire (52) étant reliée à l'entrée d'air (91) de la pile à combustible (9) de manière à l'alimenter avec un flux d'air sous pression.

[Revendication 2]

Ensemble propulsif (1) selon la revendication 1, dans lequel la turbomachine à gaz (2) comprend un système de débrayage (7) reliant mécaniquement l'arbre de propulsion principal (4) et l'arbre de propulsion auxiliaire (6), le système de débrayage (7) étant configuré pour évoluer entre une position embrayée, dans laquelle l'arbre de propulsion principal (4) est solidaire de l'arbre de propulsion auxiliaire (6), et une position débrayée, dans laquelle l'arbre de propulsion principal (4) est désolidarisé de l'arbre de propulsion auxiliaire (6).

[Revendication 3]

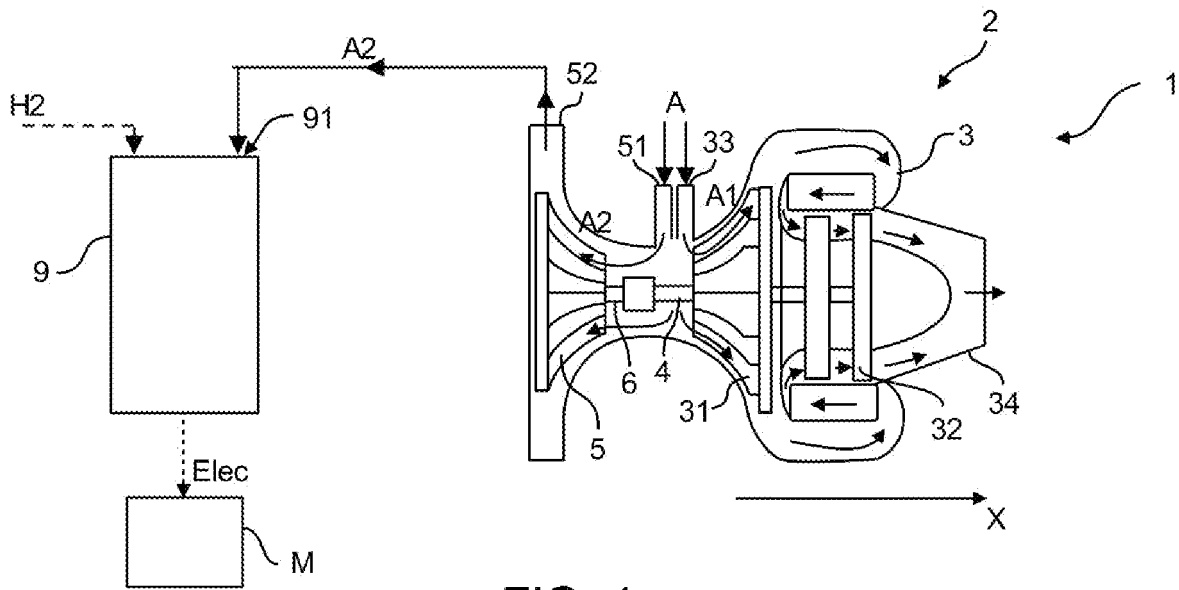
Ensemble propulsif (1) selon la revendication 2, dans lequel l'étage de turbine (32) du générateur de gaz (3) étant configuré pour tourner autour de l'arbre de propulsion principal (4) selon une vitesse de rotation, le

- système de débrayage (7) est configuré pour évoluer entre la position embrayée et la position débrayée de manière automatique en fonction de la vitesse de rotation de l'étage de turbine (32) du générateur de gaz (3).
- [Revendication 4] Ensemble propulsif (1) selon la revendication 3, dans lequel le système de débrayage (7) est configuré pour évoluer de la position débrayée à la position embrayée lorsque la vitesse de rotation de l'étage de turbine (32) du générateur de gaz (3) est supérieure à une vitesse seuil, de préférence, lorsque la vitesse de l'arbre de propulsion principal (4) est supérieure à celle de l'arbre de propulsion auxiliaire (6).
- [Revendication 5] Ensemble propulsif (1) selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel l'arbre de propulsion principal (4) et l'arbre de propulsion auxiliaire (6) sont coaxiaux.
- [Revendication 6] Ensemble propulsif (1) selon l'une des revendications 1 à 5, comprenant une machine électrique auxiliaire (8) reliée à l'arbre de propulsion auxiliaire (6), la machine électrique auxiliaire (8) étant configurée pour entraîner en rotation l'arbre de propulsion auxiliaire (6) et générer de l'énergie électrique (Elec) à partir de la rotation de l'arbre de propulsion auxiliaire (6).
- [Revendication 7] Ensemble propulsif (1) selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la turbomachine à gaz (2) et la pile à combustible (9) sont alimentées par un même carburant.
- [Revendication 8] Ensemble propulsif (1) selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le générateur de gaz (3) et l'étage de compression auxiliaire (5) sont montés dans une même enceinte.
- [Revendication 9] Aéronef comprenant au moins un ensemble propulsif (1) selon l'une des revendications 1 à 8.
- [Revendication 10] Procédé d'alimentation en air d'une pile à combustible (9) d'un ensemble propulsif (1) selon l'une des revendications 1 à 8, le procédé comprenant les étapes consistant à :
- accélérer un flux d'air auxiliaire (A2) dans l'étage de compression auxiliaire (5) monté dans la turbomachine à gaz (2), et
 - acheminer le flux d'air auxiliaire (A2) via la sortie d'air auxiliaire (52) de la turbomachine à gaz (2) vers l'entrée d'air (91) de la pile à combustible (9) pour l'alimenter.
- [Revendication 11] Procédé d'alimentation selon la revendication 10, dans lequel l'arbre de

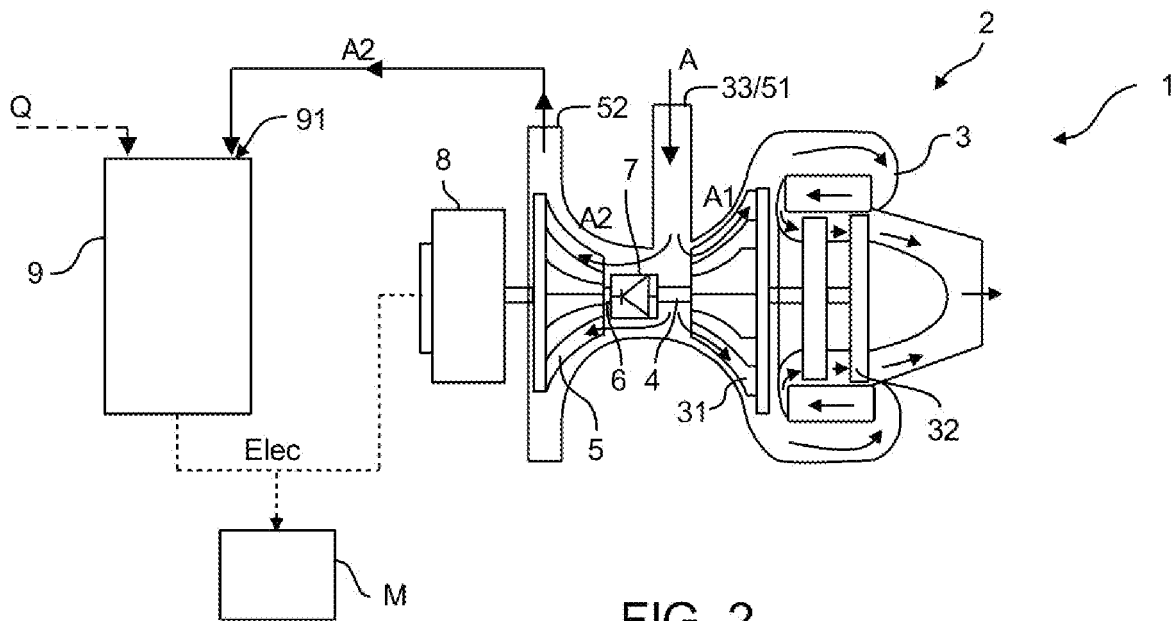
propulsion principal (4) étant solidaire en rotation de l'arbre de propulsion auxiliaire (6), le procédé comprend les étapes consistant à :

- entraîner l'arbre de propulsion auxiliaire (6) par l'arbre de propulsion principal (4) pour accélérer le flux d'air auxiliaire (A2),
- désolidariser l'arbre de propulsion principal (4) et de l'arbre de propulsion auxiliaire (6), et
- entraîner l'arbre de propulsion auxiliaire (6) par une machine électrique auxiliaire (8) pour accélérer le flux d'air auxiliaire (A2).

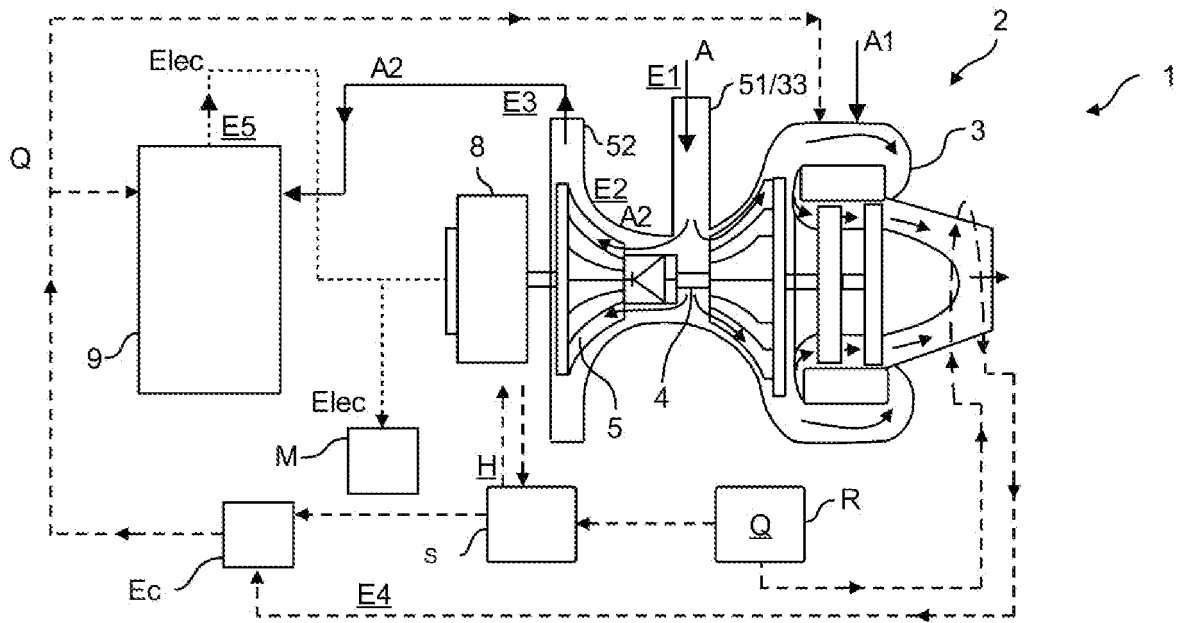
[Fig. 1]

**FIG. 1**

[Fig. 2]

**FIG. 2**

[Fig. 3]

**FIG. 3**

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 908884
FR 2207652

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2021/245629 A1 (KLIMPEL FRANK [DE]) 12 août 2021 (2021-08-12) * alinéa [0006] - alinéa [0077]; figures 1-3 *	1-11	B64D27/24 B64D37/34 B64D27/10 B64D37/30 B60L50/70
A	DE 10 2019 216906 A1 (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT [DE]) 6 mai 2021 (2021-05-06) * alinéa [0020] - alinéa [0027]; figure 1 *	1-11	
A	US 2017/211474 A1 (SENNOUN MOHAMMED EL HACIN [US]) 27 juillet 2017 (2017-07-27) * alinéa [0006] - alinéa [0038]; figures 2-4 *	1-11	
A	FR 2 902 760 B1 (TURBOMECA [FR]) 15 mai 2009 (2009-05-15) * page 3 - page 6; figures 1, 2 *	1-11	
A	WO 2005/001974 A1 (KAWASAKI HEAVY IND LTD [JP]; TANAKA KAZUO [JP] ET AL.) 6 janvier 2005 (2005-01-06) * le document en entier *	1-11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B64D B60L H01M B64C F02C F02K
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 février 2023		Morasch, Alexander	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2207652 FA 908884**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **22-02-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2021245629 A1	12-08-2021	CN 113306729 A	27-08-2021
		EP 3866236 A1	18-08-2021
		US 2021245629 A1	12-08-2021

DE 102019216906 A1	06-05-2021	DE 102019216906 A1	06-05-2021
		FR 3102805 A1	07-05-2021

US 2017211474 A1	27-07-2017	CA 2954914 A1	26-07-2017
		CN 107035530 A	11-08-2017
		CN 115306562 A	08-11-2022
		EP 3199791 A1	02-08-2017
		JP 6542812 B2	10-07-2019
		JP 2017133502 A	03-08-2017
		US 2017211474 A1	27-07-2017

FR 2902760 B1	15-05-2009	AUCUN	

WO 2005001974 A1	06-01-2005	AT 425561 T	15-03-2009
		EP 1643575 A1	05-04-2006
		JP 4579560 B2	10-11-2010
		JP 2005038817 A	10-02-2005
		US 2006222919 A1	05-10-2006
		WO 2005001974 A1	06-01-2005
