



(11)

EP 4 108 917 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

28.12.2022 Bulletin 2022/52

(21) Numéro de dépôt: 22180651.6

(22) Date de dépôt: 23.06.2022

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):

F04B 15/06 (2006.01) F04B 49/06 (2006.01)

F25B 23/00 (2006.01) F28D 15/02 (2006.01)

F28F 27/00 (2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):

F04B 15/06; F04B 49/065; F25B 23/006;

F28D 15/02

(84) Etats contractants désignés:

AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR

Etats d'extension désignés:

BA ME

Etats de validation désignés:

KH MA MD TN

(30) Priorité: 24.06.2021 FR 2106761

(71) Demandeur: THALES
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:

- DOMPNIER, Rémi
06156 CANNES LA BOCCA Cedex (FR)

• SACCONI, Giacomo

06156 CANNES LA BOCCA Cedex (FR)

• DELMAS, Anthony

06156 CANNES LA BOCCA Cedex (FR)

• HUGON, Julien

06156 CANNES LA BOCCA Cedex (FR)

• CHAIX, Alain

06156 CANNES LA BOCCA Cedex (FR)

(74) Mandataire: Atout PI Laplace

Immeuble "Visium"

22, avenue Aristide Briand

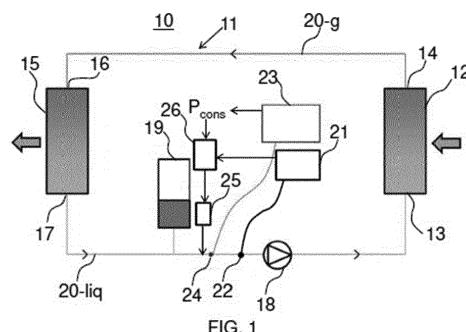
94117 Arcueil Cedex (FR)

(54) DISPOSITIF ET PROCEDE DE CONTROLE DE LA PRESSION D'UN FLUIDE DANS UNE BOUCLE FLUIDE DIPHASIQUE A POMPAGE MECANIQUE

(57) L'invention concerne un dispositif de contrôle (10) de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique, comprenant un circuit fermé (11) dans lequel circule un fluide caloporteur (20), un évaporateur (12) à travers lequel le fluide circule sous forme liquide (20-liq), l'évaporateur (12) étant configuré pour transformer le fluide sous forme liquide (20-liq) en fluide sous forme partiellement gazeuse (20-g), un condenseur (15) à travers lequel le fluide, le condenseur (15) étant configuré pour transformer le fluide sous forme partiellement gazeuse (20-g) en fluide sous forme liquide (20-liq), une pompe (18), disposée entre le condenseur (15) et l'évaporateur (12), destinée à mettre en mouvement le fluide dans le circuit fermé (11) depuis l'évaporateur (12) vers le condenseur (15) sous forme partiellement gazeuse (20-g) et depuis le condenseur (15) vers l'évaporateur (12) sous forme liquide (20-liq), un réservoir de fluide (19) relié au circuit fermé (11), destiné à compenser les variations de volume de fluide dans le circuit fermé (11); le dispositif de contrôle (10) étant caractérisé en ce qu'il comprend un moyen d'asservissement (26) du dispositif d'ajustement (25) de la pression, ou de la température de saturation, en fonction d'une valeur mesurée (24, 29) de pression du fluide, ou de température de saturation, et d'une valeur

de consigne de pression, ou de température de saturation, ladite valeur de consigne de pression, ou de température de saturation, étant variable selon une valeur mesurée (22) de température du fluide sous forme liquide (20-liq) et d'une valeur maximale de température du réservoir (19) ou de pression maximale dans le circuit fermé (11) sur une période préalablement définie

[Fig. 1]



Description

[0001] La présente invention se situe dans le domaine du contrôle thermique d'ensembles d'équipements dissipatifs. L'invention se rapporte à un dispositif et procédé de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique. Elle est décrite dans le domaine d'engin spatial de type satellite mais elle s'applique à n'importe quel système de boucle fluide diphasique à pompage mécanique.

[0002] Traditionnellement, une boucle fluide diphasique à pompage mécanique comprend un circuit fermé dans lequel circule un fluide caloporeur, un évaporateur, à travers lequel le fluide circule et s'évapore jusqu'à un état partiellement gazeux (dit diphasique) sous l'effet de l'énergie apportée par les équipements dissipatifs,, un condenseur, à travers lequel le fluide sous forme partiellement gazeuse circule en entrée se transforme en fluide liquide, une pompe, disposée entre la sortie du condenseur et l'entrée de l'évaporateur, destinée à mettre en mouvement le fluide dans le circuit fermé depuis l'évaporateur vers le condenseur sous forme partiellement gazeuse et depuis le condenseur vers l'évaporateur sous forme liquide, un réservoir de fluide relié au circuit fermé, destiné à compenser les variations de volume de fluide dans le circuit fermé.

[0003] En thermodynamique, le terme saturation définit une condition dans laquelle un mélange de vapeur et de liquide peut exister ensemble à une température et une pression données. La température à laquelle la vaporisation (ébullition) commence à se produire pour une pression donnée est appelée température de saturation ou point d'ébullition. La pression à laquelle la vaporisation (ébullition) commence à se produire pour une température donnée s'appelle la pression de saturation. Lorsque la qualité de la vapeur est égale à 0, on parle d'état de liquide saturé. Quand la qualité de la vapeur est égale à 1, on parle d'état de vapeur saturé. Entre ces deux états, on parle de mélange vapeur-liquide. A pression constante, un apport d'énergie ne modifie pas la température du mélange mais la qualité de la vapeur. Les paramètres auxquels la saturation d'un fluide prédefini se produit sont tabulés dans des tables de vapeur, et connus de l'Homme du métier. Dans un diagramme de phase, dans les régions à deux phases, notamment à proximité des frontières des phases vapeur/liquide, la spécification de la température seule définit la pression et la pression spécifie la température. En d'autres termes, il y a un lien entre pression et température de saturation. Dans la suite, lorsque l'on parle de contrôle de la température de saturation, on doit comprendre contrôle de la pression et inversement.

[0004] Le sous-refroidissement est la différence entre la température du fluide liquide et la température de saturation (fixée par la pression).

[0005] Le besoin est de contrôler une telle boucle fluide diphasique afin de respecter certaines contraintes opérationnelles des équipements dissipatifs installés et des

sous-systèmes constitutifs de la boucle.

[0006] Plus précisément, un des organes critiques d'une boucle à pompage mécanique est sa pompe. Afin de garantir son bon fonctionnement sur la durée de vie du satellite, la pompe doit fonctionner avec un fluide liquide uniquement (sans NCG -gaz non condensables- et NH3 vapeur) et avec un niveau de sous-refroidissement suffisamment élevé pour supprimer tout risque de cavitation. Nous parlerons donc dans la suite du document que le paramètre critique est le sous-refroidissement minimum.

[0007] Par ailleurs, d'autres éléments doivent eux aussi fonctionner avec un niveau de sous-refroidissement minimum pour ne pas subir le phénomène de cavitation (restricteurs, gas trap). Par souci de simplicité seul l'exemple de la pompe sera traité ici.

[0008] Les équipements dissipatifs ont eux aussi certaines contraintes opérationnelles, une température maximale mais aussi une limitation sur les cycles thermiques qu'ils subissent (en nombre et en amplitude) afin de limiter les phénomènes de fatigue de leurs constituants.

[0009] Dans l'art antérieur connu, le contrôle de la pression dans la boucle fluide est réalisé par un contrôle très simple qui consiste à fixer un niveau de pression de la boucle à une valeur maximale contrainte par la limite en température des équipements dissipatifs installés sur le satellite. Selon la pression de régulation, la boucle fluide est soit monophasique soit diphasique.

[0010] Pour les boucles monophasiques, les défauts sont les suivants. Le débit doit être très élevé pour transporter toute la puissance sans atteindre la saturation du fluide et rester dans une plage de température compatible des équipements du satellite. Pour une même capacité de transport, la masse d'une telle boucle est donc bien plus élevée. En outre, une telle solution présente de fortes inhomogénéités en température le long des échangeurs puisque l'énergie des équipements dissipatifs est stockée sous forme d'écart de température.

[0011] Pour les boucles diphasiques, cette méthode ne garantit en rien le minimum de sous-refroidissement au niveau de la pompe, phénomène destructeur pour le sous-système. Cette solution ne garantit pas non plus une variation en température limitée au niveau des équipements des dissipatifs, pour éviter les problèmes de cyclage en température.

[0012] Un autre inconvénient est lié aux fortes contraintes thermoélastiques avec les composants en contact à la fois du fluide saturé et du fluide sous-refroidi. Une telle solution ne garantit pas non plus l'isothermicité entre les équipements situés en entrée d'évaporateur et ceux en sortie.

[0013] De plus la solution déjà existante réduit la plage d'efficacité du produit. Les solutions actuelles consistent à contrôler un niveau de saturation dans la boucle mais ne se focalisent pas sur les contraintes opérationnelles du produit. Il en résulte un produit non optimisé vis-à-vis des contraintes opérationnelles. Une autre contrainte im-

portante liée à un grand niveau de sous-refroidissement est représentée par les contraintes thermoélastiques au niveau des échangeurs.

[0014] L'invention vise à pallier tout ou partie des problèmes cités plus haut en proposant un contrôle d'une boucle fluide diphasique à pompage mécanique, notamment pour une application spatiale. Des lois de contrôles permettent de réguler de manière dynamique la pression au sein de la boucle afin d'ajuster la température de saturation pour limiter l'intensité de ses variations dans le temps ou la différence entre la température de saturation et la température liquide (le sous-refroidissement). L'invention propose notamment un contrôle de la boucle à pompage mécanique pour garantir les conditions de fluide uniquement liquide au niveau de la pompe (ou tout autre équipement nécessitant un minimum de sous-refroidissement), avec un niveau de sous-refroidissement suffisamment élevé pour supprimer tout risque de cavitation.

[0015] A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique, la boucle fluide diphasique à pompage mécanique comprenant :

- un circuit fermé dans lequel circule un fluide caloporteur;
- au moins un évaporateur comprenant une entrée et une sortie, à travers lequel le fluide circule depuis l'entrée de l'évaporateur sous forme liquide vers la sortie de l'évaporateur, l'évaporateur étant configuré pour transformer le fluide sous forme liquide en fluide sous forme partiellement gazeuse ;
- au moins un condenseur comprenant une entrée et une sortie, à travers lequel le fluide sous forme partiellement gazeuse circule depuis l'entrée du condenseur vers la sortie du condenseur, le condenseur étant configuré pour transformer le fluide sous forme partiellement gazeuse en fluide sous forme liquide;
- une pompe, disposée entre la sortie du condenseur et l'entrée de l'évaporateur, destinée à mettre en mouvement le fluide dans le circuit fermé depuis l'évaporateur vers le condenseur sous forme partiellement gazeuse et depuis le condenseur vers l'évaporateur sous forme liquide;
- un réservoir de fluide relié au circuit fermé, destiné à compenser les variations de volume de fluide dans le circuit fermé ;

le dispositif de contrôle étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- un dispositif de mesure de la température du fluide sous forme liquide apte à fournir une valeur mesurée de température du fluide sous forme liquide;
- un dispositif de mesure de la pression du fluide en un point du circuit fermé apte à fournir une valeur mesurée de pression du fluide;
- un dispositif d'ajustement de la pression dans le cir-

cuit fermé ;

- un moyen d'asservissement du dispositif d'ajustement de la pression, ou de la température de saturation, en fonction de la valeur mesurée de pression du fluide, ou de température de saturation, et d'une valeur de consigne de pression, ou de température de saturation, ladite valeur de consigne de pression, ou de température de saturation, étant variable selon la valeur mesurée de température du fluide sous forme liquide et de la valeur maximale de température du réservoir ou de pression maximale dans le circuit sur une période préalablement définie.

[0016] Avantageusement, le dispositif de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention comprend en outre :

- un dispositif de mesure de la température du fluide dans le réservoir, apte à fournir une valeur mesurée de température du fluide dans le réservoir,
- un dispositif de chauffage du fluide dans le réservoir,

et dans lequel le moyen d'asservissement est configuré pour activer le dispositif de chauffage du fluide dans le réservoir, de sorte à piloter un écart entre la valeur mesurée de température du fluide sous forme liquide et la valeur mesurée de température du fluide dans le réservoir.

[0017] Avantageusement, le dispositif de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention comprend en outre :

- un calculateur d'un écart entre la valeur mesurée de la température de saturation, ou de la pression dans le circuit, et une valeur maximale de la température de saturation, ou de la pression dans le circuit fermé, préalablement définie,

et dans lequel le moyen d'asservissement est configuré pour activer le dispositif d'ajustement de la pression dans le circuit fermé si l'écart est supérieur à une valeur seuil préalablement définie.

[0018] Avantageusement, le dispositif de mesure de la température du fluide sous forme liquide est un capteur de température immergé dans le circuit fermé ou disposé sur une paroi extérieure du circuit fermé.

[0019] Avantageusement, le dispositif de mesure de la pression du fluide en un point du circuit fermé est un capteur de pression disposé dans le circuit fermé ou un capteur de température du fluide sous forme partiellement gazeuse disposé dans le circuit fermé entre la sortie de l'évaporateur et l'entrée du condenseur ou un capteur de température disposé sur le réservoir.

[0020] Avantageusement, le dispositif d'ajustement de la pression dans le circuit fermé est un dispositif mécanique de contrôle de pression ou un dispositif de chauffage.

fage du fluide dans le réservoir.

[0021] L'invention concerne aussi un procédé de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique, la boucle fluide diphasique à pompage mécanique comprenant:

- un circuit fermé dans lequel circule un fluide caloporteur ;
- au moins un évaporateur comprenant une entrée et une sortie, à travers lequel le fluide circule depuis l'entrée de l'évaporateur sous forme liquide vers la sortie de l'évaporateur, l'évaporateur étant configuré pour transformer le fluide sous forme liquide en fluide sous forme partiellement gazeuse ;
- au moins un condenseur comprenant une entrée et une sortie, à travers lequel le fluide sous forme partiellement gazeuse circule depuis l'entrée du condenseur vers la sortie du condenseur, le condenseur étant configuré pour transformer le fluide sous forme partiellement gazeuse en fluide sous forme liquide ;
- une pompe, disposée entre la sortie du condenseur et l'entrée de l'évaporateur, destinée à mettre en mouvement le fluide dans le circuit fermé depuis l'évaporateur vers le condenseur sous forme partiellement gazeuse et depuis le condenseur vers l'évaporateur sous forme liquide;
- un réservoir de fluide relié au circuit fermé, destiné à compenser les variations de volume de fluide dans le circuit fermé ;

le procédé de contrôle étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape de mesure de la température du fluide sous forme liquide fournissant une valeur mesurée de température du fluide sous forme liquide;
- une étape de mesure de la pression, ou de la température de saturation, du fluide du circuit fermé fournit une valeur mesurée de pression du fluide, ou de la température de saturation;
- une étape d'ajustement de la pression, ou de la température de saturation, dans le circuit fermé en fonction de la valeur mesurée de pression du fluide, ou de la température de saturation, et d'une valeur de consigne de pression, ou de température, ladite valeur de consigne de pression, ou de température, étant variable selon la valeur mesurée de température du fluide sous forme liquide et de la pression, ou température, de saturation sur une période préalablement définie.

[0022] Avantageusement, l'étape d'ajustement de la pression est réalisée par chauffage du fluide, ou par action mécanique, dans le réservoir, de sorte à piloter un écart entre la valeur mesurée de température du fluide sous forme liquide et une valeur mesurée de température du fluide dans le réservoir.

[0023] Avantageusement, l'étape d'ajustement de la

pression est réalisée si un écart entre la valeur mesurée de la température de saturation et une valeur maximale de la température de saturation préalablement définie est supérieur à une valeur seuil préalablement définie.

[0024] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple, description illustrée par le dessin joint dans lequel :

10 [Fig.1] La figure 1 représente schématiquement un dispositif de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention ;

15 [Fig.2] La figure 2 représente schématiquement un mode de réalisation d'un dispositif de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention ;

20 [Fig.3] La figure 3 représente une loi de contrôle du sous-refroidissement en fonction de la température du fluide liquide selon l'invention ;

25 [Fig.4] La figure 4 représente schématiquement un autre mode de réalisation d'un dispositif de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention ;

30 [Fig.5] La figure 5 représente l'évolution de la température de saturation en fonction du temps en un point de la boucle fluide diphasique, sans et avec un contrôle de la variation en température dans le temps selon l'invention ;

35 [Fig.6] La figure 6 représente schématiquement un organigramme des étapes du procédé de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention.

40 **[0025]** Par souci de clarté, les mêmes éléments porteront les mêmes repères dans les différentes figures. Pour une meilleure visibilité et dans un souci de compréhension accrue, les éléments ne sont pas toujours représentés à l'échelle.

45 **[0026]** La figure 1 représente schématiquement un dispositif de contrôle 10 de la pression d'un fluide caloporteur dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention. La boucle fluide diphasique à pompage mécanique comprend un circuit fermé 11 dans lequel circule un fluide caloporteur 20. La boucle comprend au moins un évaporateur 12 comprenant une entrée 13 et une sortie 14, à travers lequel le fluide circule depuis l'entrée 13 de l'évaporateur 12 sous forme liquide 20-liq vers la sortie 14 de l'évaporateur 12, l'évaporateur

50 12 étant configuré pour transformer le fluide sous forme liquide 20-liq en fluide sous forme partiellement gazeuse 20-g. L'évaporateur est configuré pour récupérer, capter une certaine quantité d'énergie thermique extérieure à

la boucle, notamment issue des équipements dissipatifs sur le satellite. Le fluide caloporeur 20, alors sous forme liquide 20-liq en entrée de l'évaporateur, reçoit cette énergie thermique et s'évapore partiellement pour se transformer en fluide sous forme partiellement gazeuse 20-g dans l'évaporateur, et quitter l'évaporateur en fluide sous forme partiellement gazeuse 20-g. La boucle comprend au moins un condenseur 15 comprenant une entrée 16 et une sortie 17, à travers lequel le fluide sous forme partiellement gazeuse 20-g circule depuis l'entrée 16 du condenseur 15 vers la sortie 17 du condenseur 15, le condenseur 15 étant configuré pour transformer le fluide sous forme partiellement gazeuse 20-g en fluide sous forme liquide 20-liq. Le condenseur est configuré pour restituer une certaine quantité d'énergie thermique vers l'extérieur de la boucle, par exemple vers l'espace froid autour du satellite. Le fluide caloporeur 20, alors sous forme partiellement gazeuse 20-g en entrée du condenseur, perd cette énergie thermique et se condense partiellement ou totalement pour se transformer en fluide sous forme liquide 20-liq dans le condenseur, et quitter le condenseur en fluide sous forme liquide ou diphasique 20-liq. La boucle comprend une pompe 18, disposée entre la sortie 17 du condenseur 15 et l'entrée 13 de l'évaporateur 12, destinée à mettre en mouvement le fluide dans le circuit fermé 11 depuis l'évaporateur 12 vers le condenseur 15 sous forme partiellement gazeuse 20-g, et depuis le condenseur 15 vers l'évaporateur 12 sous forme liquide 20-liq. Enfin, la boucle comprend un réservoir de fluide 19 relié au circuit fermé 11, destiné à compenser les variations de volume de fluide dans le circuit fermé 11, en lien avec la quantité de vapeur, due à l'évaporation, présente dans le circuit fermé.

[0027] Selon l'invention, le dispositif de contrôle 10 comprend un dispositif de mesure 21 de la température du fluide sous forme liquide 20-liq apte à fournir une valeur mesurée 22 de température du fluide sous forme liquide, un dispositif de mesure 23 de la pression du fluide en un point du circuit fermé 11 apte à fournir une valeur mesurée 24 de pression du fluide, un dispositif d'ajustement 25 de la pression dans le circuit fermé 11, un moyen d'asservissement 26 du dispositif d'ajustement 25 de la pression en fonction de la valeur mesurée 24 de pression du fluide et d'une valeur de consigne Pcons de pression, ladite valeur de consigne de pression Pcons étant variable selon les valeurs mesurées 22 et 24 respectivement de température du fluide sous forme liquide 20-liq et de pression dans la boucle.

[0028] Le dispositif selon l'invention permet ainsi une régulation dynamique de la pression au sein de la boucle afin d'ajuster la différence entre la température de saturation (fonction de la pression interne dans la boucle) et la température du fluide sous forme liquide en amont de la pompe. En effet, le dispositif d'ajustement 25 de la pression dans le circuit fermé 11 est activé selon la valeur 24 de la pression mesurée du fluide et une valeur de consigne Pcons, et la valeur de consigne Pcons de la pression (objectif) n'est pas une valeur fixe mais dépend

de la valeur 22 de la température du fluide sous forme liquide 20-liq.

[0029] La figure 2 représente schématiquement un mode de réalisation d'un dispositif de contrôle 50 de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention. Dans ce mode de réalisation, le dispositif de contrôle 50 comprend un dispositif de mesure 28 de la température du fluide dans le réservoir 19, apte à fournir une valeur mesurée 29 de température du fluide dans le réservoir 19, et un dispositif de chauffage 30 du fluide dans le réservoir 19. Dans ce mode de réalisation où le contenu du réservoir est diphasique, la température du réservoir 19 est directement liée à la température de saturation, elle-même reliée la pression dans le circuit 11. De plus, le moyen d'asservissement 26 est configuré pour activer le dispositif de chauffage du fluide dans le réservoir 19, de sorte à piloter un écart entre la valeur mesurée 22 de température du fluide sous forme liquide 20-liq et la valeur mesurée 29 de température du fluide dans le réservoir 19. Ce mode de réalisation permet de piloter l'écart de température entre la température du fluide et la température du réservoir.

[0030] Il en résulte une régulation de l'écart entre la température de saturation et la température du fluide sous forme liquide. On parle aussi de loi de contrôle du sous-refroidissement. Cette loi de régulation permet de supprimer le risque de cavitation et présence de bulles au niveau de la pompe ou tout autre organe sensible.

[0031] La figure 3 représente une loi de contrôle du sous-refroidissement (axe des ordonnées) en fonction de la température du fluide liquide (axe des abscisses) selon l'invention. Le sous-refroidissement quantifie un écart entre la température de saturation et la température du fluide. À une température de fluide donnée (par exemple Ta), un niveau de sous-refroidissement (niveau a) est attribué. Dans notre mode de réalisation le fluide utilisé est de l'ammoniac. Dans ce cas, le besoin en sous-refroidissement augmente lorsque la température du fluide diminue car la solubilité des gaz non-condensables (NCG) diminue lorsque la température diminue. Ainsi la loi permet de garantir que les bulles de NCG sont bien dissoutes. Le choix des niveaux α et β est basé sur le sous-refroidissement nécessaire pour éliminer le risque de cavitation au niveau de la pompe et ou autres composants sensibles, ainsi que sur le volume de la boucle, la quantité de NCG estimée dans la boucle, la plage de fonctionnement en température. La courbe représentée sur la figure 3 est un exemple de courbe pour la loi de sous-refroidissement. Cette courbe est déterminée expérimentalement sur la base d'une pluralité de mesures de températures et correspond à un fluide caloporeur donné et un ensemble d'équipements donné. Le contrôle du sous-refroidissement est réalisé par le chauffage du fluide dans le réservoir pour piloter l'écart entre la température du fluide dans le réservoir donc la pression et le niveau de saturation dans la boucle et la température du fluide sous forme liquide, c'est-à-dire l'écart de température entre l'entrée de la pompe et le réservoir.

[0032] La figure 4 représente schématiquement un autre mode de réalisation d'un dispositif de contrôle 60 de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention. Dans ce mode de réalisation, le dispositif de contrôle 60 comprend en outre un calculateur 40 d'un écart 41 entre la valeur mesurée 24 de la pression dans le circuit 11 à un instant t et une valeur maximale 42 de la pression dans le circuit 11 mesurée sur une période préalablement définie. Le moyen d'asservissement 26 est configuré pour activer le dispositif d'ajustement 25 de la pression dans le circuit fermé 11 si l'écart 41 est supérieur à une valeur seuil 43 préalablement définie. Ce mode de réalisation permet d'enclencher une mise en pression du fluide dans le circuit fermé 11 pour limiter la variation de la température de saturation. Tout ce processus de contrôle peut être réalisé sur la base de températures de saturation au lieu de pressions.

[0033] Il en résulte un contrôle de l'amplitude de variation de la pression et donc de la température de saturation sur une période donnée. L'objectif est de limiter la hauteur de variation de la température de saturation sur une période définie pour limiter les cyclages thermiques des équipements dissipatifs.

[0034] La figure 5 représente l'évolution de la température de saturation (axe des ordonnées) en fonction du temps (axe des abscisses) en un point de la boucle fluide diphasique, sans (partie gauche de la figure) et avec (partie droite de la figure) un contrôle de la variation en température dans le temps selon l'invention.

[0035] La température des équipements est très liée à la température de saturation (fixée par la pression) dans la boucle. Les variations d'environnement du satellite génèrent des variations de température de saturation et donc de température au niveau des équipements dissipatifs. Ces variations peuvent poser des problèmes de fatigue dus aux nombreux cyclages sur la durée de vie du satellite. Ce phénomène est représenté sur la courbe à gauche de la figure 5. Sans contrôle de la variation en température dans le temps, on voit que la température de saturation oscille entre une valeur maximale 42 et des valeurs minimales. Dans ce cas, l'écart 44 entre la température de saturation et la valeur maximale peut être très important.

[0036] La solution innovante de l'invention est une loi qui limite la variation de la température de saturation sur une période donnée. Par exemple, sur une certaine période, la température maximale du fluide dans le réservoir est observée. C'est ainsi que l'on peut déterminer la valeur maximale 42. Une valeur seuil 43 entre la valeur mesurée 29 de la température du fluide dans le réservoir (température de saturation) et la valeur maximale 42 est définie. La valeur seuil 43 est choisie en fonction des contraintes de fatigue des équipements dissipatifs. La durée glissante sur laquelle ce contrôle est effectué dépend du type de satellite de son orbite et des équipements dissipatifs à contrôler. Une fois la valeur seuil 43 et la valeur maximale 42 définies, le dispositif de contrôle

60 est configuré pour observer à intervalles réguliers, la température du réservoir actuelle 29 et déterminer si l'écart actuel 41 entre la température du réservoir actuelle 29 et la température maximale 42 est inférieur à la valeur seuil 43. S'il est inférieur, cela signifie que la température du réservoir 29 actuelle se situe dans la zone acceptable de température. S'il est supérieur, afin d'éviter de trop grandes variations thermiques dans la boucle, le dispositif d'ajustement 25 de la pression dans le circuit fermé 11 est activé. Autrement dit, la pressurisation dans la boucle est activée.

[0037] Avantageusement, le dispositif de mesure 21 de la température du fluide sous forme liquide 20-liq est un capteur de température immergé dans le circuit fermé 11 ou disposé sur une paroi extérieure du circuit fermé 11.

[0038] Avantageusement, le dispositif de mesure 23 de la pression du fluide en un point du circuit fermé 11 est un capteur de pression disposé dans le circuit fermé 11, à n'importe quel endroit du circuit fermé 11, ou un capteur de température du fluide sous forme partiellement gazeuse 20-g disposé dans le circuit fermé 11 entre la sortie 14 de l'évaporateur 12 et l'entrée 16 du condenseur 15, c'est-à-dire dans la zone dite diphasique, ou encore, dans le cas de l'utilisation d'un réservoir diphasique 19, un capteur de température du fluide dans le réservoir 19 du circuit 11.

[0039] Avantageusement, le dispositif d'ajustement 25 de la pression dans le circuit fermé 11 est un dispositif mécanique de contrôle de pression, par exemple un piston ou une membrane, ou un dispositif de chauffage du fluide dans le réservoir 19.

[0040] La figure 6 représente schématiquement un organigramme des étapes du procédé de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention. Le procédé de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique telle que décrite précédemment, comprend les étapes suivantes :

- une étape 101 de mesure de la température du fluide sous forme liquide 20-liq fournissant une valeur mesurée 22 de température du fluide sous forme liquide;
- une étape 102 de mesure de la pression ou de la température de saturation du fluide du circuit fermé fournissant une valeur mesurée 24 de pression du fluide ou de la température de saturation 29. Cette valeur 29 est stockée sur une période donnée. Le maximum de la valeur 29 sur cette période donnée est la valeur maximale 42.
- une étape 103 d'ajustement de la pression ou de la température de saturation dans le circuit fermé en fonction de la valeur mesurée 24 de pression du fluide ou de la température de saturation et d'une valeur de consigne Pcons de pression ou Tcons de température, ladite valeur de consigne Pcons de pression ou Tcons de température étant variable selon la va-

leur mesurée 22 de température du fluide sous forme liquide et de la pression ou température de saturation maximale 42 sur une période donnée.

[0041] Les étapes 101 et 102 de mesure de température et pression peuvent être réalisées simultanément ou séquentiellement.

[0042] Dans un mode de réalisation du procédé de l'invention, l'étape 103 d'ajustement de la pression est réalisée par chauffage 104 du fluide, ou par action mécanique, dans le réservoir 19, de sorte à piloter un écart entre la valeur mesurée 22 de température du fluide sous forme liquide et des valeurs mesurées 29 et 42 de température du fluide dans le réservoir diphasique 19.

[0043] Dans un autre mode de réalisation de l'invention, en complément ou alternativement du mode de réalisation précédent, l'étape 103 d'ajustement de la pression est réalisée si un écart 41 entre la valeur mesurée 22 de la température du fluide sous forme liquide et une valeur maximale 42 de la température du fluide dans le réservoir diphasique 19 préalablement définie est supérieur à une valeur seuil 43 préalablement définie.

[0044] Grâce à l'invention, la régulation se base directement sur des paramètres mis en jeu dans les contraintes opérationnelles des équipements dissipatifs ou du satellite lui-même. La solution propose ainsi une régulation qui garantit la bonne santé de la boucle fluide mais aussi des équipements dissipatifs tout en optimisant les capacités de transport thermique du système.

[0045] L'invention assure un contrôle dynamique de la saturation dans la boucle fluide. On parle de contrôle actif car l'ajustement de la pression dans le circuit fermé se fait en temps réel en fonction des paramètres observés et des valeurs de consigne des lois implémentées.

[0046] L'invention permet aussi de réaliser un contrôle dynamique du sous-refroidissement en pilotant un écart entre la température actuelle du fluide sous forme liquide et celle du fluide dans le réservoir. Ce contrôle dynamique du sous-refroidissement est réalisé par réchauffage du fluide dans le réservoir, non pas de manière constante, mais en adéquation avec la température du fluide sous forme liquide dans le circuit fermé.

[0047] L'invention permet en outre de contrôler l'amplitude du cyclage en température des équipements.

[0048] Enfin, l'invention assure un contrôle actif du niveau de solubilité des NCG grâce à la prise en compte du sous-refroidissement.

[0049] Il apparaîtra plus généralement à l'Homme du métier que diverses modifications peuvent être apportées aux modes de réalisation décrits ci-dessus, à la lumière de l'enseignement qui vient de lui être divulgué. Dans les revendications qui suivent, les termes utilisés ne doivent pas être interprétés comme limitant les revendications aux modes de réalisation exposés dans la présente description, mais doivent être interprétés pour y inclure tous les équivalents que les revendications visent à couvrir du fait de leur formulation et dont la prévision est à la portée de l'Homme du métier se basant sur ses

connaissances générales.

Revendications

1. Dispositif de contrôle (10, 50, 60) de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique, la boucle fluide diphasique à pompage mécanique comprenant :

- un circuit fermé (11) dans lequel circule un fluide de caloporteur (20);
- au moins un évaporateur (12) comprenant une entrée (13) et une sortie (14), à travers lequel le fluide circule depuis l'entrée (13) de l'évaporateur (12) sous forme liquide (20-liq) vers la sortie (14) de l'évaporateur (12), l'évaporateur (12) étant configuré pour transformer le fluide sous forme liquide (20-liq) en fluide sous forme partiellement gazeuse (20-g);
- au moins un condenseur (15) comprenant une entrée (16) et une sortie (17), à travers lequel le fluide sous forme partiellement gazeuse (20-g) circule depuis l'entrée (16) du condenseur (15) vers la sortie (17) du condenseur (15), le condenseur (15) étant configuré pour transformer le fluide sous forme partiellement gazeuse (20-g) en fluide sous forme liquide (20-liq);
- une pompe (18), disposée entre la sortie (17) du condenseur (15) et l'entrée (13) de l'évaporateur (12), destinée à mettre en mouvement le fluide dans le circuit fermé (11) depuis l'évaporateur (12) vers le condenseur (15) sous forme partiellement gazeuse (20-g) et depuis le condenseur (15) vers l'évaporateur (12) sous forme liquide (20-liq);
- un réservoir de fluide (19) relié au circuit fermé (11), destiné à compenser les variations de volume de fluide dans le circuit fermé (11) ;

le dispositif de contrôle (10) étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- un dispositif de mesure (21) de la température du fluide sous forme liquide (20-liq) apte à fournir une valeur mesurée (22) de température du fluide sous forme liquide;
- un dispositif de mesure (23) de la pression du fluide en un point du circuit fermé (11) apte à fournir une valeur mesurée (24) de pression du fluide;
- un dispositif d'ajustement (25) de la pression dans le circuit fermé (11) ;
- un moyen d'asservissement (26) du dispositif d'ajustement (25) de la pression, ou de la température de saturation, en fonction de la valeur mesurée (24, 29) de pression du fluide, ou de température de saturation, et d'une valeur de

- consigne (Pcons, Tcons) de pression, ou de température de saturation, ladite valeur de consigne de pression (Pcons), ou de température de saturation (Tcons), étant variable selon la valeur mesurée (22) de température du fluide sous forme liquide (20-liq) et d'une valeur maximale (42) de température du réservoir (19) ou de pression maximale dans le circuit fermé (11) sur une période préalablement définie.
2. Dispositif de contrôle (50) de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon la revendication 1, comprenant en outre :
- un dispositif de mesure (28) de la température du fluide dans le réservoir (19), apte à fournir une valeur mesurée (29) de température du fluide dans le réservoir (19),
 - un dispositif de chauffage (30) du fluide dans le réservoir (19),
- et dans lequel le moyen d'asservissement (26) est configuré pour activer le dispositif de chauffage du fluide dans le réservoir (19), de sorte à piloter un écart entre la valeur mesurée (22) de température du fluide sous forme liquide (20-liq) et la valeur mesurée (29) de température du fluide dans le réservoir (19).
3. Dispositif de contrôle (60) de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon la revendication 1 ou 2, comprenant en outre :
- un calculateur (40) d'un écart (41) entre la valeur mesurée (29, 24) de la température de saturation, ou de la pression dans le circuit fermé (11), et une valeur maximale (42) de la température de saturation, ou de la pression dans le circuit fermé (11), préalablement définie,
- et dans lequel le moyen d'asservissement (26) est configuré pour activer le dispositif d'ajustement (25) de la pression dans le circuit fermé (11) si l'écart (41) est supérieur à une valeur seuil (43) préalablement définie.
4. Dispositif de contrôle (10, 50, 60) de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le dispositif de mesure (21) de la température du fluide sous forme liquide (20-liq) est un capteur de température immergé dans le circuit fermé (11) ou disposé sur une paroi extérieure du circuit fermé (11).
5. Dispositif de contrôle (10, 50, 60) de la pression d'un
- fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le dispositif de mesure (23) de la pression du fluide en un point du circuit fermé (11) est un capteur de pression disposé dans le circuit fermé (11) ou un capteur de température du fluide sous forme partiellement gazeuse (20-g) disposé dans le circuit fermé (11) entre la sortie (14) de l'évaporateur (12) et l'entrée (16) du condenseur (15) ou un capteur de température disposé sur le réservoir (19).
6. Dispositif de contrôle (10, 50, 60) de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le dispositif d'ajustement (25) de la pression dans le circuit fermé (11) est un dispositif mécanique de contrôle de pression ou un dispositif de chauffage du fluide dans le réservoir (19).
7. Procédé de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique, la boucle fluide diphasique à pompage mécanique comprenant:
- un circuit fermé (11) dans lequel circule un fluide de caloporeur (20);
 - au moins un évaporateur (12) comprenant une entrée (13) et une sortie (14), à travers lequel le fluide circule depuis l'entrée (13) de l'évaporateur (12) sous forme liquide (20-liq) vers la sortie (14) de l'évaporateur (12), l'évaporateur (12) étant configuré pour transformer le fluide sous forme liquide (20-liq) en fluide sous forme partiellement gazeuse (20-g) ;
 - au moins un condenseur (15) comprenant une entrée (16) et une sortie (17), à travers lequel le fluide sous forme partiellement gazeuse (20-g) circule depuis l'entrée (16) du condenseur (15) vers la sortie (17) du condenseur (15), le condenseur (15) étant configuré pour transformer le fluide sous forme partiellement gazeuse (20-g) en fluide sous forme liquide (20-liq);
 - une pompe (18), disposée entre la sortie (17) du condenseur (15) et l'entrée (13) de l'évaporateur (12), destinée à mettre en mouvement le fluide dans le circuit fermé (11) depuis l'évaporateur (12) vers le condenseur (15) sous forme partiellement gazeuse (20-g) et depuis le condenseur (15) vers l'évaporateur (12) sous forme liquide (20-liq);
 - un réservoir de fluide (19) relié au circuit fermé (11), destiné à compenser les variations de volume de fluide dans le circuit fermé (11) ;
- le procédé de contrôle étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape (101) de mesure de la température du fluide sous forme liquide (20-liq) fourni-
ant une valeur mesurée (22) de température du fluide sous forme liquide;
 - une étape (102) de mesure de la pression, ou de la température de saturation, du fluide du circuit fermé fourni-
ant une valeur mesurée (24) de pression du fluide, ou de la température de saturation (29);
 - une étape (103) d'ajustement de la pression, ou de la température de saturation, dans le circuit fermé en fonction de la valeur mesurée (24) de pression du fluide, ou de la température de saturation, et d'une valeur de consigne (Pcons, Tcons) de pression, ou de température, ladite valeur de consigne (Pcons, Tcons) de pression, ou de température, étant variable selon la valeur mesurée (22) de température du fluide sous forme liquide et de la pression, ou température, de saturation sur une période préalablement définie.

8. Procédé de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon la revendication 7, dans lequel l'étape (103) d'ajustement de la pression est réalisée par chauffage (104) du fluide, ou par action mécanique, dans le réservoir (19), de sorte à piloter un écart entre la valeur mesurée (22) de température du fluide sous forme liquide et une valeur mesurée (29) de température du fluide dans le réservoir (11). 25
9. Procédé de contrôle de la pression d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'une des revendications 7 ou 8, dans lequel l'étape (103) d'ajustement de la pression est réalisée si un écart (41) entre la valeur mesurée (29) de la température de saturation et une valeur maximale (42) de la température de saturation préalablement définie est supérieur à une valeur seuil (43) préalablement définie. 35 40

45

50

55

[Fig. 1]

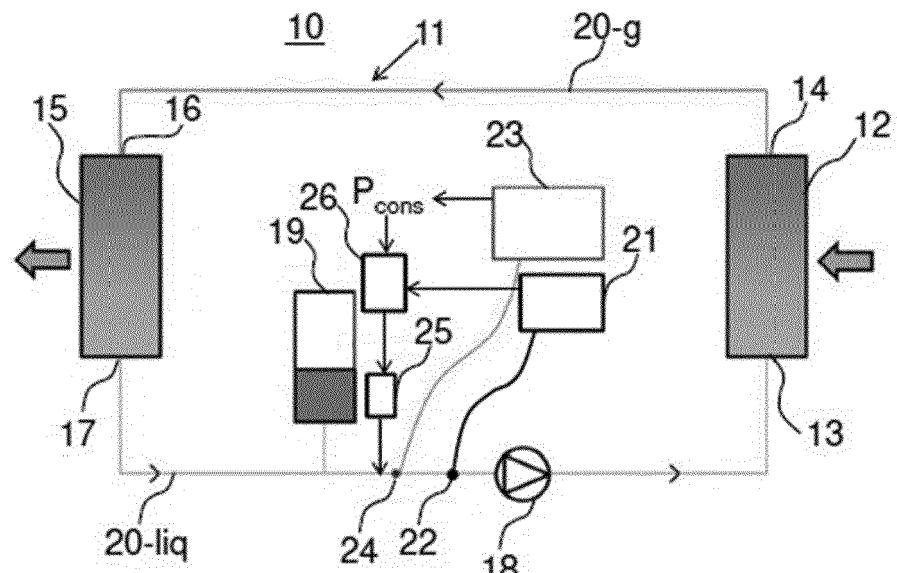


FIG. 1

[Fig. 2]

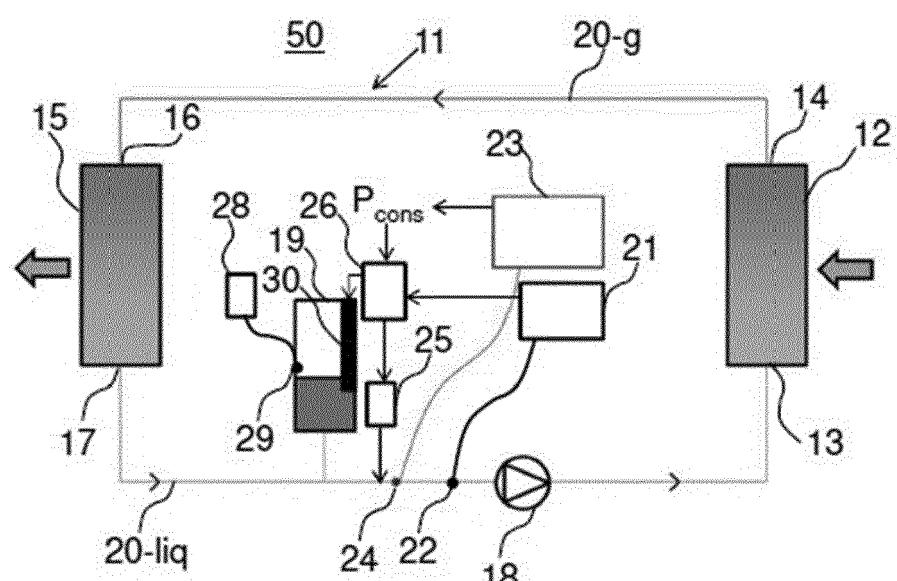


FIG. 2

[Fig. 3]

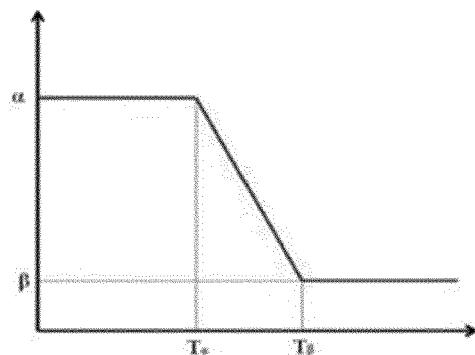


FIG. 3

[Fig. 4]

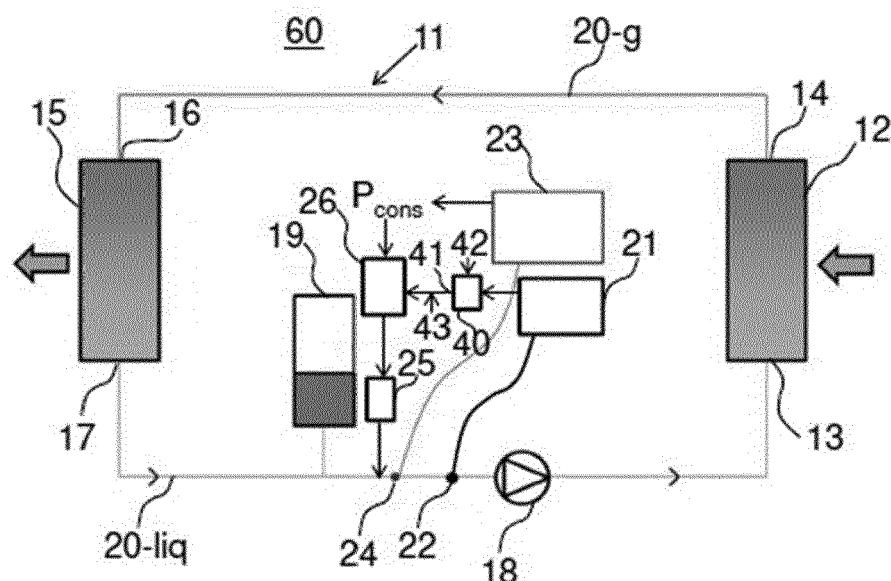


FIG. 4

[Fig. 5]

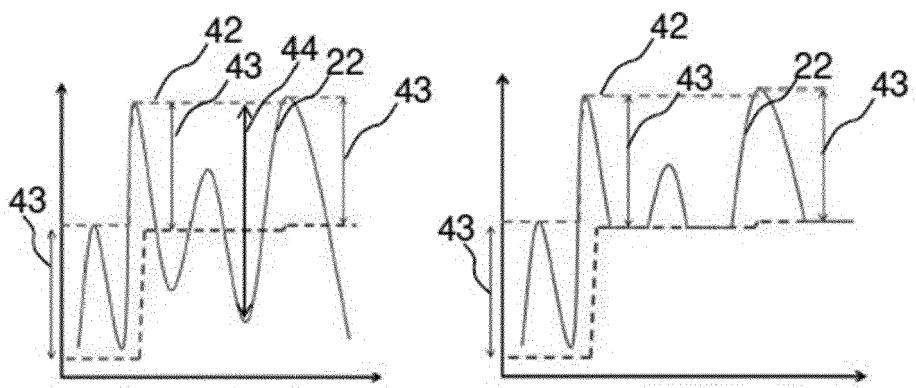


FIG. 5

[Fig. 6]

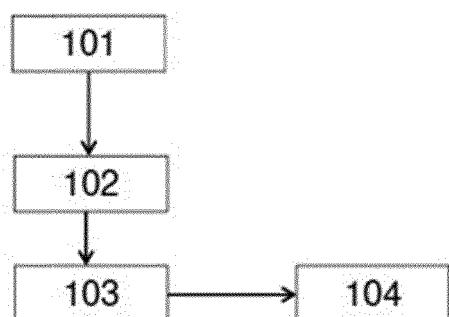


FIG. 6



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 22 18 0651

5

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS				
	Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
10	X	WO 2013/034170 A1 (CERN EUROPEAN ORGANIZATION NUCLEAR RESEARCH [CH]; NIKHEF [NL] ET AL.) 14 mars 2013 (2013-03-14) * page 3, alinéa 3; figure 1 * -----	1-9	INV. F04B15/06 F04B49/06 F25B23/00 F28D15/02 F28F27/00
15	X	EP 3 553 420 A2 (ROLLS ROYCE NAM TECH INC [US]) 16 octobre 2019 (2019-10-16) * alinéas [0064], [0065] * -----	1, 7	
20	X	WO 2020/075148 A1 (ROMANELLO FRANCESCO [IT]; SARACENO LUCA [IT] ET AL.) 16 avril 2020 (2020-04-16) * page 5; figure 1 * -----	1, 7	
25	X	US 11 022 378 B1 (TUCKER BRIAN P [US] ET AL) 1 juin 2021 (2021-06-01) * colonne 7, ligne 35 - colonne 8, ligne 28 * -----	1, 7	
30				DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
35				F04B F25B F28F F28D
40				
45				
50	1	Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications		
55		Lieu de la recherche Munich	Date d'achèvement de la recherche 10 novembre 2022	Examinateur Ziegler, Hans-Jürgen
		CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES	T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
		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		

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 22 18 0651

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

10-11-2022

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
15	WO 2013034170 A1 14-03-2013	EP 2753887 A1 JP 6087359 B2 JP 2014526667 A PL 2753887 T3 US 2014230471 A1 WO 2013034170 A1	16-07-2014 01-03-2017 06-10-2014 08-03-2021 21-08-2014 14-03-2013	
20	EP 3553420 A2 16-10-2019	EP 3553420 A2 US 2019316850 A1	16-10-2019 17-10-2019	
25	WO 2020075148 A1 16-04-2020	EP 3864351 A1 TW 202028674 A US 2021341185 A1 WO 2020075148 A1	18-08-2021 01-08-2020 04-11-2021 16-04-2020	
30	US 11022378 B1 01-06-2021	US 10591221 B1 US 10914529 B1 US 11015874 B1 US 11022378 B1 US 11221183 B1 US 11262134 B1	17-03-2020 09-02-2021 25-05-2021 01-06-2021 11-01-2022 01-03-2022	
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82