

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 08.07.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 12.01.24 Bulletin 24/02.

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 Société Anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : CAHUZAC Adrien, SIBILLI Thierry et
MAALOUF Samer.

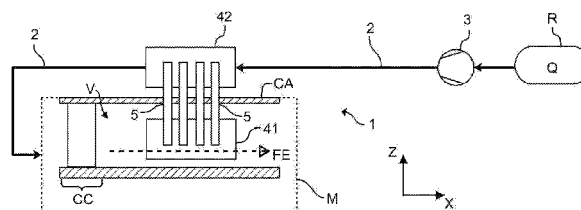
73 Titulaire(s) : SAFRAN Société Anonyme.

74 Mandataire(s) : ARGYMA.

54 Système et procédé de chauffage d'un carburant pour l'alimentation d'une turbomachine d'aéronef.

57 Un système de chauffage (1) d'un carburant pour l'alimentation d'une turbomachine (M) d'aéronef, le système de chauffage (1) comprenant un circuit de carburant (2) ; au moins un premier échangeur de chaleur (41) configuré pour être monté dans une veine intérieure (V) de la turbomachine (M), le premier échangeur de chaleur (41) étant configuré pour réchauffer un fluide caloporteur (F) à transition de phases à partir de calories issues d'un flux d'échappement (FE) ; au moins un deuxième échangeur de chaleur (42) configuré pour être monté extérieurement à la veine intérieure (V) de la turbomachine (M), le deuxième échangeur de chaleur (42) étant configuré pour réchauffer le flux de carburant (Q) à partir de calories issues du fluide caloporteur (F), et au moins un dispositif caloduc (5) monté entre le premier échangeur de chaleur (41) et le deuxième échangeur de chaleur (42), le fluide caloporteur (F) circulant dans le dispositif caloduc (5).

Figure de l'abrégé: Figure 2



Description

Titre de l'invention : Système et procédé de chauffage d'un carburant pour l'alimentation d'une turbomachine d'aéronef

Domaine technique

- [0001] La présente invention concerne le domaine des aéronefs comportant des turbo-machines alimentées par du carburant stocké dans un réservoir cryogénique.
- [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 des technologies électriques pour assurer la propulsion, et, les biocarburants aéronautiques, indispensables compléments aux progrès technologiques.
- [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 turbomachines d'aéronefs alimentées par du carburant stocké dans un réservoir cryogénique.

- [0007] Il est connu de stocker du carburant, en particulier de l'hydrogène, sous forme liquide pour limiter l'encombrement et la masse des réservoirs de l'aéronef. A titre d'exemple, le carburant est stocké à une température de l'ordre de -253 à -251°C (20 à 22 Kelvins) dans un réservoir cryogénique de l'aéronef.
- [0008] Afin de pouvoir être injecté dans la chambre de combustion d'une turbomachine, le carburant doit être conditionné, c'est-à-dire pressurisé et chauffé, pour permettre une combustion optimale. Un conditionnement est par exemple nécessaire pour réduire le risque de givrage/solidification de la vapeur d'eau contenue dans l'air qui circule dans la turbomachine, en particulier, au niveau des injecteurs de carburant de la turbomachine.
- [0009] En référence à la [Fig.1], il est représenté un système de chauffage SAA selon l'art antérieur comprenant un circuit de carburant 100 relié en entrée à un réservoir cryogénique R et en sortie à la chambre de combustion d'une turbomachine M. Un flux de carburant Q circulant d'amont en aval dans le circuit de carburant 100 traverse successivement une pompe mécanique 101 et un module de chauffage 102.
- [0010] La pompe mécanique 101 est configurée pour faire circuler le flux de carburant Q dans le circuit de carburant 100. Le module de chauffage 102 est configuré pour apporter des calories au flux de carburant Q afin de le réchauffer pour qu'il puisse être injecté dans la turbomachine M.
- [0011] En pratique, l'étape de chauffage de carburant nécessite de prélever des calories sur des sources chaudes de l'aéronef. A titre d'exemple, la chaleur générée par la turbomachine peut être utilisée (chaleur issue de l'huile de lubrification, calories en sortie de turbine, chaleur de la tuyère, etc.). La chaleur issue de l'aéronef peut également être utilisée (air issu de la cabine, chaleur issue de systèmes électriques ou électroniques, etc.).
- [0012] Dans l'art antérieur, on connaît par exemple de la demande de brevet FR2005628A1, une architecture, également représentée sur la [Fig.1], dans laquelle un fluide caloporteur F traverse un échangeur de chaleur EX dans lequel il extrait les calories des sources chaudes C disponibles à bord de l'aéronef (par exemple la chaleur issue de l'huile de lubrification de la turbomachine M, les calories en sortie de turbine ou bien encore la chaleur de la tuyère). Le fluide caloporteur F est ensuite acheminé via une boucle de circulation BC vers le module de chaleur 102 pour chauffer le carburant Q. Cette boucle de circulation BC du fluide caloporteur F permet d'éviter le risque de contamination entre le carburant et un oxydant dans un échangeur thermique par exemple. Une pompe mécanique PR de recirculation permet d'entraîner le fluide caloporteur F en mouvement dans la boucle de circulation BC.
- [0013] Cependant, dans une telle architecture, le fluide caloporteur doit pouvoir circuler à différents régimes et en particulier pour un fonctionnement maximal du moteur,

c'est-à-dire pour un débit important du carburant dans le circuit de carburant et donc pour un débit important du fluide caloporteur dans la boucle de circulation. Un débit important impose l'utilisation d'une pompe de recirculation fortement dimensionnée, ce qui implique une pompe lourde et encombrante. Le transport du fluide caloporteur doit également être réalisé via des tuyauteries particulières qui présentent une masse et un encombrement importants.

[0014] En résumé, la boucle de circulation d'un fluide caloporteur est complexe à mettre en œuvre et présente une masse et un encombrement importants, ce qui n'est pas souhaitable 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 l'utilisation d'une pompe mécanique surdimensionnée entraîne une consommation électrique importante, ce qui n'est pas souhaitable pour les mêmes raisons.

[0015] De manière incidente, on connaît également un dispositif de transfert de chaleur, connu sous la désignation « caloduc », fonctionnant en cycle fermé et permettant de réchauffer un fluide à partir d'un fluide caloporteur à transition de phases. Plus précisément, dans un caloduc, le fluide caloporteur prélève de la chaleur dans une zone chaude et passe de l'état liquide à l'état gazeux, puis circule vers une zone froide où il restitue la chaleur au fluide à réchauffer en retournant à l'état liquide. Un caloduc présente l'avantage de s'affranchir de l'utilisation d'une pompe mécanique et présente une masse limitée. Cependant, un caloduc est communément utilisé pour réchauffer un flux d'air ou refroidir une huile moteur et ne peut être intégré facilement dans un circuit de carburant d'un aéronef pour réchauffer un flux de carburant cryogénique.

[0016] L'invention vise ainsi à éliminer au moins certains de ces inconvénients en proposant un système de chauffage d'un carburant cryogénique simple et efficace qui permette de s'affranchir de l'utilisation d'une boucle de circulation d'un fluide caloporteur.

PRESENTATION DE L'INVENTION

[0017] L'invention concerne un système de chauffage d'un carburant pour l'alimentation d'une turbomachine d'aéronef, le carburant étant issu d'un réservoir cryogénique, la turbomachine comprenant une chambre de combustion et une veine intérieure de circulation d'un flux d'échappement issu de la chambre de combustion, le système de chauffage comprenant :

- un circuit de carburant configuré pour être relié en entrée au réservoir cryogénique et en sortie à la turbomachine, un flux de carburant circulant d'amont en aval dans le circuit de carburant,
- au moins un premier échangeur de chaleur configuré pour être monté dans la veine intérieure de la turbomachine, le premier échangeur de chaleur étant

configuré pour réchauffer un fluide caloporteur à transition de phases à partir de calories issues du flux d'échappement,

- au moins un deuxième échangeur de chaleur configuré pour être monté extérieurement à la veine intérieure de la turbomachine, le deuxième échangeur de chaleur étant configuré pour réchauffer le flux de carburant à partir de calories issues du fluide caloporteur, et
- au moins un dispositif caloduc monté entre le premier échangeur de chaleur et le deuxième échangeur de chaleur, le fluide caloporteur circulant dans le dispositif caloduc et étant configuré pour passer dans un état gazeux dans le premier échangeur de chaleur et dans un état liquide dans le deuxième échangeur de chaleur.

[0018] Le système de chauffage selon l'invention permet de réchauffer le flux de carburant issu du réservoir cryogénique de manière efficace à partir du flux d'échappement qui est issu de la chambre de combustion de la turbomachine et présente des températures élevées. Le flux d'échappement contenant de l'oxygène et le flux de carburant ne sont avantageusement pas mis en contact, ce qui permet d'éviter tout risque de combustion du carburant hors de la chambre de combustion de la turbomachine. Le dispositif caloduc permet de transférer la chaleur du flux d'échappement au flux de carburant de manière indirecte.

[0019] Le dispositif caloduc peut avantageusement être monté au plus proche des échangeurs de chaleur, permettant de s'affranchir d'une boucle de circulation d'un fluide caloporteur selon l'art antérieur, ce qui permet de s'affranchir de l'ajout d'une pompe mécanique dont l'encombrement et la masse sont importants et qui est très consommatrice en énergie.

[0020] Par dispositif caloduc, on entend un dispositif conducteur de chaleur hermétique dans lequel circule un fluide caloporteur en équilibre liquide-vapeur et configuré pour transférer de la chaleur par transition de phases, c'est-à-dire fonctionnant selon un principe évaporation-condensation.

[0021] En résumé, le système de chauffage selon l'invention permet de s'affranchir de l'utilisation d'éléments coûteux, massifs et consommateurs d'énergie.

[0022] Dans une forme de réalisation, le système de chauffage comprend une pluralité de dispositifs caloducs montés entre le premier échangeur de chaleur et le deuxième échangeur de chaleur, permettant de chauffer le flux de carburant de manière efficace en prélevant plus de calories au flux d'échappement.

[0023] De préférence, le nombre de dispositifs caloducs est compris entre deux et mille dispositifs caloducs.

[0024] De manière préférée, la turbomachine comprenant une tuyère d'échappement en aval de la chambre de combustion, le système de chauffage est monté au niveau d'une veine

intérieure de la tuyère d'échappement, de manière à monter le premier échangeur de chaleur directement dans la veine intérieure de la tuyère d'échappement et récupérer efficacement les calories du flux d'échappement.

- [0025] Dans une forme de réalisation, la turbomachine comprenant une veine primaire de circulation d'un flux d'air, le premier échangeur de chaleur est monté dans la veine primaire de la turbomachine.
- [0026] De manière préférée, le fluide caloporteur à transition de phases est choisi parmi le pentane, le méthanol, le toluène, l'acétone, l'eau, l'eau glycolée.
- [0027] Dans une forme de réalisation, la turbomachine comprenant au moins une aube de guidage fixe montée radialement dans la veine intérieure, le premier échangeur de chaleur est intégré à l'aube de guidage fixe de la turbomachine. Une telle forme de réalisation permet de s'affranchir du montage d'un échangeur de chaleur supplémentaire, permettant de limiter la masse du système de chauffage.
- [0028] De préférence, l'aube de guidage comprenant une enveloppe creuse définissant une paroi intérieure, le dispositif caloduc est configuré pour être positionné en contact avec la paroi intérieure, de manière à récupérer efficacement la chaleur du flux d'échappement circulant dans la veine intérieure.
- [0029] Dans une forme de réalisation, l'aube de guidage fixe comprenant une enveloppe creuse définissant une paroi intérieure, le premier échangeur comprend une pluralité d'éléments conducteurs, montés sur la paroi intérieure de l'aube de guidage fixe, de manière à augmenter le transfert de chaleur du flux d'échappement vers le fluide caloporteur par convection.
- [0030] Dans une forme de réalisation, la paroi intérieure de l'aube de guidage fixe est une paroi poreuse de manière à améliorer le transfert de chaleur avec le flux d'échappement.
- [0031] Dans une forme de réalisation, le deuxième échangeur de chaleur est monté dans un module de protection comprenant un gaz inerte, le module de protection étant configuré pour détecter une fuite dans le deuxième échangeur de chaleur. Ainsi, toute fuite de carburant est évitée.
- [0032] De préférence, les échangeurs de chaleur comprennent chacun des surfaces secondaires d'échanges thermiques, par exemple des rainures ou des ailettes, pour favoriser les échanges thermiques entre le flux d'échappement, respectivement le flux de carburant, et le fluide caloporteur.
- [0033] De manière préférée, le deuxième échangeur de chaleur est positionné verticalement au-dessus du premier échangeur de chaleur, de manière à permettre un retour du fluide caloporteur à l'état liquide par gravité dans le dispositif caloduc.
- [0034] Dans une forme de réalisation, le système de chauffage comprend :
 - au moins deux premiers échangeurs de chaleur, chacun étant configuré pour

- être monté dans la veine intérieure de la turbomachine, et
 - au moins deux dispositifs caloducs reliant respectivement les deux premiers échangeurs de chaleur au deuxième échangeur de chaleur.
- [0035] Une telle forme de réalisation permet de réchauffer le flux de carburant de manière progressive et plus efficace. Le deuxième échangeur est avantageusement mutualisé, ce qui limite l'encombrement.
- [0036] L'invention concerne également un ensemble d'une turbomachine d'aéronef comprenant une chambre de combustion et une veine intérieure de circulation d'un flux d'échappement issu de la chambre de combustion et d'un système de chauffage tel que décrit précédemment, le premier échangeur de chaleur étant monté dans la veine intérieure de la turbomachine et le deuxième échangeur de chaleur étant monté extérieurement à la turbomachine.
- [0037] L'invention porte également sur un aéronef comprenant un réservoir cryogénique dans lequel est stocké un carburant et un ensemble d'une turbomachine et d'un système de chauffage du carburant tel que décrit précédemment.
- [0038] Enfin, l'invention concerne un procédé de chauffage d'un carburant pour l'alimentation d'une turbomachine d'aéronef, le carburant étant issu d'un réservoir cryogénique, la turbomachine comprenant une chambre de combustion et une veine intérieure de circulation d'un flux d'échappement issu de la chambre de combustion, le procédé de chauffage étant réalisé au moyen du système de chauffage tel que décrit précédemment et comprenant les étapes consistant à :
- Réchauffer le fluide caloporteur à l'état liquide dans le premier échangeur de chaleur à partir des calories issues du flux d'échappement circulant dans la veine intérieure de la turbomachine de manière à ce que le fluide caloporteur soit à l'état gazeux,
 - Acheminer, dans le dispositif caloduc, le fluide caloporteur à l'état gazeux vers le deuxième échangeur de chaleur,
 - Réchauffer le flux de carburant, dans le deuxième échangeur de chaleur, à partir des calories issues du fluide caloporteur à l'état gazeux de manière à ce que le fluide caloporteur soit à l'état liquide.

PRESENTATION DES FIGURES

- [0039] 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.
- [0040] La [Fig.1] est une représentation schématique d'un système de chauffage selon l'art antérieur.

- [0041] La [Fig.2] est une représentation schématique d'un système de chauffage selon une forme de réalisation de l'invention.
- [0042] La [Fig.3] est une représentation schématique du système de chauffage de la [Fig.2] monté dans une turbomachine d'aéronef selon une première forme de réalisation de l'invention.
- [0043] La [Fig.4] est une représentation schématique d'un dispositif caloduc du système de chauffage de la [Fig.2].
- [0044] La [Fig.5] est une représentation schématique du système de chauffage de la [Fig.2] monté dans une turbomachine d'aéronef selon une deuxième forme de réalisation de l'invention.
- [0045] La [Fig.6] est une vue rapprochée du système de chauffage et d'une aube de la turbomachine de la [Fig.5] selon un plan de coupe A : A.
- [0046] La [Fig.7] est une vue rapprochée du système de chauffage et d'une aube de la turbomachine de la [Fig.5] selon un deuxième plan de coupe B : B.
- [0047] La [Fig.8] est une représentation schématique du système de chauffage de la [Fig.2] selon une troisième forme de réalisation de l'invention.
- [0048] La [Fig.9] est une représentation schématique du système de chauffage de la [Fig.2] monté dans une turbomachine d'aéronef selon une troisième forme de réalisation de l'invention.
- [0049] La [Fig.10] est un schéma des étapes d'un procédé de chauffage d'un carburant selon un mode de mise en œuvre de l'invention.
- [0050] 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

- [0051] En référence à la [Fig.2], il est représenté un système de chauffage 1 d'un carburant Q pour l'alimentation d'une turbomachine M d'aéronef, le carburant Q étant issu d'un réservoir cryogénique R. La turbomachine M est configurée pour assurer la propulsion de l'aéronef, notamment, par entraînement d'au moins un organe propulsif (non représenté sur la [Fig.2]). Dans cet exemple, le carburant Q est de l'hydrogène liquide mais l'invention s'applique à d'autres types de carburant, par exemple, du méthane liquide ou du gaz naturel liquéfié.
- [0052] Dans cet exemple, le carburant Q dans le réservoir cryogénique R est stocké à une température de l'ordre de -253 à -251°C (20 à 22 Kelvins). A cette température, le flux de carburant Q est liquide.
- [0053] En référence à la [Fig.2], la turbomachine M s'étend selon un axe longitudinal X et comprend une chambre de combustion CC et une veine intérieure V principale de cir-

culution d'un flux d'échappement FE issu de la chambre de combustion CC. Dans cet exemple, la turbomachine M comprend une tuyère d'échappement TE ([Fig.3]), en aval de la chambre de combustion CC, qui forme la veine intérieure V de circulation du flux d'échappement FE.

- [0054] Plus précisément, comme cela est connu, la turbomachine M comprend une veine primaire délimitée par un carénage CA et alimentée par une soufflante amont (non représentée), également désignée « rotor », montée rotative autour de l'axe X. Le rotor permet d'accélérer un flux d'air d'amont vers l'aval circulant dans la veine primaire. Après avoir traversé un compresseur basse pression et un compresseur haute pression pour être accéléré, le flux d'air est ensuite introduit dans la chambre de combustion CC où il est mis en contact avec le carburant Q pour être brûlé. Le flux d'échappement FE est généré en sortie de la chambre de combustion CC dans la veine primaire et traverse la tuyère d'échappement TE. La turbomachine M comprend également une veine secondaire (non représentée) qui s'étend circonférentiellement extérieurement à la veine primaire. Un espace inter-veine est défini entre la veine primaire et la veine secondaire.
- [0055] Comme décrit précédemment, pour pouvoir être introduit dans la chambre de combustion CC, le carburant Q, initialement stocké à des températures cryogéniques, doit être réchauffé.
- [0056] L'invention concerne ainsi un système de chauffage 1 du carburant Q. Dans cet exemple, le système de chauffage 1 est monté au niveau de la tuyère d'échappement TE de la turbomachine M. De manière préférée, comme représenté sur la [Fig.2], le système de chauffage 1 s'étend verticalement selon un axe Z, sensiblement radial à l'axe d'écoulement X de la turbomachine M.
- [0057] Selon l'invention, toujours en référence à la [Fig.2], le système de chauffage 1 comprend un circuit de carburant 2 configuré pour être relié en entrée au réservoir cryogénique R et en sortie à la turbomachine M, un premier échangeur de chaleur 41, un deuxième échangeur de chaleur 42 et un dispositif caloduc 5, monté entre le premier échangeur de chaleur 41 et le deuxième échangeur de chaleur 42. Un flux de carburant Q circule, au moyen d'une pompe mécanique 3, d'amont en aval dans le circuit de carburant 2 depuis le réservoir cryogénique R jusqu'à la chambre de combustion CC de la turbomachine M.
- [0058] Dans cette première forme de réalisation, le système de chauffage 1 comprend un unique premier échangeur de chaleur 41 et un unique deuxième échangeur de chaleur 42, cependant il va de soi que le nombre de premier échangeur de chaleur 41 et/ou de deuxième échangeur de chaleur 42 peut être différent. En particulier, le système de chauffage 1 peut comprendre une pluralité de premiers échangeurs de chaleur 41 associés à un même deuxième échangeur de chaleur 42, comme cela sera décrit plus en détails par la suite.

- [0059] Selon l'invention, comme représenté sur la [Fig.2] et la [Fig.3], le premier échangeur de chaleur 41 est monté dans la veine intérieure V de la turbomachine M. De préférence, le premier échangeur de chaleur 41 est monté à l'intérieur de la veine intérieure V formée par la tuyère d'échappement TE et est configuré pour récupérer le flux d'échappement FE issu de la chambre de combustion CC. Dans une forme de réalisation préférée, le premier échangeur de chaleur 41 est monté à l'intérieur de la veine primaire de la turbomachine M, telle que décrite précédemment, de manière à récupérer un flux d'échappement FE primaire circulant dans la veine primaire.
- [0060] Selon l'invention, le premier échangeur de chaleur 41 est configuré pour réchauffer un fluide caloporteur F à transition de phases à partir de calories issues du flux d'échappement FE, comme cela sera décrit plus en détails par la suite.
- [0061] Dans cet exemple, le flux d'échappement FE circule dans la veine intérieure V et présente en entrée du premier échangeur de chaleur 41 une température comprise entre 300 et 600 °C.
- [0062] Dans cet exemple, le premier échangeur de chaleur 41 est un échangeur de chaleur tubulaire ou à plaques. Les surfaces d'échange de chaleur dans le premier échangeur de chaleur 41 comportent, dans une forme de réalisation, des organes d'échange supplémentaires, tels que des ailettes ou des rainures par exemple, afin d'améliorer les performances aérothermiques globales de l'échangeur de chaleur.
- [0063] Selon l'invention, toujours en référence aux figures 2 et 3, le deuxième échangeur de chaleur 42 est monté extérieurement à la veine intérieure V principale de la turbomachine M. Plus précisément, le deuxième échangeur de chaleur 42 est monté, de préférence, extérieurement au carénage CA délimitant la tuyère d'échappement TE de la veine intérieure V principale de la turbomachine M. Dans cet exemple, le deuxième échangeur de chaleur 42 est monté extérieurement à la veine primaire, par exemple dans l'espace inter-veine ou dans la veine secondaire de la turbomachine M.
- [0064] De préférence, le deuxième échangeur de chaleur 42 est monté sur la turbomachine M radialement en vis-à-vis du premier échangeur de chaleur 41. Dans une forme de réalisation (dans le cas d'un dispositif caloduc 5 gravitaire qui sera décrit plus en détails par la suite), comme représenté sur les figures 2 et 3, le deuxième échangeur de chaleur 42 est positionné verticalement suivant l'axe Z au-dessus du premier échangeur 41.
- [0065] Selon l'invention, le deuxième échangeur de chaleur 42 est configuré pour réchauffer le flux de carburant Q à partir de calories issues du fluide caloporteur F à transition de phases, comme cela sera décrit plus en détails par la suite.
- [0066] Dans cet exemple, le deuxième échangeur de chaleur 42 est un échangeur de chaleur tubulaire ou à plaques. Les surfaces d'échange de chaleur dans le deuxième échangeur de chaleur 42 comportent, dans une forme de réalisation, des organes d'échange sup-

plémentaires, tels que des ailettes par exemple, afin d'améliorer les performances aérothermiques globales de l'échangeur de chaleur.

- [0067] En référence aux figures 2 et 3, le dispositif caloduc 5 est monté entre le premier échangeur de chaleur 41 et le deuxième échangeur de chaleur 42.
- [0068] Dans une forme de réalisation préférée, comme représenté sur les figures 2 et 3, le système de chauffage 1 comprend une pluralité de dispositifs caloducs 5 montés entre le premier échangeur de chaleur 41 et le deuxième échangeur de chaleur 42. Dans cet exemple, le système de chauffage 1 comprend quatre dispositifs caloducs 5, cependant il va de soi que le nombre de dispositifs caloducs 5 pourrait être différent. En particulier, le système de chauffage 1 comprend de préférence un nombre de dispositifs caloducs 5 compris entre un et mille dispositifs caloducs 5.
- [0069] Dans cet exemple dans lequel le premier échangeur de chaleur 41 est monté intérieurement à la tuyère d'échappement TE et le deuxième échangeur de chaleur 42 est monté extérieurement à la tuyère d'échappement TE, chaque dispositif caloduc 5 s'étend de préférence dans le carénage CA délimitant la tuyère d'échappement TE.
- [0070] Par définition, un dispositif caloduc 5 est un dispositif conducteur de chaleur fermé hermétiquement dans lequel circule un fluide caloporteur F en équilibre liquide-vapeur. Le dispositif caloduc 5 fonctionne en cycle fermé selon un principe évaporation-condensation, c'est-à-dire qu'il est configuré pour transférer de la chaleur par transition de phases. Selon l'invention, comme représenté sur la [Fig.3], le fluide caloporteur F est configuré pour circuler dans une boucle et pour passer dans un état gazeux dans le premier échangeur de chaleur 41 et dans un état liquide dans le deuxième échangeur de chaleur 42.
- [0071] Dans cet exemple, le fluide caloporteur F est configuré pour être à une température comprise entre 25 et 300 °C à l'état liquide comme à l'état gazeux. Le ratio de densité entre le fluide caloporteur F à l'état gazeux et le fluide caloporteur F l'état liquide est dans cet exemple compris entre 10 et 1000.
- [0072] Dans une forme de réalisation préférée, représentée sur la [Fig.4], chaque dispositif caloduc 5 présente une forme tubulaire et comprend un tube extérieur 51 et un tube intérieur 52, monté intérieurement au tube extérieur 51. Le tube extérieur 51 et le tube intérieur 52 sont de préférence concentriques. Dans cet exemple, le fluide caloporteur F est configuré pour circuler dans le tube extérieur 51 à l'état liquide et dans le tube intérieur 52 à l'état gazeux.
- [0073] Dans cette forme de réalisation, la circulation du fluide caloporteur F est réalisée par capillarité. Dans un tel dispositif caloduc 5, au contact du premier échangeur de chaleur 41 dans lequel circule le flux d'échappement FE, le fluide caloporteur F est configuré pour se vaporiser en induisant une légère surpression qui provoque le mouvement de la vapeur vers le deuxième échangeur de chaleur 42. Dans le deuxième

échangeur de chaleur 42, le fluide caloporteur est configuré pour transférer ses calories au flux de carburant Q, la vapeur se condense et repasse alors en phase liquide. Le fluide caloporteur F condensé circule dans un réseau capillaire et revient vers le premier échangeur de chaleur 41 sous l'effet de forces capillaires.

- [0074] De manière alternative, dans l'exemple dans lequel le deuxième échangeur de chaleur 42 est monté verticalement au dessus du premier échangeur de chaleur 41, la circulation du fluide caloporteur F est configurée pour être réalisée par gravité dans le dispositif caloduc 5. Plus précisément, le fluide caloporteur F est configuré pour passer à l'état gazeux dans le premier échangeur de chaleur 41, pour monter par évaporation, pour se liquéfier au contact du flux de carburant Q en lui transférant ses calories, pour repasser à l'état liquide et redescendre par gravité.
- [0075] Un tel dispositif caloduc 5 est connu de l'Homme du métier et son fonctionnement ne sera pas décrit plus en détails dans ce document.
- [0076] Dans une forme de réalisation préférée, le fluide caloporteur F à transition de phases est choisi parmi le pentane, le méthanol, le toluène, l'acétone, l'eau, l'eau glycolée.
- [0077] Grâce à un tel dispositif caloduc 5, le système de chauffage 1 est exempt de pompe mécanique à la différence d'une boucle de fluide caloporteur selon l'art antérieur.
- [0078] Dans une forme de réalisation, en référence à la [Fig.5], la turbomachine M comprend une aube de guidage fixe AG montée radialement dans la veine intérieure V. Par l'expression « aube de guidage fixe », on entend un aube non mobile pouvant avoir des fonctions structurelles et/ou de servitude. Plus précisément, l'aube de guidage fixe AG s'étend radialement entre un moyeu central MC et le carénage CA de la turbomachine M de préférence verticalement. L'aube de guidage fixe AG est configurée pour redresser le flux d'échappement FE ou maintenir le moyeu central MC de la turbomachine M.
- [0079] L'aube de guidage fixe AG comprend dans cet exemple une enveloppe creuse ENV définissant une paroi intérieure PI.
- [0080] Dans cette forme de réalisation, le premier échangeur de chaleur 41 est intégré à l'aube de guidage fixe AG de la turbomachine M, comme représenté sur la [Fig.5]. Autrement dit, l'enveloppe creuse ENV remplit la fonction du premier échangeur de chaleur 41 et permet d'échanger des calories entre le fluide caloporteur F circulant dans le dispositif caloduc 5 et le flux d'échappement FE circulant dans la veine intérieure V. Chaque dispositif caloduc 5 s'étend ainsi à l'intérieur de l'enveloppe creuse ENV de l'aube de guidage fixe AG pour permettre l'évaporation du fluide caloporteur F à l'intérieur des dispositifs caloducs 5 et l'acheminement du fluide caloporteur F chargé de calories vers le deuxième échangeur de chaleur 42.
- [0081] Dans cette forme de réalisation, en référence à la [Fig.6] représentant une vue en coupe longitudinale (selon un plan A:A) de l'aube de guidage AG, chaque dispositif

caloduc 5 est configuré, de préférence, pour être en contact avec la paroi intérieure PI de l'aube de guidage fixe AG, de manière à permettre un transfert par convection de la chaleur du flux d'échappement FE au fluide caloporteur F circulant dans chaque dispositif caloduc 5.

- [0082] De préférence encore, en référence à la [Fig.7] (représentant une vue en coupe de l'aube de guidage AG selon un plan B:B), le premier échangeur de chaleur 41 comprend une pluralité d'éléments conducteurs 7, montés sur la paroi intérieure PI de l'aube de guidage fixe AG pour améliorer les échanges de chaleur dans le premier échangeur de chaleur 41. A titre d'exemple, chaque élément conducteur 7 se présente sous la forme d'un organe continu réalisé dans un matériau conducteur de chaleur (par exemple du cuivre, d'aluminium, ...) en contact thermique à la fois avec la paroi intérieure PI de l'aube de guidage fixe AG et avec les dispositifs caloducs 5.
- [0083] Dans une forme de réalisation préférée, en référence à la [Fig.8], la paroi intérieure PI de l'aube de guidage fixe AG est une paroi poreuse PP de manière à améliorer le transfert de chaleur entre le flux d'échappement FE et les dispositifs caloducs 5.
- [0084] En référence à la [Fig.3], dans une forme de réalisation, le système de chauffage 1 comprend un module de protection 6 dans lequel est monté le deuxième échangeur de chaleur 42. Le module de protection 6 comprend un gaz inerte et est configuré pour détecter une fuite dans le deuxième échangeur de chaleur 42.
- [0085] Il a été présenté un système de chauffage 1 comprenant un unique premier échangeur de chaleur 41 et un unique deuxième échangeur de chaleur 42. De manière alternative, comme représenté sur la [Fig.9], le système de chauffage 1 peut comprendre une pluralité de premiers échangeurs de chaleur 41, chacun monté dans la veine intérieure V de la turbomachine M. Dans cet exemple, le système de chauffage 1 comprend plusieurs pluralités de dispositifs caloducs 5, chaque pluralité de dispositifs caloducs 5 étant montée entre l'un des premiers échangeurs de chaleur 41 et un même deuxième échangeur de chaleur 42. Les premiers échangeurs de chaleur 41 s'étendent ainsi successivement d'amont en aval dans la veine intérieure V et permettent de réchauffer le flux de carburant Q de manière progressive dans le deuxième échangeur de chaleur 42, tout en atteignant des températures plus élevées.
- [0086] Il va de soi que le système de chauffage 1 pourrait tout aussi bien comprendre une pluralité de deuxièmes échangeurs de chaleur 42, chacun monté extérieurement à la veine intérieure V de la turbomachine M. Chaque deuxième échangeur de chaleur 42 pourrait échanger des calories avec un ou plusieurs premiers échangeurs de chaleur 41 via différents dispositifs caloducs 5.
- [0087] Il va dorénavant être décrit un procédé de chauffage d'un carburant Q pour l'alimentation d'une turbomachine d'aéronef M au moyen du système de chauffage 1 tel que décrit précédemment, en référence aux figures 2 et 10. Le carburant Q est issu

d'un réservoir cryogénique R. La turbomachine M comprend une chambre de combustion CC et une veine intérieure V dans laquelle circule un flux d'échappement FE issu de la chambre de combustion CC. Dans cet exemple, le système de chauffage 1 s'étend de manière à ce que le deuxième échangeur de chaleur 42 soit positionné radialement en vis-à-vis du premier échangeur de chaleur 41. Le fluide caloporteur F circulant dans le dispositif caloduc 5 est initialement dans un état liquide à une température de 25 à 300 °C. Par souci de clarté et de concision, le procédé de chauffage va être décrit dans ce document pour un unique premier échangeur de chaleur 41 et un unique deuxième échangeur de chaleur 42, relié par un unique dispositif caloduc 5, le fonctionnement de plusieurs dispositifs caloducs 5 étant analogue.

[0088] Dans une première étape E1, le fluide caloporteur F (circulant dans le dispositif caloduc 5) est réchauffé dans le premier échangeur de chaleur 41 à partir des calories issues du flux d'échappement FE circulant dans la veine intérieure V de la turbomachine M. Dans cet exemple, le fluide caloporteur F passe alors à l'état gazeux.

[0089] Dans une deuxième étape E2, le fluide caloporteur F à l'état gazeux est acheminé dans le dispositif caloduc 5 depuis le premier échangeur de chaleur 41 vers le deuxième échangeur de chaleur 42. Dans cet exemple, le fluide caloporteur F circule dans le dispositif caloduc 5 via le tube intérieur 52.

[0090] Le flux de carburant Q, initialement à une température cryogénique de l'ordre de -251°C, est ensuite réchauffé dans une troisième étape E3, dans le deuxième échangeur de chaleur 42, à partir des calories issues du fluide caloporteur F à l'état gazeux. Dans cet exemple, le flux de carburant Q est réchauffé jusqu'à une température de l'ordre de -73 à 127 °C. Le fluide caloporteur F est alors refroidi, de manière à ce que ce dernier soit à l'état liquide.

[0091] Le fluide caloporteur F à l'état liquide circule dans cet exemple par capillarité dans le tube extérieur 51 du dispositif caloduc 5 pour rejoindre le premier échangeur de chaleur 41 où il sera de nouveau réchauffé par le flux d'échappement FE.

Revendications

- [Revendication 1] Système de chauffage (1) d'un carburant (Q) pour l'alimentation d'une turbomachine (M) d'aéronef, le carburant (Q) étant issu d'un réservoir cryogénique (R), la turbomachine (M) comprenant une chambre de combustion (CC) et une veine intérieure (V) de circulation d'un flux d'échappement (FE) issu de la chambre de combustion (CC), le système de chauffage (1) comprenant :
- un circuit de carburant (2) configuré pour être relié en entrée au réservoir cryogénique (R) et en sortie à la turbomachine (M), un flux de carburant (Q) circulant d'amont en aval dans le circuit de carburant (2),
 - au moins un premier échangeur de chaleur (41) configuré pour être monté dans la veine intérieure (V) de la turbomachine (M), le premier échangeur de chaleur (41) étant configuré pour réchauffer un fluide caloporteur (F) à transition de phases à partir de calories issues du flux d'échappement (FE),
 - au moins un deuxième échangeur de chaleur (42) configuré pour être monté extérieurement à la veine intérieure (V) de la turbomachine (M), le deuxième échangeur de chaleur (42) étant configuré pour réchauffer le flux de carburant (Q) à partir de calories issues du fluide caloporteur (F), et
 - au moins un dispositif caloduc (5) monté entre le premier échangeur de chaleur (41) et le deuxième échangeur de chaleur (42), le fluide caloporteur (F) circulant dans le dispositif caloduc (5) et étant configuré pour passer dans un état gazeux dans le premier échangeur de chaleur (41) et dans un état liquide dans le deuxième échangeur de chaleur (42).
- [Revendication 2] Système de chauffage (1) selon la revendication 1, comprenant une pluralité de dispositifs caloducs (5) montés entre le premier échangeur de chaleur (41) et le deuxième échangeur de chaleur (42).
- [Revendication 3] Système de chauffage (1) selon l'une des revendications 1 à 2, dans lequel la turbomachine (M) comprenant une tuyère d'échappement (TE) en aval de la chambre de combustion (CC), le système de chauffage (1) est monté au niveau d'une veine intérieure de la tuyère d'échappement (TE).

- [Revendication 4] Système de chauffage (1) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le fluide caloporteur (F) à transition de phases est choisi parmi le pentane, le méthanol, le toluène, l'acétone, l'eau, l'eau glycolée.
- [Revendication 5] Système de chauffage (1) selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la turbomachine (M) comprenant au moins une aube de guidage fixe (AG) montée radialement dans la veine intérieure (V), le premier échangeur de chaleur (41) est intégré à l'aube de guidage fixe (AG) de la turbomachine (M).
- [Revendication 6] Système de chauffage (1) selon la revendication 5, dans lequel l'aube de guidage fixe (AG) comprenant une enveloppe creuse (ENV) définissant une paroi intérieure (PI), le premier échangeur (41) comprend une pluralité d'éléments conducteurs (7), montés sur la paroi intérieure (PI) de l'aube de guidage fixe (AG).
- [Revendication 7] Système de chauffage (1) selon la revendication 6, dans lequel la paroi intérieure (PI) de l'aube de guidage fixe (AG) est une paroi poreuse de manière à améliorer le transfert de chaleur avec le flux d'échappement (FE).
- [Revendication 8] Système de chauffage (1) selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le deuxième échangeur de chaleur (42) est monté dans un module de protection (6) comprenant un gaz inerte, le module de protection (6) étant configuré pour détecter une fuite dans le deuxième échangeur de chaleur (42).
- [Revendication 9] Système de chauffage (1) selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel le deuxième échangeur de chaleur (42) est positionné verticalement au-dessus du premier échangeur de chaleur (41).
- [Revendication 10] Système de chauffage (1) selon l'une des revendications 1 à 9, comprenant :
- au moins deux premiers échangeurs de chaleur (41), chacun étant configuré pour être monté dans la veine intérieure (V) de la turbomachine (M), et
 - au moins deux dispositifs caloducs (5) reliant respectivement les deux premiers échangeurs de chaleur (41) au deuxième échangeur de chaleur (42).
- [Revendication 11] Ensemble d'une turbomachine (M) d'aéronef comprenant une chambre de combustion (CC) et une veine intérieure (V) de circulation d'un flux d'échappement (FE) issu de la chambre de combustion (CC) et d'un

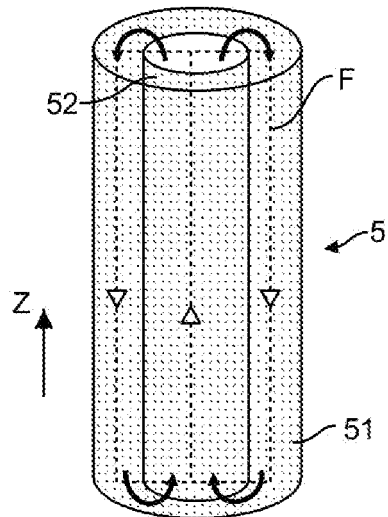
système de chauffage (1) selon l'une des revendications 1 à 10, le premier échangeur de chaleur (41) étant monté dans la veine intérieure (V) de la turbomachine (M) et le deuxième échangeur de chaleur (42) étant monté extérieurement à la turbomachine (M).

[Revendication 12] Aéronef comprenant un réservoir cryogénique (R) dans lequel est stocké un carburant (Q) et un ensemble d'une turbomachine (M) et d'un système de chauffage (1) du carburant (Q) selon l'une des revendications 1 à 10.

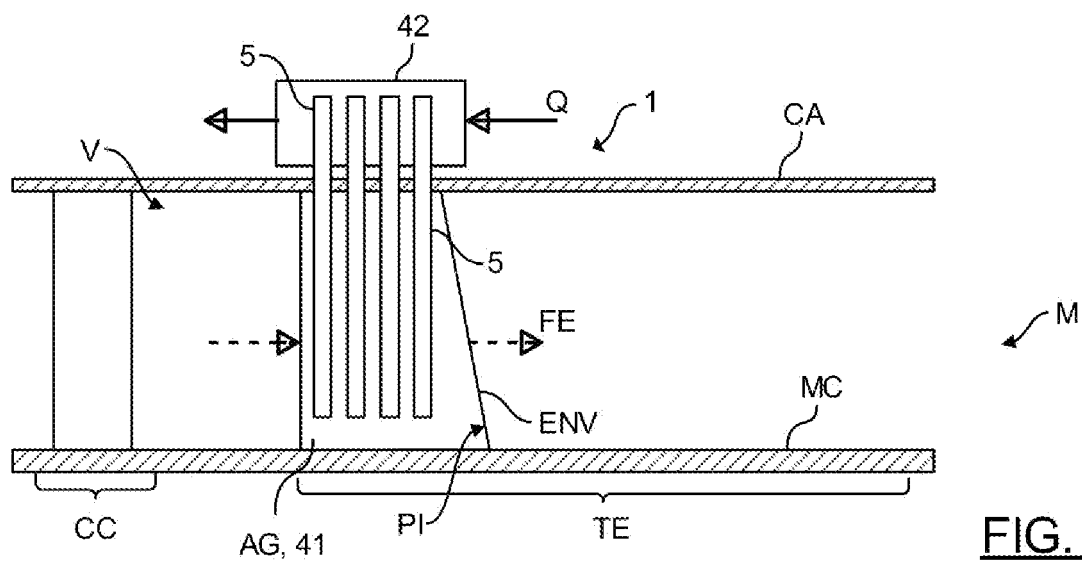
[Revendication 13] Procédé de chauffage d'un carburant (Q) pour l'alimentation d'une turbomachine d'aéronef (M), le carburant (Q) étant issu d'un réservoir cryogénique (R), la turbomachine (M) comprenant une chambre de combustion (CC) et une veine intérieure (V) de circulation d'un flux d'échappement (FE) issu de la chambre de combustion (CC), le procédé de chauffage étant réalisé au moyen du système de chauffage (1) selon l'une des revendications 1 à 10 et comprenant les étapes consistant à :

- Réchauffer (E1) le fluide caloporteur (F) à l'état liquide dans le premier échangeur de chaleur (41) à partir des calories issues du flux d'échappement (FE) circulant dans la veine intérieure (V) de la turbomachine (M) de manière à ce que le fluide caloporteur (F) soit à l'état gazeux,
- Acheminer (E2), dans le dispositif caloduc (5), le fluide caloporteur (F) à l'état gazeux vers le deuxième échangeur de chaleur (42),
- Réchauffer (E3) le flux de carburant (Q), dans le deuxième échangeur de chaleur (42), à partir des calories issues du fluide caloporteur (F) à l'état gazeux de manière à ce que le fluide caloporteur (F) soit à l'état liquide.

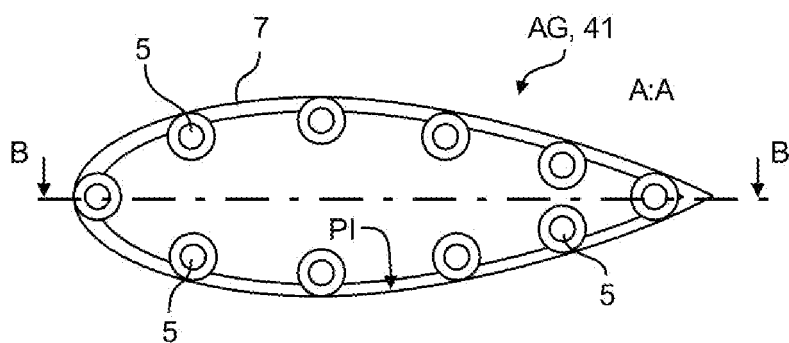
[Fig. 4]

FIG. 4

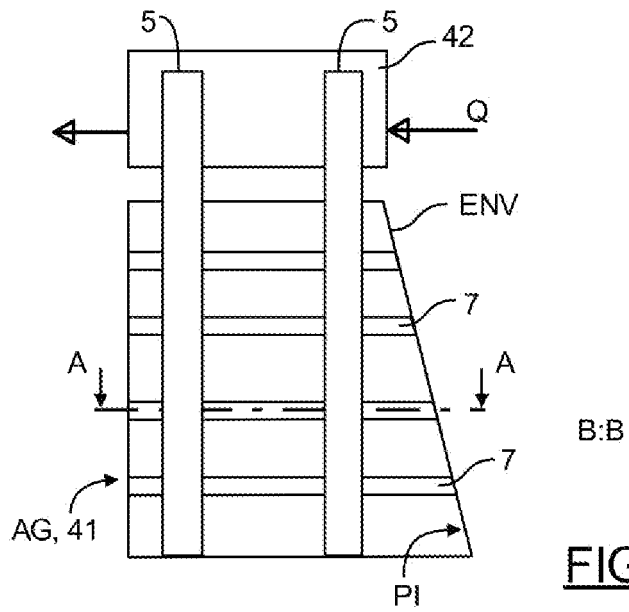
[Fig. 5]

FIG. 5

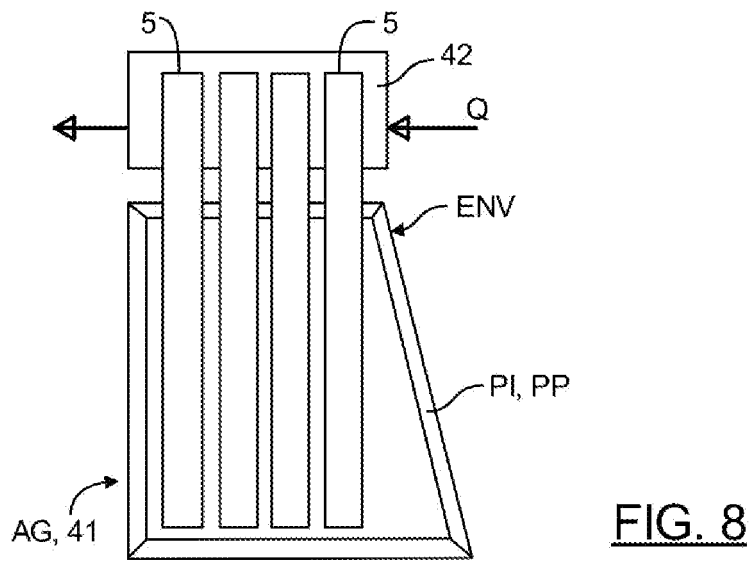
[Fig. 6]

FIG. 6

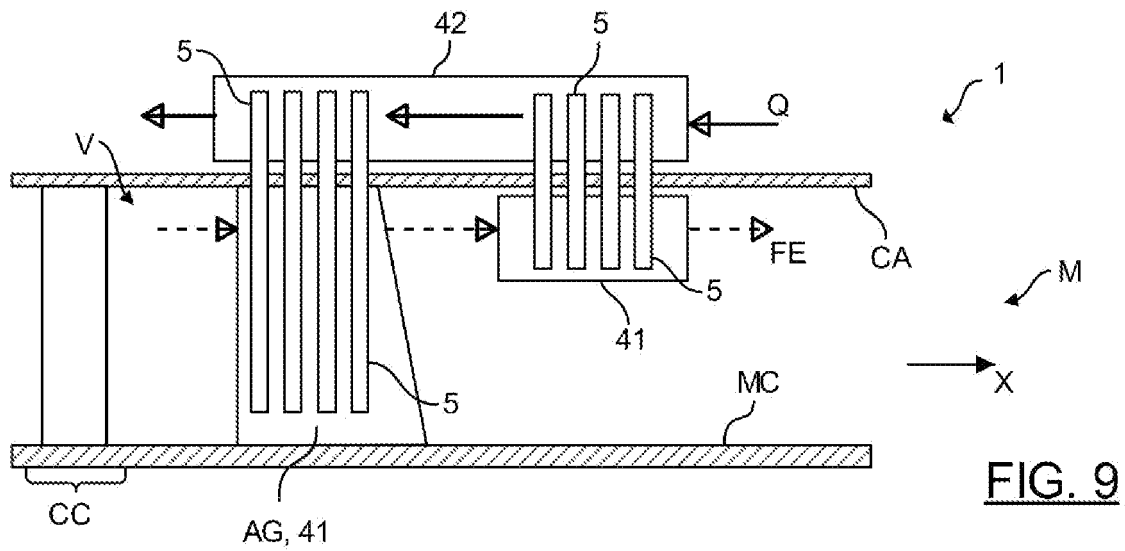
[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]

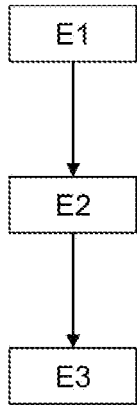


FIG. 10

**RAPPORT DE RECHERCHE
 PRÉLIMINAIRE**

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

 N° d'enregistrement
 national

FA 908822
FR 2207064

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		
Y	EP 3 623 602 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 18 mars 2020 (2020-03-18) * alinéas [0009] - [0034]; figure 1 * -----	1-13	F02C3/22 F02C7/224 F02C9/40
Y	EP 3 075 953 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 5 octobre 2016 (2016-10-05) * alinéas [0023], [0024] * * figures 8,9 * -----	1-13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) F02C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 février 2023		Gebker, Ulrich	
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			

FA 908822