



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
28.12.2022 Bulletin 2022/52

(21) Numéro de dépôt: **22180652.4**

(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) **F04B 23/02** ^(2006.01)
F04B 49/10 ^(2006.01) **F25D 17/02** ^(2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):

F04B 49/10; F04B 23/02; F25D 17/02

(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 2106765**

(71) Demandeur: **THALES**
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:
• **SACCONE, Giacomo**
06156 CANNES LA BOCCA Cedex (FR)

• **DOMPNIER, Rémi**
06156 CANNES LA BOCCA Cedex (FR)
• **DELMAS, Anthony**
06156 CANNES LA BOCCA Cedex (FR)
• **MIGNON, Kevin**
06156 CANNES LA BOCCA Cedex (FR)
• **CHAIX, Alain**
06156 CANNES LA BOCCA Cedex (FR)
• **HUGON, Julien**
06156 CANNES LA BOCCA Cedex (FR)

(74) Mandataire: **Atout PI Laplace**
Immeuble "Visium"
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(54) **DISPOSITIF ET PROCÉDÉ DE CONTRÔLE DES INSTABILITÉS HYDRAULIQUES DANS UNE BOUCLE FLUIDE DIPHASIQUE À POMPAGE MÉCANIQUE**

(57) L'invention concerne un dispositif de contrôle (10) thermique 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 circule sous forme partiellement gazeuse (20-g), 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) 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) comprenant un dispositif (80) de gestion thermique diphasique dynamique apte à ab-

sorber des variations de puissance thermique auxquelles la boucle fluide diphasique à pompage mécanique est soumise.

[Fig. 2]

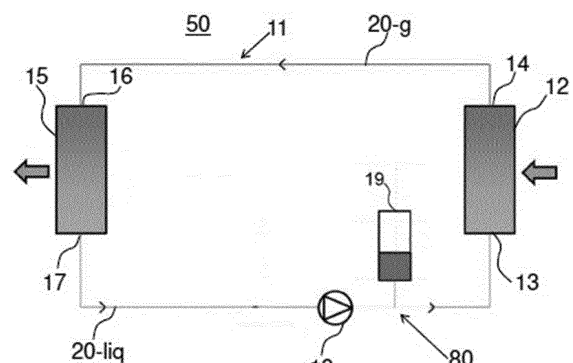


FIG. 2

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 des instabilités hydrauliques 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 caloporteur, au moins un évaporateur, à travers lequel le fluide circule sous forme majoritairement liquide en entrée de l'évaporateur, l'évaporateur étant configuré pour transformer le fluide sous forme liquide en fluide sous forme partiellement gazeuse, au moins un condenseur, à travers lequel le fluide sous forme partiellement gazeuse circule en entrée 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.

[0003] Historiquement, les systèmes diphasiques par excellence sont les centrales électriques traditionnelles (qui utilisent des cycles Rankine ou Rankine Hirn) et les réacteurs nucléaires à eau bouillante.

[0004] En général, ces systèmes, ayant comme but de produire de la vapeur à épandre dans une turbine, peuvent fixer la puissance thermique en entrée du système thermo-fluidique. Ils peuvent donc fixer les paramètres dimensionnant du problème (notamment pression, débit et puissance thermique) au mieux avant d'ouvrir l'allée vers la turbine.

[0005] Ce type d'application peut être classifié comme : « Puissance thermique au service de la thermo-fluidique ».

[0006] Au contraire, une boucle diphasique pour la gestion thermique des satellites, est conçue plutôt comme : « Thermo-fluidique au service de la Puissance thermique ». Dans ce cadre, l'optimisation des paramètres mentionnés devient plus difficile : les centrales électriques travaillent à puissance constante alors qu'un satellite change constamment sa puissance thermique selon l'environnement (exposition au soleil), le trafic des utilisateurs et le mode d'utilisation des équipements. Dans ce contexte, la thermo-hydraulique de la boucle est en constant changement alors que les applications terrestres mentionnées travaillent à puissance thermique constante et donc en condition hydraulique constante aussi.

[0007] Dans le cadre des applications terrestres con-

nues de l'art antérieur, les procédures de mise en configuration et d'allumage sont très strictes et la puissance thermique, ainsi que son changement dans le temps, sont dimensionnés pour relaxer les contraintes thermo-hydrauliques. Normalement la séquence d'allumage est la suivante :

- Allumage du système de pompage (pas forcement au niveau nominal) ;
- Montée en pression (en général par réchauffage de la zone diphasique, pas forcement au niveau nominal) ;
- Admission de la vapeur en turbine ;
- Montée en puissance progressive (limitée entre 2% de la puissance nominale par minute et 5% de la puissance nominale par minute) jusqu'à une valeur constante.

[0008] En général, pour l'allumage des réacteurs nucléaires à eau bouillante, des cartographies, des consignes de dimensionnement et des procédures d'allumages ont été standardisées.

[0009] Avec les solutions proposées, la séquence d'allumage d'une boucle fluide diphasique à pompage mécanique (ou MPL pour Mechanically Pumped Loop) est la suivante :

- Montée en pression (par réchauffage de la zone diphasique, au niveau minimum pour gagner en rapidité) ;
- Allumage du système de pompage (au niveau nominal) ;
- Montée en puissance progressive (sans limite temporelle) ;
- Après cette phase d'initialisation, la puissance thermique pourra varier de 100% de façon instantanée.

[0010] On notera de plus que dans le cadre des applications terrestres citées, l'accumulateur (ou vase d'expansion) et l'évaporateur forment un seul et même composant. Il s'agit là d'une différence notable avec la MPL, où la pression est gérée ailleurs par rapport à l'endroit d'ébullition. En d'autres termes, l'accumulateur (vase d'expansion ou réservoir) et l'évaporateur sont deux composants distincts pour la MPL.

[0011] Les solutions techniques connues de l'art antérieur ne sont pas conçues pour gérer des transitoires de puissance thermique importantes. Au mieux, les solutions de l'art antérieur sont conçues pour des variations de puissance thermique très faibles. Dans le cadre du monde spatial, la dissipation des équipements peut varier de façon importante. Les agences de télécommuni-

cations ayant des spécifications d'allumage de plus en plus contraignantes, il est nécessaire de gérer les transitoires de puissance thermique.

[0012] Les solutions actuelles consistent à donner des contraintes de variation thermique très strictes, voire aucune variation thermique.

[0013] Dans le passé, les boucles diphasiques servaient à produire de l'énergie, donc la puissance thermique était au service de la fluidique. L'invention se propose de gérer des transitoires violentes et concevoir une boucle fluide diphasique au service des équipements à refroidir.

[0014] L'invention vise à pallier tout ou partie des problèmes cités plus haut en proposant un contrôle thermique d'une boucle fluide diphasique à pompage mécanique, notamment pour une application spatiale. Le contrôle thermique est ici un contrôle des instabilités hydrauliques dans la boucle fluide diphasique à pompage mécanique. Ce contrôle thermique permet de garantir un comportement hydraulique stable de la boucle, pour garantir la santé de la pompe, garantir la santé du produit lui-même et optimiser les performances du système.

[0015] A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif de contrôle thermique 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 gestion thermique diphasique dynamique apte à absorber des variations de puissance thermique auxquelles la boucle fluide diphasique à pompage mécanique est soumise.

[0016] Avantageusement, le dispositif de gestion thermique diphasique dynamique est le réservoir de fluide

relié au circuit fermé en aval de la pompe et en amont de l'évaporateur.

[0017] Avantageusement, le réservoir étant relié au circuit fermé par un conduit à travers lequel du fluide transite depuis le réservoir vers le circuit fermé, le dispositif de gestion thermique diphasique dynamique peut comprendre une restriction du conduit.

[0018] Avantageusement, le dispositif de gestion thermique peut comprendre en outre :

- un dispositif de mesure de la température du fluide à la sortie de l'évaporateur apte à fournir une valeur mesurée de température du fluide; et/ou
- un dispositif de mesure d'un courant utilisé par une charge utile à laquelle le dispositif de contrôle est relié, le dispositif de mesure étant apte à fournir une valeur mesurée de courant ; le dispositif de mesure étant configuré pour calculer une variation de température ou de courant à partir des valeurs mesurées ; et
- un dispositif d'ajustement de la pression dans le circuit fermé ; et
- un moyen d'asservissement du dispositif d'ajustement de la pression en fonction de la valeur mesurée et dans lequel le moyen d'asservissement est configuré pour activer le dispositif d'ajustement de la pression dans le circuit fermé si la valeur mesurée ou la variation calculée est supérieure à une valeur seuil préalablement définie.

[0019] 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 du fluide dans le réservoir.

[0020] L'invention concerne aussi un procédé de contrôle thermique 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'éva-

porateur 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 à la sortie de l'évaporateur dans le circuit fermé et/ou de mesure d'un courant utilisé par une charge utile à laquelle la boucle fluide diphasique à pompage mécanique est reliée ;
- optionnellement, une étape de calcul d'une variation de température ou de courant à partir des valeurs mesurées ;
- si la valeur mesurée de température du fluide et/ou de courant et/ou de variation soit de la température du fluide en sortie de l'évaporateur, soit du courant utilisé par la charge utile est supérieure à une valeur seuil préalablement définie, une étape d'ajustement de la pression dans le circuit fermé.

[0021] 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 :

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

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

[Fig.3] La figure 3 représente schématiquement un autre mode de réalisation d'un dispositif de contrôle thermique d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention ;

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

[Fig.5] La figure 5 représente schématiquement un autre mode de réalisation d'un dispositif de contrôle thermique d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention ;

[Fig.6] La figure 6 représente schématiquement un autre mode de réalisation d'un dispositif de contrôle thermique d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention ;

[Fig.7] La figure 7 représente l'évolution de la puissance thermique maximale, de la pression dans la boucle et l'activation du réservoir en fonction du temps selon l'invention ;

[Fig.8] La figure 8 représente schématiquement un organigramme des étapes du procédé de contrôle thermique d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention.

[0022] 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.

[0023] Comme expliqué dans l'introduction, la MPL peut se retrouver face à la problématique d'absorber jusqu'à 100% de variation de puissance des équipements de l'engin spatial, situés au niveau des évaporateurs. L'invention vise donc à apporter une bonne gestion des transitoires.

[0024] La figure 1 représente schématiquement un dispositif de contrôle 10 thermique 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 12 étant configuré pour transformer le fluide sous forme liquide 20-liq en fluide sous forme partiellement gazeuse 20-g. On peut préciser que le fluide circule depuis l'entrée 13 de l'évaporateur 12 sous forme majoritairement liquide, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessairement uniquement sous forme liquide, vers la sortie 14 de l'évaporateur 12. Cet état est bien connu de l'Homme du métier. Dans la suite, pour faciliter la compréhension, nous parlerons de fluide sous forme liquide. 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 caloporteur 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

caloporteur 20, alors sous forme partiellement gazeuse 20-g en entrée du condenseur, perd cette énergie thermique et se condense partiellement pour se transformer en fluide sous forme liquide 20-liq dans le condenseur, et quitter le condenseur en fluide sous forme liquide 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.

[0025] Dans le dispositif de l'invention, la pompe peut être une pompe centrifuge. De manière plus générale, le terme pompe est utilisé pour désigner un dispositif de circulation du fluide. Un Homme du métier comprendra que tout dispositif de circulation du fluide est envisageable, par exemple un compresseur. L'invention est décrite dans le cas d'une pompe, mais elle s'applique similairement au cas avec un compresseur.

[0026] Selon l'invention, le dispositif de contrôle 10 comprend un dispositif 80 de gestion thermique diphasique dynamique apte à absorber des variations de puissance thermique auxquelles la boucle fluide diphasique à pompage mécanique est soumise sans aucune contrainte sur l'utilisation des équipements dissipatifs ni sur la variation de leur dissipation et donc sans contrainte sur la performance opérationnelle.

[0027] Grâce au dispositif 80 de gestion thermique diphasique dynamique, il n'y a plus de contraintes opérationnelles pour les utilisateurs. En effet, il n'est pas nécessaire de fixer des contraintes thermiques, comme cela apparaîtra plus clairement à l'aide des exemples de réalisation décrits ci-dessous.

[0028] Le dispositif selon l'invention permet de contrôler une boucle fluide diphasique lors des transitoires de puissance thermique. Le but est atteint grâce à l'invention par la stabilisation des paramètres hydrauliques afin de respecter certaines contraintes opérationnelles des équipements dissipatifs installés et des éléments constitutifs de la boucle. On garantit ainsi le bon fonctionnement de la pompe, un des organes critique de la MPL, sur la durée de vie du satellite. En effet, grâce à l'invention, la pompe peut fonctionner dans une gamme étroite de son point d'efficacité maximale. En outre, les équipements dissipatifs ont eux aussi certaines contraintes opérationnelles, comme une température maximale. L'invention permet aussi d'assurer le fonctionnement de ces équipements dans leur gamme optimale de fonctionnement.

[0029] La figure 2 représente schématiquement un mode de réalisation d'un dispositif de contrôle 50 thermique d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention. Dans ce mode de réalisation, le dispositif 80 de gestion thermique dipha-

sique dynamique est le réservoir de fluide 19 relié au circuit fermé 11 en aval de la pompe 18 et en amont de l'évaporateur 12.

[0030] Il en résulte une compensation des variations de volume de fluide dans le circuit fermé 11 en aval de la pompe, c'est-à-dire sans impact destructeur sur la pompe, même lorsque la boucle doit absorber une grande quantité de contraintes thermiques.

[0031] La figure 3 représente schématiquement un autre mode de réalisation d'un dispositif de contrôle 60 thermique d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention. Dans ce mode de réalisation, le réservoir 19 étant relié au circuit fermé 11 par un conduit à travers lequel du fluide transite entre le réservoir 19 et le circuit fermé, le dispositif de gestion thermique diphasique dynamique comprend une restriction 81 du conduit. La restriction 81 peut être une vanne papillon, une vanne micrométrique, une vanne manuelle, une diminution de la section du conduit ou tout autre dispositif de restriction du conduit.

[0032] La figure 4 représente schématiquement un autre mode de réalisation d'un dispositif de contrôle 60 thermique d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention. Ce mode de réalisation est identique au mode de réalisation présenté à la figure 3, à ceci près que le réservoir 19, dont le conduit comprend une restriction, est relié au circuit fermé 11 en aval de l'évaporateur 12 et en amont du condenseur 15.

[0033] La restriction 81 a pour rôle d'empêcher, ou tout du moins de limiter, l'entrée du fluide dans le réservoir.

[0034] La figure 5 représente schématiquement un autre mode de réalisation d'un dispositif de contrôle 60 thermique d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention. Ce mode de réalisation est identique au mode de réalisation présenté à la figure 2, à ceci près que le conduit du réservoir 19 comprend en plus une restriction. Comme sur la figure 2, le réservoir 19 est relié au circuit fermé 11 en aval de la pompe 18 et en amont de l'évaporateur 12.

[0035] La figure 6 représente schématiquement un autre mode de réalisation d'un dispositif 70 de contrôle thermique d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention. Dans ce mode de réalisation, le dispositif 80 de gestion thermique comprend en outre un dispositif de mesure 21 de la température du fluide apte à fournir une valeur mesurée 22 de température du fluide. Le dispositif 80 de gestion thermique comprend un dispositif d'ajustement 25 de la pression dans le circuit fermé 11. Enfin, le dispositif 80 de gestion thermique comprend un moyen d'asservissement 26 du dispositif d'ajustement 25 de la pression en fonction de la valeur mesurée 22 de température du fluide. Selon l'invention, le moyen d'asservissement 26 est configuré pour activer le dispositif d'ajustement 25 de la pression dans le circuit fermé 11 si la valeur mesurée 22 de température du fluide est supérieure à une valeur seuil 43 préalablement définie.

[0036] Le dispositif d'ajustement 25 de la pression

dans le circuit fermé 11 peut être un dispositif mécanique de contrôle de pression ou un dispositif de chauffage du fluide dans le réservoir 19.

[0037] Dans ce mode de réalisation, le dispositif 80 de gestion thermique correspond à un régulateur anticipatif de l'état de la charge utile. Il s'agit d'une loi de contrôle actif qui anticipe la phase transitoire de la charge utile. Sur la base d'une mesure de la température, la comparaison entre la valeur mesurée 22 de température du fluide et une valeur seuil 43 (qui peut être variable selon les phases d'utilisation des équipements dissipatifs) donne une indication sur l'occurrence d'une phase transitoire. Il peut aussi s'agir d'une comparaison entre une variation de température calculée et une valeur seuil 43 de variation autorisée. Si tel est le cas, le réservoir 19 est alors mis sous pression en vue d'une phase transitoire montante en puissance. La mise en pression du réservoir empêche l'entrée du fluide sous forme liquide dans le réservoir. L'invention repose donc sur l'anticipation des phases transitoires et permet ainsi d'adapter le comportement du dispositif 70 de contrôle thermique de la boucle. Alternativement et/ou en complément, sur la base d'une mesure du courant consommé par la charge utile (c'est-à-dire les équipements dissipatifs), la comparaison entre la valeur mesurée 22 du courant et une valeur seuil 43 (qui peut être variable selon les phases d'utilisation des équipements dissipatifs) donne une indication sur l'occurrence d'une phase transitoire. Dans ce cas, le dispositif 21 est un dispositif de mesure 21 de courant. De façon similaire, si tel est le cas, le réservoir 19 est alors mis sous pression en vue d'une phase transitoire montante en puissance. Le dispositif 21 est configuré pour calculer une variation de température ou de courant, notamment faire un calcul différentiel de variation de températures par rapport à la variation temporelle et/ou un calcul différentiel de variation de l'intensité de courant par rapport à la variation temporelle. Avantagusement, c'est la variation de température ou de courant qui est utilisée en comparaison avec une valeur seuil. En effet, une variation brutale de cette valeur, par exemple de l'ordre de 30%, doit faire que le dispositif d'ajustement 25 de la pression dans le circuit fermé 11 est actionné.

[0038] Selon la sévérité des transitoires de puissance en phase de conception du design, deux ou trois modes de réalisation de l'invention peuvent être combinés pour comprendre à la fois un réservoir positionné en aval de la pompe, une restriction à l'entrée du réservoir et la loi de contrôle active dédiée à la pression du réservoir par rapport à la transitoire prévue.

[0039] Il faut également noter que ces implémentations spécifiques du dispositif de l'invention concernent tous les réservoirs qui contrôlent la pression du circuit fermé dans le cas où la boucle comprend une pluralité de réservoirs.

[0040] La figure 7 représente l'évolution de la puissance thermique maximale (notée P_{th} , courbe 91), de la pression (notée P , courbe 92) dans la boucle et l'activation du réservoir (courbe 93) en fonction du temps selon

l'invention. Ce graphique permet de visualiser l'activation du réservoir (c'est-à-dire le chauffage du fluide dans le réservoir 19 ou la pressurisation à travers une membrane sous pression) lors des transitoires montants en puissance. La rupture de pente pour la montée en pression est liée à l'ébullition : un volume considérable de liquide entre dans le réservoir rendant moins efficace le réchauffement du réservoir. On voit qu'en activant le réservoir, il est ainsi possible d'absorber la puissance thermique avec maintien de la pression à un certain niveau.

[0041] Le déclenchement de l'activation du réservoir peut être adapté selon les cas d'utilisation. A titre d'exemple non-limitatif, il est possible de considérer une variation de 30% du courant consommé par la charge utile pour initier le réchauffement du fluide dans le réservoir.

[0042] La figure 8 représente schématiquement un organigramme des étapes du procédé de contrôle thermique d'un fluide dans une boucle fluide diphasique à pompage mécanique selon l'invention. Le procédé de contrôle thermique 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 dans le circuit fermé 11 et/ou une mesure du courant consommé par la charge utile (les équipements dissipatifs);
- si la valeur mesurée 22 de température du fluide ou de courant est supérieure à une valeur seuil 43 ou si la variation de température (ou de courant) calculée a varié plus que une valeur seuil 43 préalablement définie pendant un ou plusieurs échantillons, une étape (103) d'ajustement de la pression dans le circuit fermé 11.

[0043] L'invention permet de gérer des transitoires d'allumage plus sévères, donc une mise en configuration de la charge utile plus vite et plus sûre. L'invention permet aussi une flexibilité dans l'utilisation de la charge utile sans précédent dans l'histoire des boucles diphasiques tout en garantissant le NPSHR (abréviation de « Net Positive Suction Head Required » pour différence minimal requise entre la pression absolue totale du liquide en ce point et sa pression de vapeur saturante. C'est une limite pour garantir l'absence de cavitation) et une stabilité hydraulique.

[0044] Les solutions proposées par l'invention présentent en outre l'avantage de proposer un système asservi à l'utilisation qui en est faite en garantissant la bonne santé de la boucle et des équipements dissipatifs montés sur les évaporateurs. En effet, grâce à l'invention, il n'est plus nécessaire de fixer des contraintes de variation de puissance thermique stricte, voire aucune variation, comme c'est le cas de l'art antérieur.

[0045] Il apparaîtra plus généralement à l'Homme du métier que diverses modifications peuvent être apportées aux modes de réalisation décrits ci-dessus, à la lu-

mière 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, 70) thermique 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 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 (80) de gestion thermique diphasique dynamique apte à absorber des variations de puissance thermique auxquelles la boucle fluide diphasique à pompage mécanique est soumise, le dispositif (80) de gestion thermique diphasique dynamique étant le réservoir de fluide (19) relié au circuit fermé (11) en aval de la pompe (18) et en amont de l'évaporateur (12).

2. Dispositif de contrôle (60) selon la revendication 1, le réservoir (19) étant relié au circuit fermé (11) par un conduit à travers lequel du fluide transite depuis le réservoir (19) vers le circuit fermé, dans lequel le dispositif de gestion thermique diphasique dynamique comprend une restriction (81) du conduit.
3. Dispositif de contrôle (70) selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, le dispositif (80) de gestion thermique comprenant en outre :

- un dispositif de mesure (21) de la température du fluide à la sortie de l'évaporateur apte à fournir une valeur mesurée (22) de température du fluide; et/ou
- un dispositif de mesure (21) d'un courant utilisé par une charge utile à laquelle le dispositif de contrôle est relié, le dispositif de mesure (21) étant apte à fournir une valeur mesurée (22) de courant ; le dispositif de mesure (21) étant configuré pour calculer une variation de température ou de courant à partir des valeurs mesurées (22);
- 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 (22) 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 la valeur mesurée (22) ou la variation calculée est supérieure à une valeur seuil (43) préalablement définie.

4. Dispositif de contrôle (10, 50, 60) selon la revendication 3, 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).
5. Procédé de contrôle thermique 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 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); 5

- 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); 10

- un réservoir de fluide (19) relié au circuit fermé (11), destiné à compenser les variations de volume de fluide dans le circuit fermé (11); 15

- un dispositif (80) de gestion thermique diphasique dynamique apte à absorber des variations de puissance thermique auxquelles la boucle fluide diphasique à pompage mécanique est soumise, le dispositif (80) de gestion thermique diphasique dynamique étant le réservoir de fluide (19) relié au circuit fermé (11) en aval de la pompe (18) et en amont de l'évaporateur (12), 20

25

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

- une étape (101) de mesure de la température du fluide à la sortie de l'évaporateur (12) dans le circuit fermé (11) et/ou de mesure d'un courant utilisé par une charge utile à laquelle la boucle fluide diphasique à pompage mécanique est reliée ; 30

- optionnellement, une étape de calcul d'une variation de température ou de courant à partir des valeurs mesurées ; 35

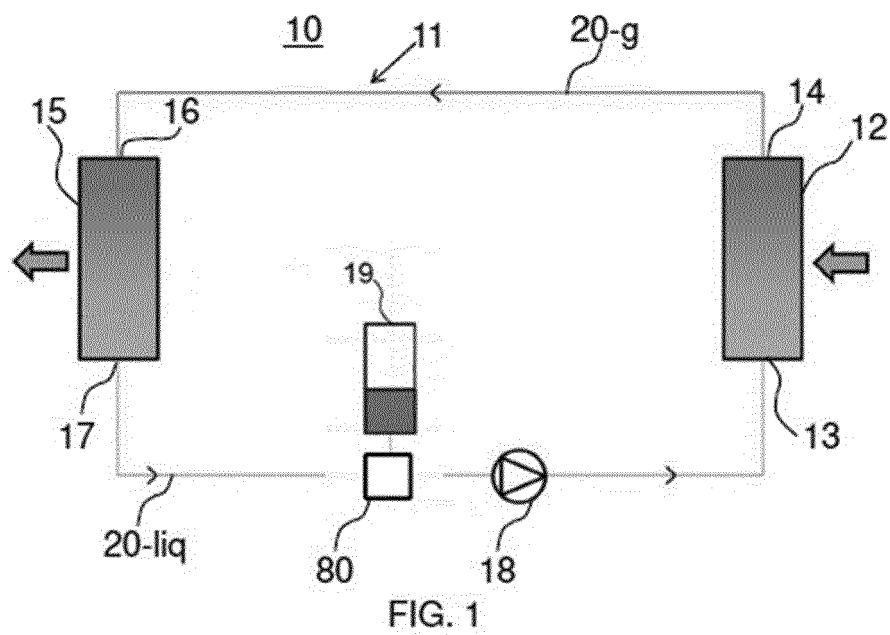
- si la valeur mesurée (22) de température du fluide et/ou de courant et/ou de variation soit de la température du fluide en sortie de l'évaporateur, soit du courant utilisé par la charge utile est supérieure à une valeur seuil (43) préalablement définie, une étape (103) d'ajustement de la pression dans le circuit fermé (11). 40

45

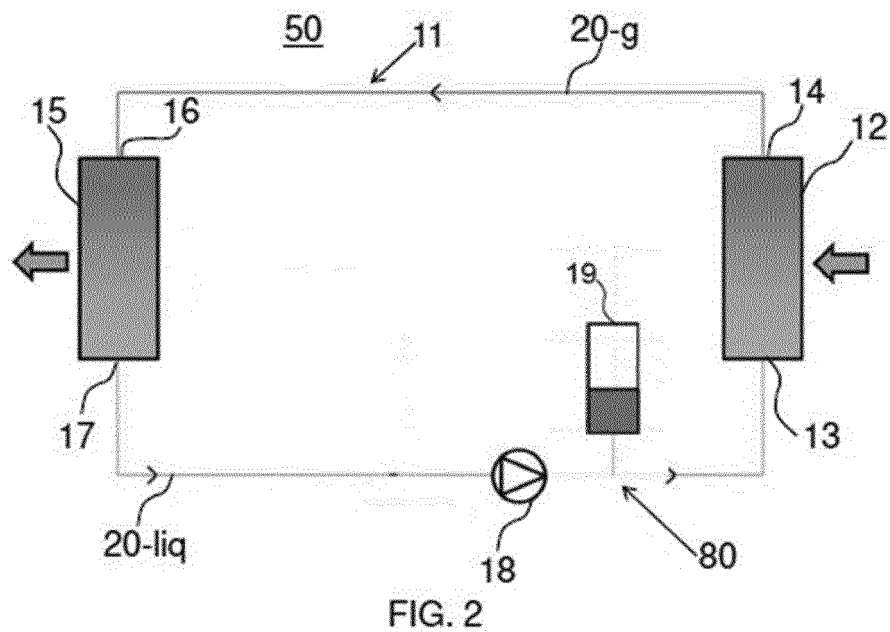
50

55

[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]

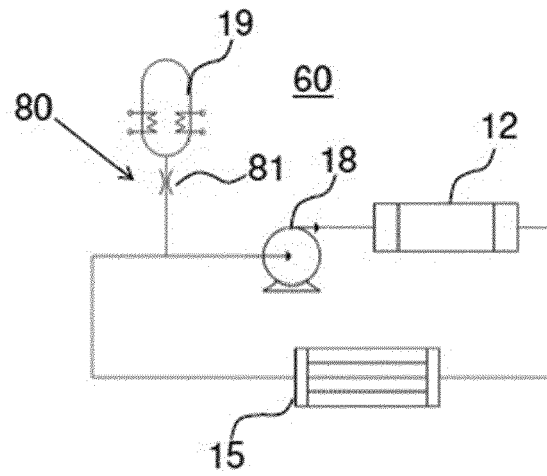


FIG. 3

[Fig. 4]

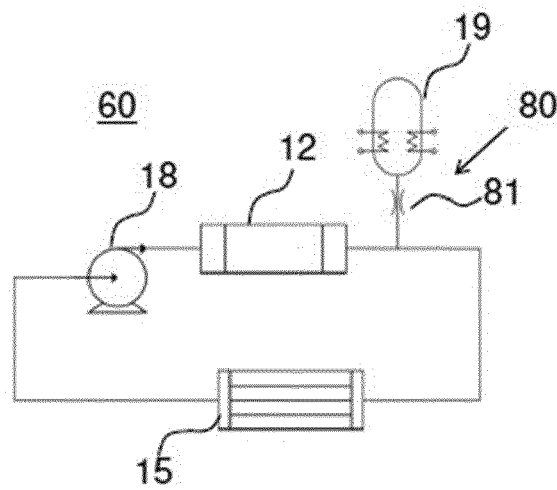
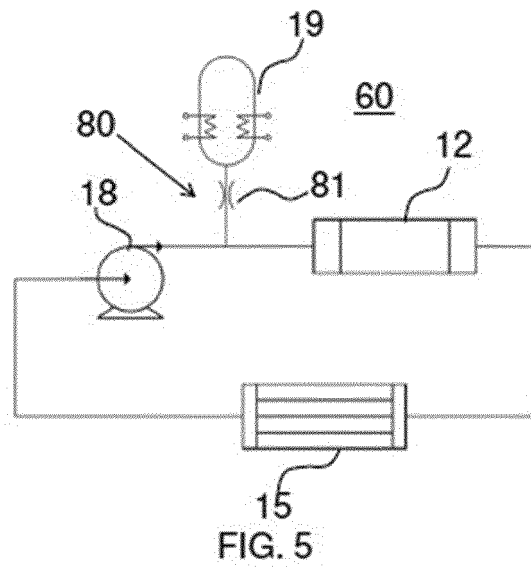
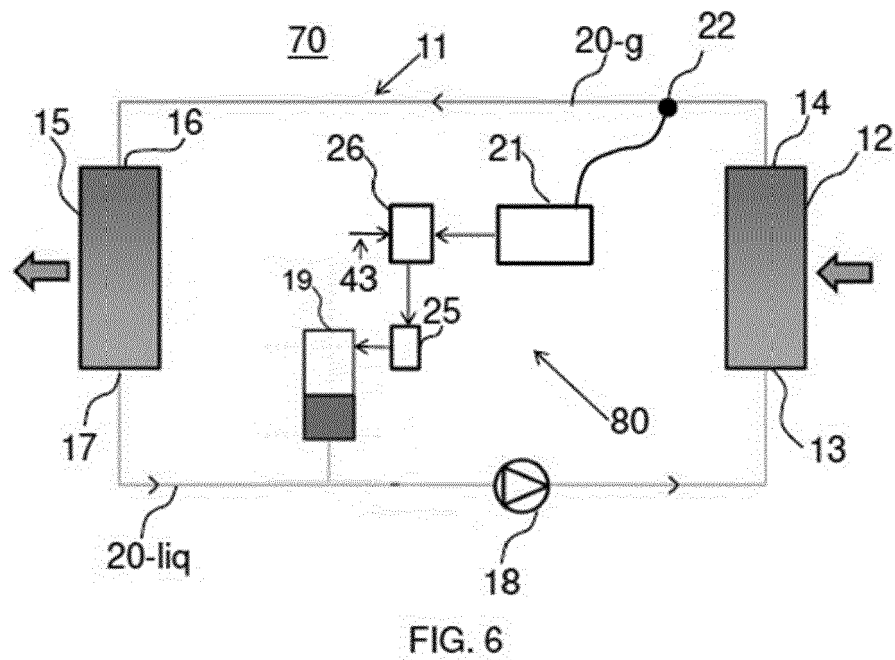


FIG. 4

[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]

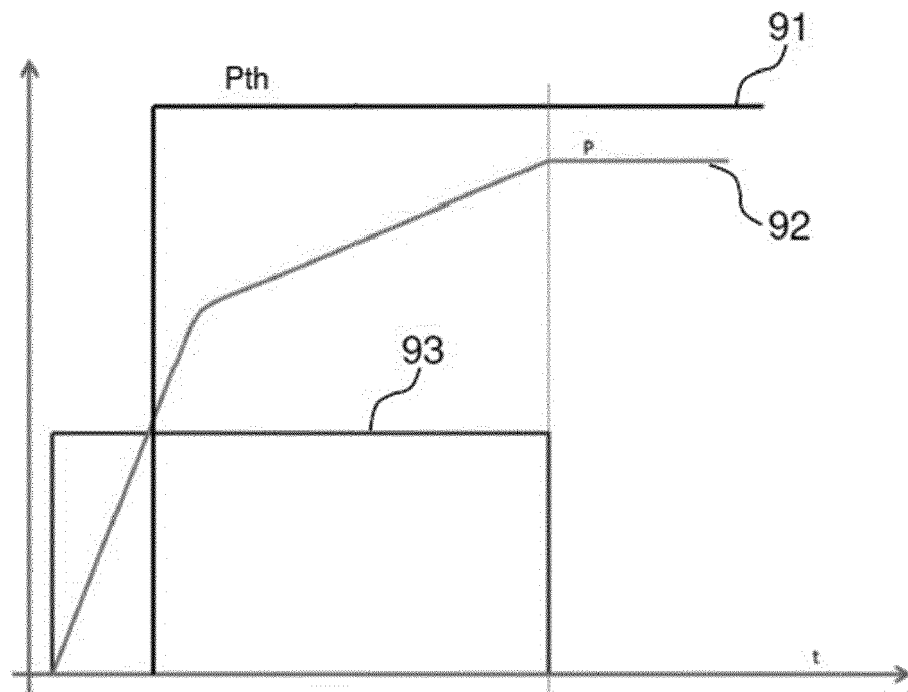


FIG. 7

[Fig. 8]

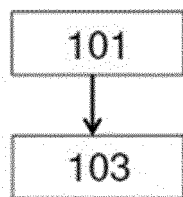


FIG. 8



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 22 18 0652

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	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 *	1-5	INV. F04B15/06 F04B49/06 F25B23/00 F28D15/02
A	EP 3 553 420 A2 (ROLLS ROYCE NAM TECH INC [US]) 16 octobre 2019 (2019-10-16) * alinéas [0056] - [0065]; figures 4,5 *	1-5	F28F27/00 F04B23/02 F04B49/10 F25D17/02
A	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 *	1-5	
A	WO 2020/075148 A1 (ROMANELLO FRANCESCO [IT]; SARACENO LUCA [IT] ET AL.) 16 avril 2020 (2020-04-16) * page 5; figure 1 *	1-5	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F04B F25B F28F F28D F25D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 9 novembre 2022	Examineur Ziegler, Hans-Jürgen
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet 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	

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

EP 22 18 0652

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.

09-11-2022

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 16-07-2014
JP 6087359 B2 01-03-2017
JP 2014526667 A 06-10-2014
PL 2753887 T3 08-03-2021
US 2014230471 A1 21-08-2014
WO 2013034170 A1 14-03-2013

20

EP 3553420 A2 16-10-2019 EP 3553420 A2 16-10-2019
US 2019316850 A1 17-10-2019

25

US 11022378 B1 01-06-2021 US 10591221 B1 17-03-2020
US 10914529 B1 09-02-2021
US 11015874 B1 25-05-2021
US 11022378 B1 01-06-2021
US 11221183 B1 11-01-2022
US 11262134 B1 01-03-2022

30

WO 2020075148 A1 16-04-2020 EP 3864351 A1 18-08-2021
TW 202028674 A 01-08-2020
US 2021341185 A1 04-11-2021
WO 2020075148 A1 16-04-2020

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