(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 146 322**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **23 01927**

(51) Int Cl[8] : ***F 02 C 9/40*** *(2023.01), F 02 C 3/22, F 02 C 7/224*

(12) **BREVET D'INVENTION** **B1**

(54) Système de conditionnement de carburant pour une turbomachine d'aéronef et procédé d'utilisation.

(22) **Date de dépôt :** 01.03.23.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 06.09.24 Bulletin 24/36.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 07.02.25 Bulletin 25/06.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *SAFRAN AIRCRAFT ENGINES*
Société par actions simplifiée — FR.

(72) **Inventeur(s) :** PEAN Eric Charles.

(73) **Titulaire(s) :** SAFRAN AIRCRAFT ENGINES Société par actions simplifiée.

(74) **Mandataire(s) :** ARGYMA.

FR 3 146 322 - B1

Description

Titre de l'invention : Système de conditionnement de carburant pour une turbomachine d'aéronef et procédé d'utilisation

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine des turbomachines d'aéronef, et vise un système de conditionnement de carburant, en particulier d'hydrogène, pour alimenter une chambre de combustion d'une turbomachine d'aéronef.

[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 Etats. 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] Dans ce contexte, les travaux de recherche et de développement de la Déposante 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.

[0004] Un des enjeux de la Déposante est le développement d'une turbomachine d'aéronef fonctionnant à l'hydrogène. De manière connue, une telle turbomachine d'aéronef comprend une chambre de combustion configurée pour être alimentée en hydrogène gazeux qui est brûlé pour participer à la propulsion de l'aéronef.

[0005] En pratique, pour limiter l'encombrement à bord de l'aéronef, il est nécessaire de stocker l'hydrogène sous forme liquide à une température d'environ -253°C et une pression inférieure à 3bars dans des réservoirs cryogéniques. Pour permettre son injection sous forme gazeuse à une température entre -40°C et 0°C et à une pression entre 30bars et 80bars dans la chambre de combustion, la turbomachine d'aéronef comprend classiquement un système de conditionnement de carburant configuré pour mettre sous pression, réchauffer et doser l'hydrogène. De manière connue, le système de conditionnement comprend un circuit de carburant avec une ou plusieurs pompes pour permettre la mise sous pression, ainsi qu'un ou plusieurs échangeurs thermiques, reliés à une ou plusieurs sources chaudes de l'aéronef, pour assurer le réchauffage.

[0006] Pour assurer le dosage dans le circuit de carburant, il est connu d'utiliser une vanne de dosage de section variable. Toutefois, dans le cas d'un carburant sous la forme d'un

fluide compressible tel que l'hydrogène gazeux, le pilotage de la vanne est complexe car le débit massique de sortie dépend de nombreux paramètres physiques, notamment de la pression, de la température et du diamètre. Une solution serait de piloter la vanne à partir de données de nombreux capteurs. Une telle solution n'est toutefois pas satisfaisante, car elle augmente l'encombrement et rendrait le pilotage complexe, coûteux et peu précis.

[0007] L'invention vise ainsi à améliorer la précision du dosage dans un système de conditionnement de carburant, en particulier d'hydrogène, tout en limitant la dépense énergétique liée.

PRESENTATION DE L'INVENTION

[0008] L'invention concerne un système de conditionnement de carburant pour une turbomachine d'aéronef, ledit système de conditionnement comprenant un circuit de carburant configuré pour être relié fluidiquement en amont à au moins un réservoir de carburant et pour alimenter en aval une chambre de combustion de la turbomachine d'aéronef, ledit circuit de carburant comprenant :

- Au moins une première ligne d'injection configurée pour fournir un premier débit de carburant à la chambre de combustion, la première ligne d'injection comprenant au moins un premier dispositif de mise sous pression configuré pour refouler le carburant selon ledit premier débit.

[0009] L'invention est remarquable en ce que le circuit de carburant comprend au moins une deuxième ligne d'injection configurée pour fournir un deuxième débit de carburant à la chambre de combustion, la deuxième ligne d'injection comprenant au moins un deuxième système de mise sous pression alimentant à une pression d'alimentation un dispositif de dosage à col sonique, le dispositif de dosage à col sonique étant configuré, à partir d'une consigne de dosage et de la pression d'alimentation, pour refouler le carburant selon le deuxième débit.

[0010] Le système de conditionnement selon l'invention permet avantageusement de fournir un débit à la chambre de combustion de manière précise, rapide et en limitant la consommation énergétique de mise sous pression du carburant grâce à deux lignes d'injection de fonctionnement différent. La première ligne, exempte d'organe de dosage, permet de fournir un débit de carburant important pour un coût énergétique faible. La deuxième ligne permet de fournir un débit précis et à faible temps de réponse. Le pilotage des deux lignes d'injection selon le régime de la turbomachine d'aéronef permet avantageusement de combiner les avantages de chaque ligne.

[0011] Selon un aspect, le système de mise sous pression est configuré pour alimenter à une pression d'amorçage prédéterminée le dispositif de dosage à col sonique, pour laquelle l'écoulement dans le dispositif de dosage à col sonique est sonique. De manière

avantageuse, à la pression d'amorçage, le débit fourni par le dispositif de dosage dépend uniquement des conditions de pression et de température amont du carburant. Le dispositif de dosage permet ainsi avantageusement de fournir un débit précis, notamment pour un fluide compressible tel que l'hydrogène à l'état gazeux.

[0012] Selon un aspect, le dispositif de dosage à col sonique comporte un conduit de section fixe. Un tel dispositif de dosage est avantageusement simple à piloter.

[0013] Selon un aspect, la première ligne est exempte de dispositif de dosage. Autrement dit, le premier débit est déterminé uniquement par le premier dispositif de mise sous pression, lequel n'est pas adapté pour doser le carburant. La première ligne permet avantageusement de fournir un premier débit à bas coût énergétique en comparaison avec la deuxième ligne. En effet, le dispositif de dosage à col sonique de la deuxième ligne nécessite une pression amont élevée pour fonctionner. La deuxième ligne, précise et rapide, permet quant à elle de compenser le temps de réponse et le manque de précision du premier dispositif de mise sous pression.

[0014] Selon un aspect, la deuxième ligne comprend un réchauffeur électrique monté en amont du dispositif de dosage à col sonique. Un tel réchauffeur électrique permet de chauffer le carburant avec un faible temps de réponse. La deuxième ligne présente ainsi un faible temps de réponse à la fois pour réchauffer et doser le carburant.

[0015] Selon un aspect, le dispositif de dosage à col sonique comprend un conduit à col sonique et au moins un détendeur commandable monté en amont en amont du conduit à col sonique. Le détendeur permet avantageusement de contrôler la pression et la température en amont du col sonique, pour délivrer un débit précis. De plus, le détendeur présente un faible de temps de réponse.

[0016] Selon un aspect préféré, la pression de dosage P2 fournie par le système de mise sous pression vérifie : $P2 > 1,5 * P1$, avec P1 la pression du carburant dans la première ligne, et de préférence : $P2 > 2 * P1$. Une telle pression de dosage est nécessaire pour assurer le fonctionnement du dispositif de dosage.

[0017] Selon un aspect préféré, le dispositif de mise sous pression se présente sous la forme d'au moins une pompe cryogénique, adaptée pour mettre sous pression un fluide cryogénique, tel que l'hydrogène.

[0018] L'invention concerne également un ensemble d'un système de conditionnement et d'un calculateur de turbomachine d'aéronef, ledit calculateur étant configuré pour fournir au moins une consigne de dosage au dispositif de dosage à col sonique, de manière à contrôler le deuxième débit de carburant. De préférence, le calculateur est configuré pour fournir au moins une consigne de pression au deuxième dispositif de mise sous pression, de manière à contrôler le deuxième débit de carburant.

[0019] De préférence, le calculateur est configuré pour fournir au moins une consigne de vitesse au premier dispositif de mise sous pression, de manière à contrôler le premier

débit de carburant. Le calculateur permet avantageusement de piloter la répartition du premier débit et du deuxième débit dans le débit total fourni à la chambre de combustion, de manière à tirer profit des avantages de chaque ligne d'injection en fonction du régime de la turbomachine d'aéronef.

[0020] L'invention concerne également une turbomachine d'aéronef comprenant une chambre de combustion, au moins un réservoir de carburant et au moins un système de conditionnement tel que décrit précédemment, dont le circuit de carburant est relié fluidiquement en amont au réservoir de carburant et en aval à la chambre de combustion.

[0021] L'invention concerne également un procédé d'utilisation du système de conditionnement tel que décrit précédemment, dans lequel, lors d'un régime stabilisé de la turbomachine d'aéronef :

- Le dispositif de dosage à col sonique reçoit au moins une consigne de dosage prédéterminée,
- Le dispositif de dosage à col sonique fournit, à partir de la consigne de dosage et de la pression d'alimentation, un deuxième débit pour alimenter la chambre de combustion.

[0022] Selon un aspect, lors d'une phase d'allumage durant le régime stabilisé de la turbomachine d'aéronef, le deuxième débit est égal à au moins 80% du débit total fourni par le système de conditionnement, de préférence au moins 95%. La deuxième ligne permet de fournir un débit précis et rapide pour la phase d'allumage de la turbomachine d'aéronef.

[0023] Selon un aspect, lors d'une phase de croisière durant le régime stabilisé de la turbomachine d'aéronef :

- La première ligne fournit un premier débit pour alimenter la chambre de combustion,
- Le premier débit étant supérieur au deuxième débit fourni par la deuxième ligne, de préférence au moins deux fois supérieur.

[0024] La part du premier débit dans le débit total fourni à la chambre de combustion est avantageusement maximisée pour réduire la consommation énergétique liée au dispositif de dosage de la deuxième ligne.

[0025] Selon un aspect, lors d'un régime transitoire de la turbomachine d'aéronef :

- La première ligne fournit un premier débit pour alimenter la chambre de combustion, le premier débit variant pendant un temps de réponse jusqu'à atteindre un débit cible prédéterminé,
- Le dispositif de dosage à col sonique reçoit au moins une consigne de dosage prédéterminée,
- Le dispositif de dosage à col sonique fournit, à partir de la consigne de dosage et de la pression d'alimentation, un deuxième débit pour alimenter la chambre

de combustion,

- Le deuxième débit étant au moins égal à l'écart entre le premier débit et le débit cible prédéterminé durant le temps de réponse.

[0026] Lors d'un régime transitoire, la deuxième ligne permet avantageusement de compenser le temps de réponse de la première ligne, en fournissant de manière précise et rapide un deuxième débit prenant en compte le manque de débit de la première ligne.

PRESENTATION DES FIGURES

[0027] 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.

[0028] La [Fig.1] est une représentation schématique du système de conditionnement de carburant pour turbomachine d'aéronef selon une première forme de réalisation de l'invention.

[0029] La [Fig.2] est une représentation schématique du procédé d'utilisation du système de conditionnement de la [Fig.1] selon un mode de mise en œuvre de l'invention.

[0030] La [Fig.3] est une représentation schématique du procédé d'utilisation de la [Fig.2] lors d'un régime stabilisé de l'aéronef.

[0031] La [Fig.4] est une représentation schématique du procédé d'utilisation de la [Fig.3] lors d'un régime transitoire de l'aéronef.

[0032] La [Fig.5] est une représentation schématique du système de conditionnement de carburant pour turbomachine d'aéronef selon une deuxième forme de réalisation de l'invention.

[0033] La [Fig.6] est une représentation schématique du système de conditionnement de carburant pour turbomachine d'aéronef selon une troisième forme de réalisation de l'invention.

[0034] 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

[0035] L'invention concerne un système de conditionnement de carburant pour une turbomachine d'aéronef ainsi que son procédé d'utilisation.

[0036] Comme illustré sur la [Fig.1], une turbomachine d'aéronef comprend une chambre de combustion 7 configurée pour être alimentée en carburant H qui est brûlé pour participer à la propulsion de l'aéronef. Le carburant H est stocké dans des réservoirs 4, 41. La turbomachine d'aéronef comprend un système de conditionnement 100

configuré pour mettre sous pression, réchauffer et doser le carburant H provenant des réservoirs 4, 41, afin de permettre leur injection dans la chambre de combustion 7.

[0037] L'invention présente un intérêt particulier pour un carburant H configuré pour être stocké sous forme cryogénique dans les réservoirs 4, 41, tel que l'hydrogène. Comme décrit précédemment, pour limiter l'encombrement à bord de l'aéronef, il est nécessaire de stocker l'hydrogène sous forme liquide à une température d'environ -253°C et à une pression inférieure à 7bars, de préférence inférieure à 3bars, dans les réservoirs cryogéniques 4, 41. L'hydrogène doit ensuite être injecté dans la chambre de combustion 7 à l'état gazeux à une température entre -40°C et 0°C et à une pression entre 30bars et 80bars pour permettre sa combustion. Par la suite, les termes amont et aval sont déterminés par rapport au sens de circulation du carburant.

[0038] Selon l'invention et en référence à la [Fig.1], le système de conditionnement 100 comprend un circuit de carburant 3 configuré pour être relié fluidiquement en amont à au moins un réservoir de carburant 4 et pour alimenter en aval la chambre de combustion 7. Toujours selon l'invention, le circuit de carburant 3 comprend :

- au moins une première ligne d'injection 1 configurée pour fournir un premier débit Q1 de carburant H à la chambre de combustion 7, la première ligne d'injection 1 comprenant au moins un premier dispositif de mise sous pression 10 configuré pour refouler le carburant H selon ledit premier débit Q1,
- au moins une deuxième ligne d'injection 2 configurée pour fournir un deuxième débit Q2 de carburant H à la chambre de combustion 7, la deuxième ligne d'injection 2 comprenant au moins un deuxième système de mise sous pression 20 alimentant à une pression d'alimentation P20 un dispositif de dosage à col sonique 21, le dispositif de dosage à col sonique 21 étant configuré, à partir d'une consigne de dosage C2 et de la pression d'alimentation P20, pour refouler le carburant H selon le deuxième débit Q2.

[0039] Dans l'exemple de la [Fig.1], le système de conditionnement 100 comprend également un circuit amont 40 s'étendant en amont du circuit de carburant 3. Le circuit amont 40 est configuré pour alimenter le réservoir 4 de carburant H, de préférence cryogénique. Le circuit amont 40 comprend un réservoir 41 de carburant H, de préférence cryogénique, ainsi qu'un dispositif de mise sous pression 42 du carburant H, tel qu'une pompe, notamment une motopompe cryogénique. Le circuit amont 40 comprend également une boucle de retour montée en aval du dispositif sous pression 42 et alimentant le réservoir 41. La boucle de retour comprend un réchauffeur 43, de préférence sous la forme d'un échangeur thermique, afin de contrôler la température du carburant H. Une vanne 44 assure l'ouverture et la fermeture de la boucle de retour.

[0040] En référence à la [Fig.1], la première ligne d'injection 1 est configurée pour fournir

un premier débit Q1 à la chambre de combustion 7, plus précisément à un ou plusieurs premiers injecteurs 5 de la chambre de combustion 7. Le premier débit Q1 est fourni par le premier dispositif sous pression 10, de préférence une pompe, notamment une motopompe cryogénique.

[0041] Dans cet exemple, la première ligne d'injection 1 comprend en outre une vanne 11, un réchauffeur 12 et un organe de mesure du débit 13. La vanne 11 comprend un état ouvert et un état fermé afin d'autoriser ou non la circulation du carburant H dans la première ligne d'injection 1. La vanne 11 ne participe pas à modifier le premier débit Q1. Le réchauffeur 12 est configuré pour réchauffer le carburant H, de préférence pour assurer le passage à l'état gazeux de l'hydrogène. Le réchauffeur 12 est monté en aval du premier dispositif sous pression 10. Le réchauffeur 12 se présente de préférence sous la forme d'un échangeur thermique, relié à une source chaude de la turbomachine d'aéronef. L'organe de mesure du débit 13, tel qu'un débitmètre, est monté en aval du premier dispositif sous pression 10 afin de mesurer le premier débit Q1 fourni.

[0042] En référence à la [Fig.1], la première ligne d'injection 1 est exempte d'organe de dosage du carburant H. Le premier débit Q1 est fourni uniquement par le premier dispositif de mise sous pression 10 qui n'est pas adapté pour doser le carburant H. La première ligne d'injection 1 permet ainsi de fournir un premier débit Q1 peu précis et dont la réactivité est faible. Comme ce sera vu par la suite, seule la deuxième ligne d'injection 2 comprend un organe de dosage. C'est la deuxième ligne d'injection 2 qui permet de compenser le manque de précision de la première ligne d'injection avec une grande réactivité 1 afin que le système de conditionnement 100 en globalité fournisse un débit total précis qui suive de manière dynamique les besoins de la turbomachine.

[0043] En référence à la [Fig.1], la deuxième ligne d'injection 2 est configurée pour fournir un deuxième débit Q2 à la chambre de combustion 7, plus précisément à un ou plusieurs deuxièmes injecteurs 6 de la chambre de combustion 7. Un dispositif de dosage à col sonique 21 est avantageusement adapté pour assurer un dosage précis d'un carburant H sous la forme d'un fluide compressible, tel que l'hydrogène à l'état gazeux, contrairement à une vanne de dosage qui n'est adaptée que pour les fluides incompressibles.

[0044] Comme illustré sur la [Fig.1], le dispositif de dosage à col sonique 21 comprend un détendeur 25 monté en amont d'un conduit 26 comprenant un col sonique. Le conduit 26 est configuré pour doser le deuxième débit Q2 en fonction de la pression P2 et de la température T2 en amont du col sonique. Le détendeur 25 est configuré pour contrôler la pression P2 de manière réactive en amont du col sonique. Le détendeur 25 présente avantageusement un temps de réponse rapide, inférieur à 500ms, de préférence inférieur à 200ms et préférentiellement inférieur à 100ms. Outre sa précision, le dispositif de dosage à col sonique 21 permet ainsi de doser un deuxième débit Q2 de

manière rapide suite à la réception d'une consigne de dosage C2. Un tel dispositif de dosage à col sonique 21 permet avantageusement de compenser le temps de réponse plus lent (typiquement compris entre 500ms et 2s) du premier dispositif de mise sous pression 10 de la première ligne 1.

[0045] En référence à la [Fig.1], le conduit 26 comporte de préférence une section fixe, à savoir non mobile. Le conduit 26 se présente de préférence sous la forme d'un tube de Venturi comprenant une section amont convergente et une section aval divergente de part et d'autre du col sonique. Un tel conduit 26 permet d'éviter un décollement du carburant H en sortie du col sonique, et ainsi d'éviter des pertes de charge.

[0046] Comme illustré sur la [Fig.1], le dispositif de dosage à col sonique 21 est alimenté par un deuxième dispositif de mise sous pression 20 configuré pour fournir une pression d'alimentation P20. Le deuxième dispositif de mise sous pression 20 et le dispositif de dosage à col sonique 21 permettent de fournir une pression d'amorçage pour laquelle l'écoulement au niveau du col sonique est sonique et connu avec une grande précision, notamment de manière indépendante des conditions en aval. De préférence, le deuxième dispositif de mise sous pression 20 comprend plusieurs pompes, préférentiellement deux, notamment sous la forme de motopompes cryogéniques, pour fournir une pression suffisante au dispositif de dosage à col sonique 21.

[0047] De manière préférée, pour permettre le fonctionnement du dispositif de dosage à col sonique 21, l'équation suivante est vérifiée $P2 > 1,5 * P1$, et préférentiellement $P2 > 2 * P1$, avec P1 la pression de la première ligne d'injection 1. Du fait de l'absence d'organe de dosage, la première ligne d'injection 1 présente l'avantage d'être peu énergivore. Ceci permet de compenser l'énergie nécessaire pour mettre sous pression le carburant H dans la deuxième ligne d'injection 2. Le système de conditionnement 100 combine avantageusement les avantages propres à chaque ligne d'injection 1, 2 : à savoir un coût énergétique faible pour la première ligne 1, et une réponse précise et rapide pour la deuxième ligne 2.

[0048] Toujours en référence à la [Fig.1], la deuxième ligne d'injection 2 comprend également une vanne 29, un dispositif de réchauffage 22 ainsi que des organes de mesure de la pression 30 et de la température 31. La vanne 29 comprend un état ouvert et un état fermé afin d'autoriser ou non la circulation du carburant H dans la deuxième ligne d'injection 2. La vanne 29 ne participe pas à régler le deuxième débit Q2. L'organe de mesure de la pression 30, tel qu'un capteur de pression, est monté en aval du premier dispositif de dosage 21 afin de mesurer la pression en aval. L'organe de mesure de la température 31, tel qu'un capteur de température, est monté en aval du premier dispositif de dosage 21 afin de mesurer la température en aval. Cela permet de connaître les caractéristiques du carburant dans la deuxième ligne d'injection 2 préalablement à son injection.

[0049] Comme illustré sur la [Fig.1], le dispositif de réchauffage 22 permet de réchauffer l'hydrogène à l'état gazeux. Le dispositif de réchauffage 22 est monté entre le deuxième dispositif de mise sous pression 20 et le dispositif de dosage 21. Le dispositif de réchauffage 22 comprend de préférence un réchauffeur électrique 27 et un échangeur de chaleur 28. Le réchauffeur électrique 27 présente avantageusement un temps de réponse plus rapide que l'échangeur de chaleur 28. L'échangeur de chaleur 28 est quant à lui moins énergivore que le réchauffeur électrique 27. L'utilisation alternative ou combinée du réchauffeur électrique 27 et de l'échangeur de chaleur 28 permet un contrôle précis, rapide et peu énergivore de la température du carburant H.

[0050] Dans la forme de réalisation de la [Fig.5], le dispositif de réchauffage 22 comprend uniquement un réchauffeur électrique 27 configuré pour assurer le réchauffage du carburant H avant son injection dans la chambre de combustion 7. Ceci permet de limiter l'encombrement de la deuxième ligne de carburant 2.

[0051] Dans la forme de réalisation de la [Fig.6], la première ligne d'injection 1 et la deuxième ligne d'injection 2 comprennent une portion commune 9, sur laquelle est monté le premier dispositif de mise sous pression 10. Autrement dit, le premier dispositif de mise sous pression 10 est monté sur la première ligne d'injection 1 et la deuxième ligne d'injection 2. De préférence, le deuxième dispositif de mise sous pression 20 comporte une unique pompe, suffisante avec le premier dispositif de mise sous pression 10 pour alimenter le dispositif de dosage 21. La mise en commun du premier dispositif de mise sous pression 10 permet avantageusement de limiter l'encombrement du système de conditionnement 100.

[0052] En référence à la [Fig.2], la turbomachine d'aéronef comprend également un calculateur 50 configuré pour contrôler le premier débit Q1 et le deuxième débit Q2 fournis par les lignes d'injection 1, 2. Comme illustré sur la [Fig.2], le calculateur 50 est configuré pour fournir une première consigne C1 au premier dispositif de mise sous pression 10 afin de contrôler le premier débit Q1. La première consigne C1 est prédéterminée en fonction d'une consigne de régime de la turbomachine d'aéronef, par exemple, imposée par un pilote de l'aéronef. De préférence, le calculateur 50 est également configuré pour recevoir une mesure de débit D1 du débitmètre 13 de la première ligne d'injection 1 et pour corriger la première consigne C1 en fonction de la mesure de débit D1 (boucle de régulation). La première consigne C1 est de préférence une consigne de vitesse. Il est précisé que la [Fig.2] illustre le fonctionnement du calculateur 50 et que les éléments de la [Fig.1] auxquels le calculateur 50 n'est pas connecté ne sont pas représentés à des fins de clarté seulement.

[0053] Comme illustré sur la [Fig.2], le calculateur 50 est configuré pour fournir une consigne de dosage C2 au dispositif de dosage 21, et plus précisément au détendeur 25, afin de contrôler la pression P2 et la température T2 en amont du col sonique. Le cal-

culateur 50 est également configuré pour fournir une deuxième consigne C2 au deuxième dispositif de mise sous pression 20 afin de contrôler la pression d'alimentation P20 fournie au dispositif de dosage 21. La deuxième consigne C2 est de préférence une consigne de pression. La consigne de dosage C2 et la deuxième consigne C20 sont prédéterminées en fonction d'une consigne de régime de la turbomachine d'aéronef, par exemple, imposée par un pilote de l'aéronef. De préférence, le calculateur 50 est également configuré pour recevoir une mesure de pression et de température D2 des capteurs de pression 30 et de température 31 de la deuxième ligne d'injection 2. Le calculateur 50 est configuré pour corriger la deuxième consigne C20 et la consigne de dosage C2 en fonction de la mesure de pression et de température D2, et de préférence la mesure de débit D1 (boucle de régulation).

[0054] De préférence et comme illustré sur la [Fig.2], le calculateur 50 est également configuré pour fournir une consigne C4 à la pompe 42 du circuit amont 40.

[0055] Le procédé d'utilisation du système de conditionnement 100 est décrit par la suite lors d'un régime stabilisé RS de la turbomachine d'aéronef, durant lequel la somme du premier débit Q1 et du deuxième débit Q2 fournie à la chambre de combustion varie de moins de 10%, ainsi que lors d'un régime transitoire RT de la turbomachine d'aéronef, à savoir non stabilisé.

[0056] En référence à la [Fig.2], lors d'un régime stabilisé RS :

- Le dispositif de dosage à col sonique 21 reçoit E1 (étape de réception) au moins une consigne de dosage C2 prédéterminée,
- Le dispositif de dosage à col sonique 21 fournit E2 (étape de fourniture), à partir de la consigne de dosage C2 et de la pression d'alimentation P20, un deuxième débit Q2 pour alimenter la chambre de combustion 7, et
- Dans certains modes de réalisation, la première ligne 1 fournit E3 (étape de fourniture) un premier débit Q1 pour alimenter la chambre de combustion 7.

[0057] La [Fig.3] illustre trois phases RS1, RS2, RS3 lors du régime stabilisé RS de la turbomachine d'aéronef. Lors d'une phase d'allumage RS1 de la turbomachine d'aéronef, seules l'étape de réception E1 et l'étape de fourniture E2 d'un deuxième débit Q2 sont de préférence mises en œuvre. La vanne 11 ferme la première ligne d'injection 1. Le débit fourni par le système de conditionnement 100 provient uniquement de la deuxième ligne d'injection 2. Lors de l'étape de réception E1, le calculateur 50 fournit une deuxième consigne C20 au deuxième dispositif de mise sous pression 20 et une consigne de dosage C2 au dispositif de dosage 21, qui sont de préférence prédéterminées pour la phase d'allumage RS1. Selon un aspect préféré, lors de la phase d'allumage RS1, le dispositif de dosage 21 fournit un deuxième débit Q2 au moins égal à 50% du débit maximal que le dispositif de dosage 21 est adapté pour fournir. Les consignes C2, C20 sont de préférence corrigées grâce aux mesures D2 des capteurs

de pression 30 et de température 31.

[0058] Le procédé décrit pour la phase d'allumage RS1 est de préférence identique pour une phase de ralenti de la turbomachine d'aéronef, hormis la valeur des consignes C2, C20 qui sont prédéterminées pour la phase de ralenti.

[0059] Lors d'une phase de décollage RS2 de la turbomachine d'aéronef, l'étape de fourniture E3 est également mise en œuvre. Lors de l'étape de fourniture E3, le calculateur 50 fournit une première consigne C1 au premier dispositif de mise sous pression 10. Les consignes C2, C20 transmises par le calculateur 50 prennent également en compte la mesure de débit D1 du débitmètre 13 de sorte que le deuxième débit Q2 pallie l'imprécision du premier débit Q1 fourni. Selon un aspect préféré, lors de la phase d'allumage RS1, le dispositif de dosage 21 fournit un deuxième débit Q2 au moins égal à 80%, préférentiellement au moins 90%, du débit maximal que le dispositif de dosage 21 est adapté pour fournir. De même pour le premier dispositif de mise sous pression 10 pour fournir un débit total suffisant. Selon un aspect préféré, le premier débit Q1 représente plus de 50% du débit total fourni, de préférence entre 60% et 75%.

[0060] Lors d'une phase de croisière RS3, connue sous le terme anglais « cruise », les étapes E1, E2 et E3 sont mises en œuvre. Le premier dispositif de mise sous pression 10 fonctionne selon un régime supérieur à celui du dispositif de dosage 21 afin de maximiser la part du premier débit Q1 dans le débit total fourni à la chambre de combustion 7. Le premier débit Q1 fourni par la première ligne 1 est supérieur au deuxième débit Q2 fourni par la deuxième ligne 2, de préférence au moins deux fois supérieur. Ceci permet avantageusement de réduire la consommation énergétique du système de conditionnement 100.

[0061] Le procédé décrit pour la phase de croisière RS3 est de préférence identique pour une phase de montée (« climb » en anglais), de descente et d'approche de l'aéronef.

[0062] Selon un aspect préféré, lors d'un régime stabilisé RS, une petite variation de débit est répercutée sur les consignes C2, C20 car le temps de réponse de la deuxième ligne 2, et notamment du détendeur 25, est inférieur à celui de la première ligne 1, et notamment du premier dispositif de mise sous pression 10. La deuxième ligne 2 permet avantageusement d'ajuster le deuxième débit Q2 avec précision et rapidité lors d'une fluctuation dans le régime stabilisé RS.

[0063] En référence aux figures 2 et 4, lors d'un régime transitoire RT :

- Le première ligne 1 fournit E4 un premier débit Q1 pour alimenter la chambre de combustion 7, le premier débit Q1 variant pendant un temps de réponse t jusqu'à atteindre un débit cible prédéterminé Qt1,
- Le dispositif de dosage à col sonique 21 reçoit E5 au moins une consigne de dosage C2 prédéterminée,

- Le dispositif de dosage à col sonique 21 fournit E6, à partir de la consigne de dosage C2 et de la pression d'alimentation P20, un deuxième débit Q2 pour alimenter la chambre de combustion 7,
- Le deuxième débit Q2 étant au moins égal à l'écart entre le premier débit Q1 et le débit cible prédéterminé Qt1 durant le temps de réponse t.

[0064] La deuxième ligne 2, de faible temps de réponse t0, permet avantageusement de compenser le temps de réponse t plus élevé de la première ligne 1. Comme illustré sur la [Fig.4], durant le temps de réponse t de la première ligne 1, le premier débit Q1 fourni est inférieur au débit cible Qt1 demandé par le calculateur 50 via la première consigne C1. De préférence, l'écart entre le premier débit Q1 et le débit cible Qt1 est déterminé par le calculateur 50 grâce à la mesure de débit D1 par l'organe de mesure du débit 13.

[0065] De préférence, l'écart entre le premier débit Q1 et le débit cible Qt1 est pris en compte pour déterminer la consigne de dosage C2, ainsi que la deuxième consigne C20 transmises à la deuxième ligne 2. Durant le temps de réponse t de la première ligne 1, les consignes C2, C20 comportent ainsi un débit cible Qt2 souhaité pour la deuxième ligne 2, mais également un excédent de débit correspondant à celui non fourni par la première ligne 1. A la fin du temps de réponse t, le premier débit Q1 est égal au débit cible Qt1. Les consignes C2, C20 transmises à la deuxième ligne 2 ne comportent plus que le débit cible Qt2 souhaité pour la deuxième ligne 2. A la fin du temps de réponse t, le deuxième débit Q2 est égal au débit cible Qt2.

[0066] Le système de conditionnement 100 permet ainsi de fournir un débit à la chambre de combustion 7 de manière précise, rapide et en limitant la consommation énergétique de mise sous pression grâce à deux lignes d'injection 1, 2 de fonctionnement différent. La première ligne 1, exempte d'organe de dosage, permet de fournir un débit important pour un coût énergétique faible. La deuxième ligne 2 permet de fournir un débit précis et à faible temps de réponse. Le pilotage des deux lignes d'injection 1, 2 selon le régime de la turbomachine d'aéronef permet avantageusement de combiner les avantages de chaque ligne 1, 2.

Revendications

[Revendication 1] Système de conditionnement (100) de carburant (H) pour une turbomachine d'aéronef, ledit système de conditionnement (100) comprenant un circuit de carburant (3) configuré pour être relié fluidiquement en amont à au moins un réservoir de carburant (4) et pour alimenter en aval une chambre de combustion (7) de la turbomachine d'aéronef, ledit circuit de carburant (3) comprenant :

- Au moins une première ligne d'injection (1) configurée pour fournir un premier débit (Q1) de carburant (H) à la chambre de combustion (7), la première ligne d'injection (1) comprenant au moins un premier dispositif de mise sous pression (10) configuré pour refouler le carburant (H) selon ledit premier débit (Q1), la première ligne d'injection (1) étant exempte de dispositif de dosage,
- Au moins une deuxième ligne d'injection (2) configurée pour fournir un deuxième débit (Q2) de carburant (H) à la chambre de combustion (7), la deuxième ligne d'injection (2) comprenant au moins un deuxième système de mise sous pression (20) alimentant à une pression d'alimentation (P20) un dispositif de dosage à col sonique (21), le dispositif de dosage à col sonique (21) étant configuré, à partir d'une consigne de dosage (C2) et de la pression d'alimentation (P20), pour refouler le carburant (H) selon le deuxième débit (Q2).

[Revendication 2] Système de conditionnement (100) selon la revendication 1, dans lequel le système de mise sous pression (20) est configuré pour alimenter à une pression d'amorçage prédéterminée le dispositif de dosage à col sonique (21), pour laquelle l'écoulement dans le dispositif de dosage à col sonique est sonique.

[Revendication 3] Système de conditionnement (100) selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel le dispositif de dosage à col sonique (21) comporte un conduit (26) de section fixe.

[Revendication 4] Système de conditionnement (100) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la deuxième ligne (2) comprend un réchauffeur électrique (27) monté en amont du dispositif de dosage à col sonique (21).

[Revendication 5] Système de conditionnement (100) selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le dispositif de dosage à col sonique (21) comprend un conduit à col sonique (26) et au moins un détendeur (25) commandable monté en amont du conduit à col sonique (26).

[Revendication 6] Turbomachine d'aéronef comprenant une chambre de combustion (7), au moins un réservoir de carburant (4) et au moins un système de conditionnement (100) selon l'une des revendications 1 à 5, dont le circuit de carburant (3) est relié fluidiquement en amont au réservoir de carburant (4) et en aval à la chambre de combustion (7).

[Revendication 7] Procédé d'utilisation du système de conditionnement (100) selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel, lors d'un régime stabilisé (RS) de la turbomachine d'aéronef :

- Le dispositif de dosage à col sonique (21) reçoit (E1) au moins une consigne de dosage (C2) prédéterminée,
- Le dispositif de dosage à col sonique (21) fournit (E2), à partir de la consigne de dosage (C2) et de la pression d'alimentation (P20), un deuxième débit (Q2) pour alimenter la chambre de combustion (7).

[Revendication 8] Procédé d'utilisation selon la revendication 7, dans lequel, lors d'une phase d'allumage (RS1) durant le régime stabilisé (RS) de la turbomachine d'aéronef, le deuxième débit (Q2) est égal à au moins 80% du débit total fourni par le système de conditionnement (100), de préférence au moins 95%.

[Revendication 9] Procédé d'utilisation selon l'une des revendications 7 et 8, dans lequel, lors d'une phase de croisière (RS3) durant le régime stabilisé (RS) de la turbomachine d'aéronef :

- La première ligne (1) fournit (E3) un premier débit (Q1) pour alimenter la chambre de combustion (7),
- Le premier débit (Q1) étant supérieur au deuxième débit (Q2) fourni par la deuxième ligne (2), de préférence au moins deux fois supérieur.

[Revendication 10] Procédé d'utilisation selon l'une des revendications 7 à 9, dans lequel, lors d'un régime transitoire (RT) de la turbomachine d'aéronef :

- La première ligne (1) fournit (E4) un premier débit (Q1) pour

alimenter la chambre de combustion (7), le premier débit (Q1) variant pendant un temps de réponse (t) jusqu'à atteindre un débit cible prédéterminé (Qt1),

- Le dispositif de dosage à col sonique (21) reçoit (E5) au moins une consigne de dosage (C2) prédéterminée,
- Le dispositif de dosage à col sonique (21) fournit (E6), à partir de la consigne de dosage (C2) et de la pression d'alimentation (P20), un deuxième débit (Q2) pour alimenter la chambre de combustion (7),
- Le deuxième débit (Q2) étant au moins égal à l'écart entre le premier débit (Q1) et le débit cible prédéterminé (Qt1) durant le temps de réponse (t).

[Fig. 1]

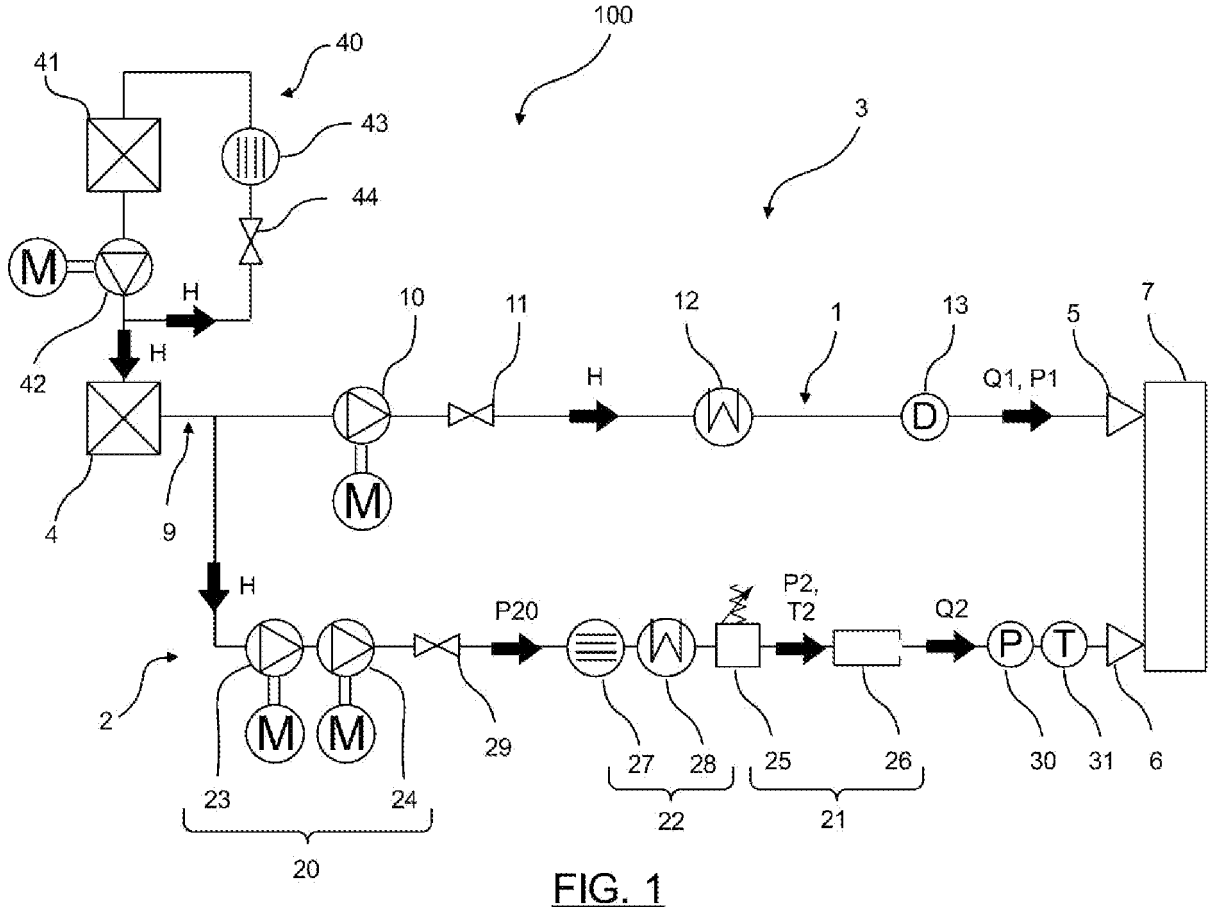

100
3
40
41
43
44
M
H
42
H
10
11
12
1
13
5
7
Q1, P1
M
4
9
H
H
P20
P2,
T2
Q2
P
T
2
M
M
29
27
28
25
26
30
31
6
23
24
22
21
20

FIG. 1

[Fig. 2]

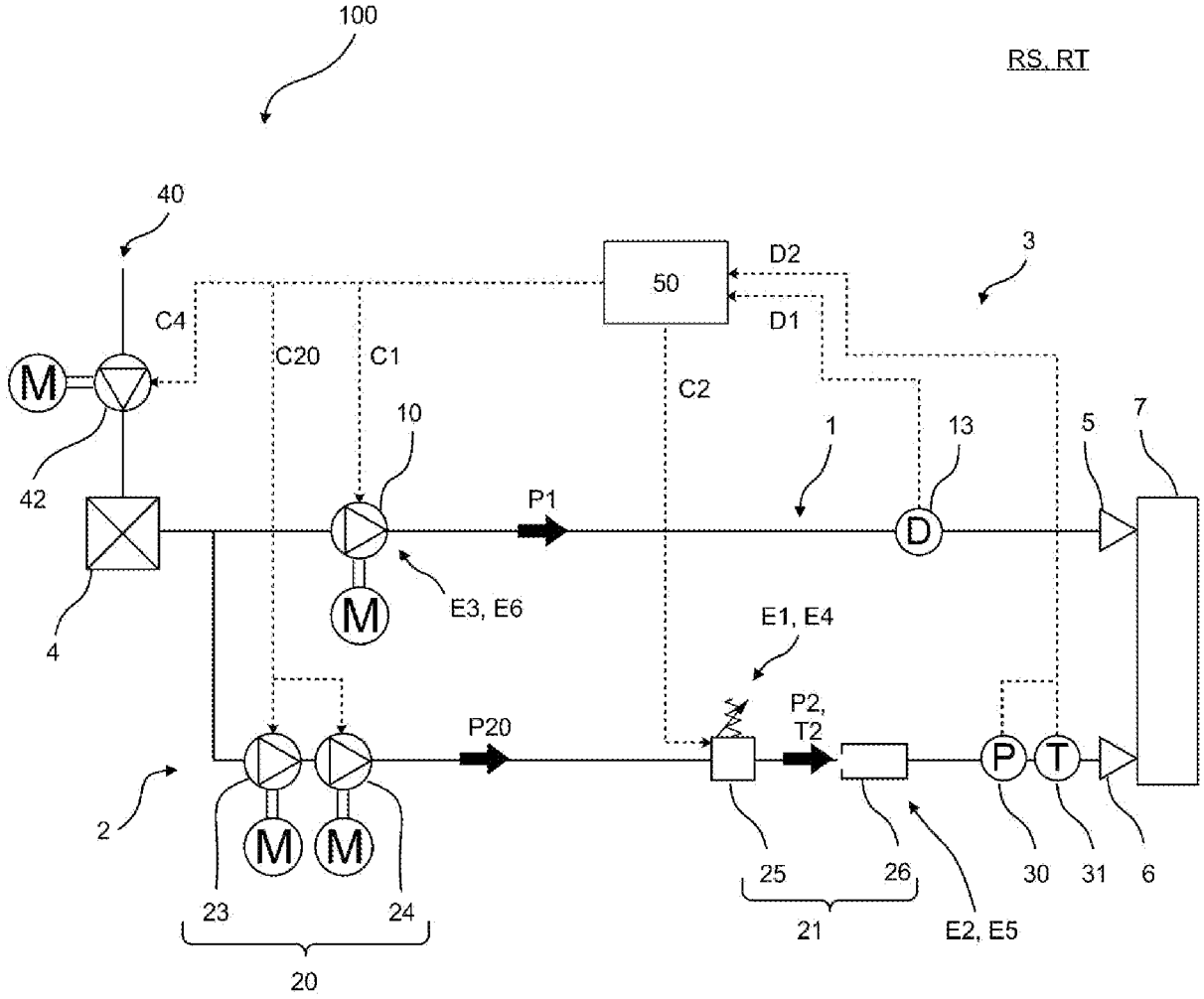


FIG. 2

[Fig. 3]

RS	RS1	RS2	RS3
Q1	0	max	max
Q2	max	max	min

FIG. 3

[Fig. 4]

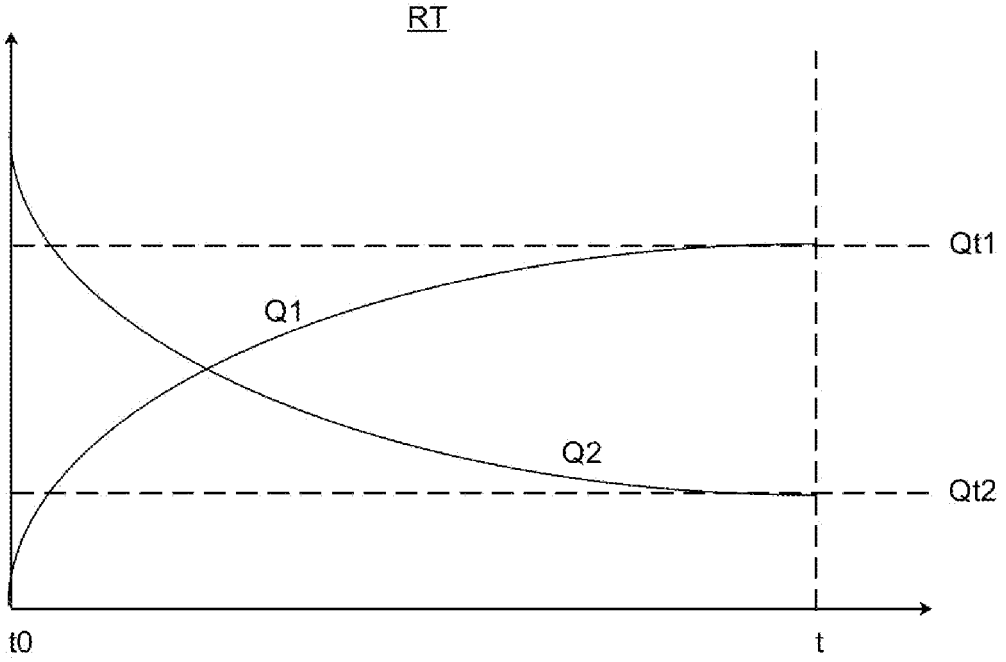


FIG. 4

[Fig. 5]

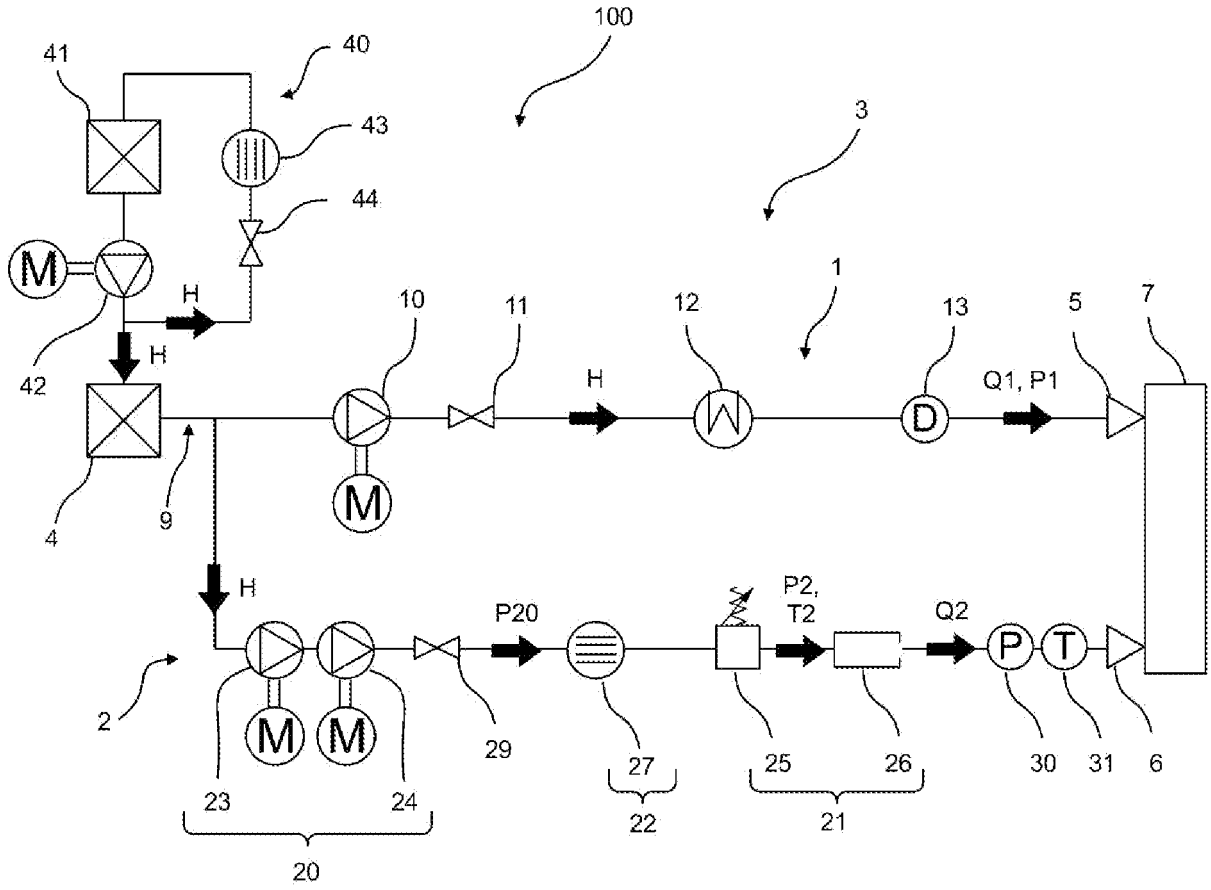


FIG. 5

[Fig. 6]

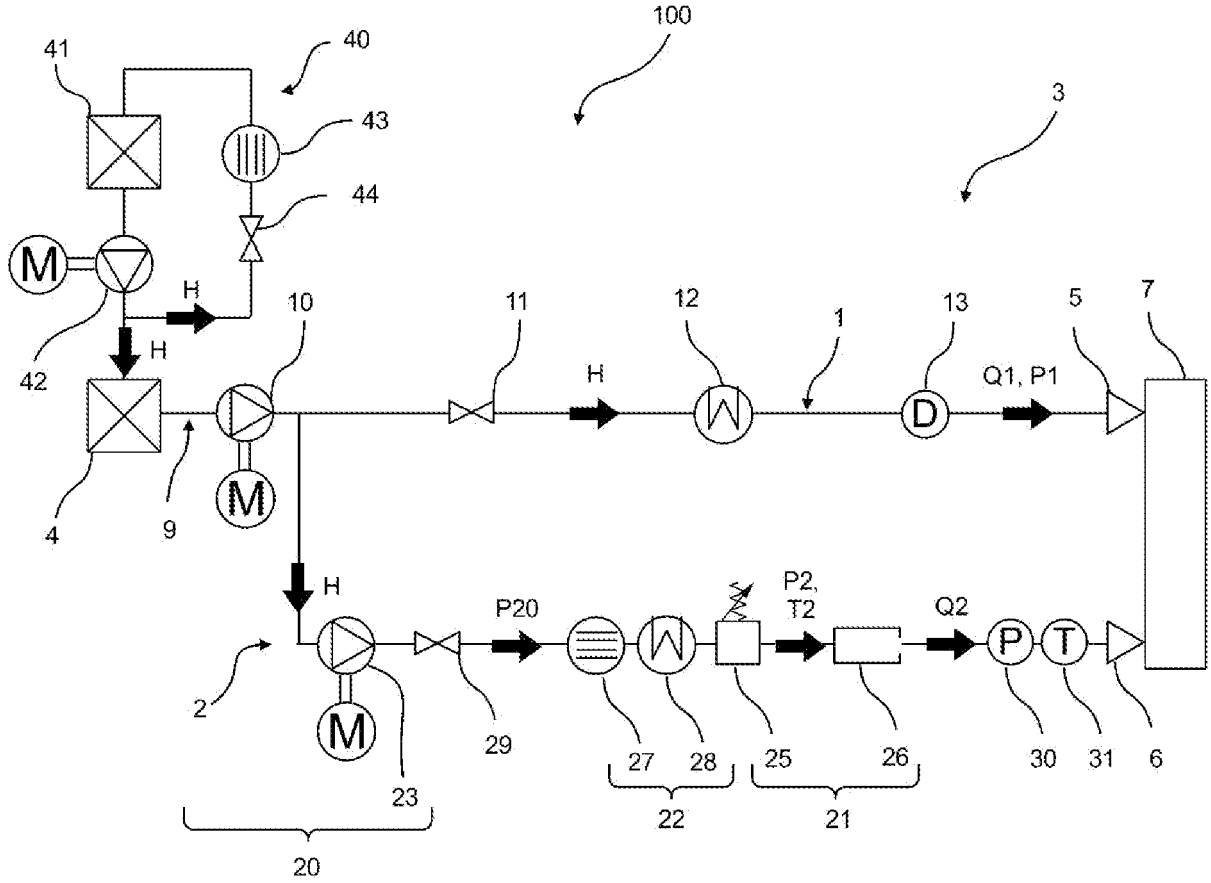

100
3
41
40
43
44
M
H
42
H
10
11
12
1
13
5
7
H
Q1, P1
D
4
9
M
H
P20
P2,
T2
Q2
2
M
29
27
28
25
26
30
31
6
23
22
21
20

FIG. 6

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.
Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

[x] Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

[x] Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

[x] Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

US 10 533 503 B2 (NUOVO PIGNONE SRL [IT])
14 janvier 2020 (2020-01-14)

EP 2 500 551 B1 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP [US]) 28 juin 2017 (2017-06-28)

US 8 893 466 B2 (REUTER CHARLES E [US]; HAMILTON SUNDSTRAND CORP [US])
25 novembre 2014 (2014-11-25)

EP 4 134 530 A1 (PRATT & WHITNEY CANADA [CA]) 15 février 2023 (2023-02-15)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT