



(11) **EP 2 813 433 A2**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
17.12.2014 Bulletin 2014/51

(51) Int Cl.:
B64G 1/26 (2006.01) **B64G 1/40** (2006.01)
F17C 7/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **14171603.5**

(22) Date de dépôt: **06.06.2014**

(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

(72) Inventeurs:
• **Lienart, Thomas**
31000 TOULOUSE (FR)
• **Pfaab, Kilian**
31450 POMPERTUZAT (FR)
• **Bravais, Patrick**
38560 HAUTE JARRIE (FR)

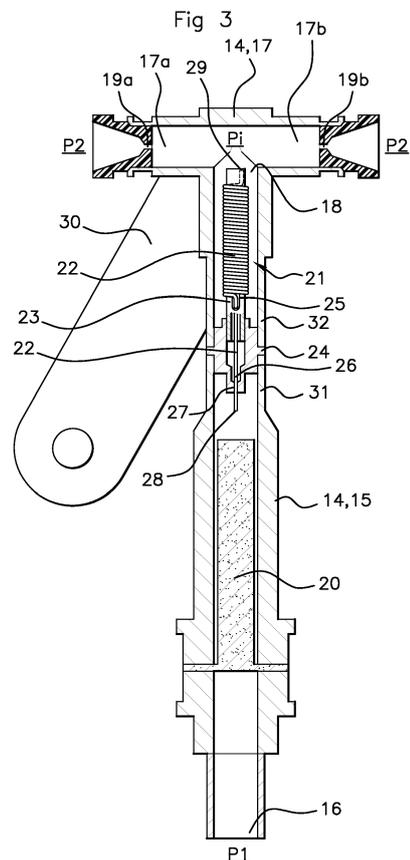
(30) Priorité: **11.06.2013 FR 1355398**

(71) Demandeurs:
• **Centre National d'Etudes Spatiales (C.N.E.S.)**
75001 Paris (FR)
• **L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCESSES GEORGES CLAUDE**
75007 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet BARRE LAFORGUE & associés**
35, rue Lancefoc
31000 Toulouse (FR)

(54) **Procédé et dispositif de vidange d'une enceinte d'engin spatial**

(57) L'invention concerne un procédé et un dispositif de vidange d'une enceinte d'engin spatial contenant une composition gazeuse sous une pression P_1 supérieure à celle P_2 régnant dans un environnement extérieur à l'engin spatial dans l'Espace, l'enceinte étant reliée à cet environnement extérieur de l'Espace par au moins une conduite (14) d'évacuation. La composition gazeuse circulant dans chaque conduite (14) d'évacuation traverse au moins un dispositif (20, 21) de détente initiale présentant au moins un étranglement de section à la sortie duquel la pression de la composition gazeuse se trouve à une troisième valeur P_i intermédiaire entre la première pression P_1 dans l'enceinte et la deuxième pression P_2 de l'environnement extérieur.



EP 2 813 433 A2

Description

[0001] L'invention concerne un procédé et un dispositif de vidange d'une enceinte d'engin spatial contenant une composition gazeuse sous une pression P1 supérieure à celle P2 régnant dans un environnement extérieur à l'engin spatial situé dans l'espace extra-atmosphère (désigné "Espace" dans tout le texte), l'enceinte étant reliée à cet environnement extérieur de l'Espace par au moins une conduite d'évacuation. Elle s'étend à un engin spatial, tel qu'un satellite artificiel, équipé d'au moins un tel dispositif de vidange.

[0002] Comme l'indique FR2896773, le problème de la vidange des réservoirs sous pression de systèmes spatiaux, en particulier des satellites artificiels, en fin de mission nécessite des précautions importantes, ce document prévoyant, pour la passivation d'un satellite de télécommunication, deux étapes de passivation successives, dont une première étape de vidange contrôlée, la plus importante et la plus longue, dans laquelle l'attitude du satellite doit être contrôlée à partir du sol.

[0003] Outre que cette solution n'est pas applicable à tous les systèmes spatiaux (certains d'entre eux n'étant pas dotés de moyens de contrôle d'attitude efficaces en fin de mission), elle est particulièrement coûteuse et complexe. En outre, en pratique, les pressions de composition gazeuse couramment rencontrées en fin de mission d'un engin spatial peuvent atteindre des valeurs importantes (notamment en cas de fin de mission anticipée), typiquement de plusieurs centaines de bars (plusieurs dizaines de millions de pascals), mais dont la valeur n'est pas connue à l'avance. La vidange dans le vide spatial environnant par une simple conduite et/ou tuyère ne peut donc pas être contrôlée dans toutes les conditions initiales de vidange inconnues à l'avance. En particulier, dans le cas d'une tuyère d'évacuation, la température en sortie de tuyère dépend de la température d'entrée et du rapport entre la pression de sortie et la pression d'entrée. Or, ni la température d'entrée ni la pression d'entrée (régnant dans l'enceinte) ne sont connues à l'instant de déclenchement de la vidange en fin de mission d'un engin spatial. En conséquence, il reste possible que la température de sortie soit suffisamment basse pour entraîner un changement de phase au moins partielle de la composition gazeuse, de sorte que le dimensionnement de cette tuyère ne peut pas être optimisé, et que son fonctionnement ne peut donc pas être certifié à l'avance.

[0004] Ce problème se pose avec d'autant plus d'acuité que la composition gazeuse peut comprendre une proportion non nulle d'eau, susceptible, lors de la détente, de générer des gouttelettes liquides perturbant l'opération de vidange et pouvant générer des variations intempestives de la poussée générée par la vidange, voire même des phénomènes de type coups de bélier produisant des accélérations intempestives de l'engin spatial. Tel est le cas en particulier lorsque la composition gazeuse comprend de l'azote.

[0005] Par ailleurs, en fin de vie d'un satellite artificiel,

il convient de vidanger des réservoirs de gaz sous pression avant de désorbiter le satellite. Lors de cette vidange, le satellite ne doit pas présenter une modification d'attitude trop importante, susceptible d'entraîner la perte de son suivi par le sol. Pour éviter une telle modification d'attitude, on peut penser à diminuer considérablement la valeur du débit de vidange. Mais il en résulte alors une durée importante nécessaire à la vidange totale des réservoirs, et donc à la passivation du satellite artificiel et à sa modification d'orbite ultérieure.

[0006] L'invention vise donc à pallier l'ensemble de ces inconvénients en proposant un procédé et un dispositif de vidange d'une enceinte sous pression d'engin spatial, qui soient simples, peu coûteux, et dont le fonctionnement peut être certifié dans toutes les hypothèses possibles de pression et de température pouvant être rencontrées à l'instant de déclenchement de cette vidange, notamment en fin de mission (normale ou déclenchée).

[0007] En particulier, l'invention vise à proposer un tel procédé et un tel dispositif de vidange qui permettent d'obtenir une vidange contrôlée, notamment dont la durée est maîtrisée avant son déclenchement, et qui soit suffisamment rapide pour pouvoir intervenir avant la réalisation d'autres étapes de passivation.

[0008] L'invention vise également à proposer un tel procédé et un tel dispositif de vidange qui puissent être conçus de façon à générer une poussée perturbatrice minimale, théoriquement quasiment nulle, sur l'engin spatial lors de la vidange.

[0009] L'invention vise également à proposer un tel procédé et un tel dispositif de vidange dans lesquels le déclenchement de la vidange peut être commandé de façon simple et peu coûteuse, par exemple par une simple vanne commandée (électromagnétique ou pyrotechnique ou autre).

[0010] L'invention vise également à proposer un tel procédé et un tel dispositif de vidange susceptibles d'être utilisés avec tous types de fluides gazeux.

[0011] L'invention vise également à proposer une solution qui soit robuste, de longue durée de vie, et compatible avec les contraintes de certification, de fabrication et d'utilisation des systèmes spatiaux.

[0012] Pour ce faire, l'invention concerne un procédé de vidange d'une enceinte d'engin spatial contenant une composition gazeuse sous une pression P1 supérieure à celle P2 régnant dans un environnement extérieur à l'engin spatial dans l'Espace, l'enceinte étant reliée à cet environnement extérieur de l'Espace par au moins une conduite d'évacuation, caractérisé en ce que la composition gazeuse circulant dans chaque conduite d'évacuation traverse au moins un dispositif de détente initiale présentant au moins un étranglement de section disposé dans chaque conduite d'évacuation entre au moins une extrémité d'entrée de la conduite d'évacuation en communication de fluide avec l'intérieur de l'enceinte et au moins une extrémité de sortie à étranglement de section de la conduite d'évacuation débouchant dans ledit environnement extérieur, la pression de la composition ga-

zeuse à la sortie de chaque dispositif de détente initiale se trouvant à une troisième valeur P_i intermédiaire entre la première pression P_1 dans l'enceinte et la deuxième pression P_2 de l'environnement extérieur.

[0013] Dans tout le texte, le terme "conduite" désigne de façon générale tout dispositif apte à assurer une communication de fluide entre au moins une entrée de ce dispositif et au moins une sortie de ce dispositif et isolé par ailleurs de façon hermétique de l'environnement extérieur. En particulier, une conduite peut présenter plusieurs entrées et/ou plusieurs sorties. Le terme "enceinte" désigne tout espace hermétiquement clos susceptible de renfermer une composition au moins partiellement gazeuse ; il peut s'agir notamment aussi bien d'un réservoir que d'une pluralité de réservoirs reliés les uns aux autres par une ou plusieurs conduites.

[0014] Ainsi, dans un procédé selon l'invention, la détente de la composition gazeuse dans chaque conduite d'évacuation s'effectue en au moins deux étapes successives : une première étape initiale à l'intérieur de la conduite d'évacuation, et une deuxième étape à la sortie de ladite conduite d'évacuation, via chaque extrémité de sortie à étranglement de section de la conduite d'évacuation débouchant dans ledit environnement extérieur. La détente initiale à l'intérieur d'une conduite d'évacuation est principalement isenthalpique, tandis que la détente à la sortie à étranglement de section d'une conduite d'évacuation est principalement isentropique. Il en résulte en particulier que toute formation de phase liquide et/ou solide peut ainsi être évitée quelle que soit la nature de la composition gazeuse (y compris pour une composition gazeuse dont la température d'inversion de Joule-Thomson est élevée), dès lors que ladite pression intermédiaire P_i est choisie suffisamment faible, en fonction de la pression maximum pouvant régner dans l'enceinte, cette dernière pouvant correspondre à la pression initiale au lancement de l'engin spatial. En conséquence, avantageusement et selon l'invention, chaque dispositif de détente initiale -notamment chaque étranglement de section- est choisi de façon à empêcher toute formation de phase liquide et/ou solide. Plus particulièrement, chaque dispositif de détente initiale est choisi de façon à ce que la pression intermédiaire soit suffisamment faible pour éviter toute formation de phase liquide et/ou solide lors de la détente finale ultérieure entre ladite pression intermédiaire et la pression de l'environnement extérieur (vide partiel ou vide spatial). Néanmoins, avec une détente initiale principalement isenthalpique, la pression intermédiaire P_i peut être obtenue avec un débit relativement important permettant d'obtenir une vidange dans une durée satisfaisante.

[0015] L'invention s'étend à un dispositif de mise en oeuvre d'un procédé selon l'invention. Elle concerne donc également un dispositif de détente initiale de vidange d'une enceinte d'engin spatial contenant une composition gazeuse sous une pression P_1 supérieure à celle P_2 régnant dans un environnement extérieur à l'engin spatial dans l'Espace, comprenant au moins une condui-

te d'évacuation reliant l'enceinte à cet environnement extérieur de l'Espace, caractérisé en ce que chaque conduite d'évacuation incorpore au moins un dispositif de détente initiale présentant au moins un étranglement de section disposé dans chaque conduite d'évacuation entre au moins une extrémité d'entrée de la conduite d'évacuation en communication de fluide avec l'intérieur de l'enceinte et au moins une extrémité de sortie à étranglement de section de la conduite d'évacuation débouchant dans ledit environnement extérieur, la pression de la composition gazeuse à la sortie de chaque dispositif de détente initiale se trouvant à une troisième valeur P_i intermédiaire entre la première pression P_1 et la deuxième pression P_2 .

[0016] Rien n'empêche de prévoir plusieurs dispositifs de détente successifs à l'intérieur d'une même conduite d'évacuation, en tant que de besoin. Néanmoins, avantageusement et selon l'invention, un unique dispositif de détente initiale incorporé dans chaque conduite d'évacuation est en général suffisant.

[0017] Tout dispositif de détente présentant au moins un étranglement de section susceptible de pouvoir être incorporé dans une conduite d'évacuation peut être envisagé à titre de dispositif de détente initiale dans le cadre de l'invention. De préférence, avantageusement et selon l'invention, un tel dispositif de détente initiale est un dispositif entièrement statique, c'est-à-dire exempt de pièces mobiles.

[0018] Un tel étranglement de section procure en effet une détente initiale principalement isenthalpique, la paroi de la conduite d'évacuation étant suffisamment thermiquement isolante, voire même dotée d'un système de chauffage, pour assurer des conditions de détente principalement adiabatique avec une diminution de température aussi faible que possible. L'intérêt d'une telle détente isenthalpique est de permettre d'obtenir une grande diminution de la pression avec une faible variation de température, en conservant l'énergie cinétique du fluide (notamment avec un débit suffisant et sans induire de poussée résiduelle sur la conduite d'évacuation). Pour une composition gazeuse à une température inférieure à sa température d'inversion de Joule-Thomson, une telle détente principalement isenthalpique produit une chute de température qui peut être limitée à quelques dizaines de kelvins, de sorte que la détente finale en sortie de chaque conduit d'évacuation peut s'effectuer principalement par abaissement température avec une faible variation de pression (jusqu'aux conditions de température et de pression de l'environnement extérieur dans l'Espace) et une faible poussée, sous forme principalement isentropique.

[0019] Un tel dispositif de détente initiale présentant au moins un étranglement de section permet également de déterminer le débit de sortie (en fonction uniquement de la valeur de la pression à l'entrée), et donc d'obtenir une poussée minimale en sortie de conduite d'évacuation et de contrôler la durée de la vidange pour que celle-ci soit déterminée avec suffisamment de précision à l'avant-

ce (au lancement de l'engin spatial).

[0020] Tout étranglement de section peut être envisagé à ce titre (orifice de passage ou col, de préférence sonique (pour les valeurs prévues par la pression P1) ; capillaire...). De préférence, avantageusement et selon l'invention au moins un dispositif de détente initiale est un tuyau capillaire interposé dans la conduite d'évacuation de façon à être traversé par la composition gazeuse. Un tel tuyau capillaire est interposé en série dans la conduite d'évacuation de façon à être traversé par toute la composition gazeuse circulant dans la conduite d'évacuation. Il présente un orifice amont dans lequel la composition gazeuse est forcée à pénétrer sous pression, et un orifice aval délivrant dans la conduite d'évacuation la composition gazeuse détendue à la pression intermédiaire P_i . Un tel tuyau capillaire peut être avantageusement enroulé en hélice autour d'un support rigide incorporé dans la conduite d'évacuation. Un tel tuyau capillaire présente notamment l'avantage de pouvoir être fabriqué avec précision à faible coût et de pouvoir supporter des valeurs élevées de pression en entrée.

[0021] Dans un mode de réalisation possible, avantageusement et selon l'invention, chaque tuyau capillaire présente un diamètre interne compris entre 10 μm et 100 μm -notamment de l'ordre de 30 μm à 50 μm - , et une longueur développée comprise entre 1 cm et 100 cm -notamment de l'ordre de 4 cm à 20 cm-. Tout autre mode de réalisation est envisageable.

[0022] Par ailleurs, pour favoriser l'obtention d'une détente principalement isenthalpique dans chaque conduite d'évacuation, cette dernière présente une portion aval s'étendant entre la sortie du dispositif de détente initiale

[0023] (ou la sortie du dispositif de détente initiale situé le plus en aval dans la conduite d'évacuation si plusieurs dispositifs de détente initiale successifs sont prévus) et chaque extrémité de sortie à étranglement de section, cette portion aval étant suffisamment volumineuse et/ou longue et dotée d'au moins un orifice de sortie à étranglement de section -notamment un orifice de sortie sonique (pour la valeur de la pression intermédiaire P_i)-.

[0024] Avantageusement et selon l'invention, la composition gazeuse est éjectée de chaque conduite d'évacuation dans l'environnement extérieur en traversant au moins un orifice de sortie à étranglement de section -notamment un orifice de sortie sonique- de chaque extrémité de sortie de chaque conduite d'évacuation. Un orifice de sortie sonique ménagé à chaque extrémité de sortie de chaque conduite d'évacuation procure une détente principalement isentropique entre ladite pression intermédiaire et la pression de l'environnement extérieur dans l'Espace.

[0025] Par ailleurs, l'invention concerne également un dispositif de vidange d'une enceinte d'engin spatial en fin de mission contenant une composition gazeuse sous une pression P1 supérieure à celle P2 régnant dans un environnement extérieur à l'engin spatial dans l'Espace, l'enceinte étant reliée à cet environnement extérieur de l'Espace par au moins une conduite d'évacuation, caracté-

térisé en ce que chaque conduite d'évacuation présente une portion aval formant chaque extrémité de sortie de la conduite d'évacuation, cette portion aval présentant au moins une paire d'orifices de sortie à étranglement de section -notamment soniques- orientés en opposition pour produire des poussées en opposition ou de résultante nulle

[0026] Ainsi, la résultante de poussée du dispositif de vidange est théoriquement nulle et en pratique très faible, de sorte qu'aucun contrôle d'attitude n'est nécessaire.

[0027] Dans un mode de réalisation préférentiel, avantageusement et selon l'invention, ladite portion aval est formée d'au moins une paire de tubes coaxiaux s'étendant dans des directions opposées l'une à l'autre, chaque tube de cette portion aval présentant un orifice de sortie à étranglement de section -notamment sonique-. La portion aval de chaque conduite d'évacuation peut être formée d'une unique paire de tubes coaxiaux en opposition, la conduite d'évacuation étant en forme générale de T. Rien n'empêche de prévoir cependant plusieurs paires de tubes en opposition, ou une portion aval formée d'une chambre de sortie cylindrique de révolution autour de la direction longitudinale de l'extrémité aval du tronçon amont de la conduite d'évacuation, cette chambre de sortie présentant des orifices de sortie à étranglement de section diamétralement opposés deux à deux, ou encore toute autre forme de réalisation adaptée pour produire des poussées en opposition.

[0028] Par ailleurs, avantageusement et selon l'invention, ladite portion aval est connectée en prolongation d'un tronçon amont de la conduite d'évacuation et chaque dispositif de détente initiale de la conduite d'évacuation est incorporé dans ledit tronçon amont.

[0029] En outre, avantageusement et selon l'invention, au moins un dispositif de filtration est disposé à l'amont de chaque dispositif de détente initiale à étranglement de section -notamment à l'amont de chaque tuyau capillaire-. Ainsi, la composition gazeuse circulant dans chaque conduite d'évacuation traverse au moins un dispositif de filtration disposé à l'amont d'un dispositif de détente initiale à étranglement de section -notamment à l'amont d'un dispositif de détente initiale à étranglement de section formé d'un tuyau capillaire interposé dans la conduite d'évacuation de façon à être traversé par la composition gazeuse-.

[0030] Un tel dispositif de filtration est choisi de façon à filtrer les particules susceptibles d'obstruer un tel dispositif de détente initiale à étranglement de section. Par exemple, avantageusement et selon l'invention on utilise un dispositif de filtration présentant un diamètre de coupure inférieur au diamètre de l'étranglement de section du dispositif de détente initiale (tuyau capillaire), de préférence inférieur au dixième de ce diamètre, notamment compris entre 0,1 μm et 10 μm . Rien n'empêche de prévoir dans une variante non préférentielle que le dispositif de filtration constitue en lui-même un dispositif de détente initiale. Néanmoins, de préférence, le dispositif de filtration est adapté pour présenter une surface filtrante maxi-

male et une perte de charge négligeable.

[0031] De préférence, avantageusement et selon l'invention, le dispositif de filtration est disposé dans le tronçon tubulaire principal de la portion aval de chaque conduite d'évacuation, à l'amont de chaque dispositif de détente initiale (tuyau capillaire notamment).

[0032] En outre, un dispositif de vidange selon l'invention comprend avantageusement pour chaque conduite d'évacuation, au moins une vanne commandée adaptée pour fermer ladite conduite d'évacuation, et pour pouvoir ouvrir, sur commande, ladite conduite d'évacuation et mettre ladite enceinte en communication de fluide avec ledit environnement extérieur. Une telle vanne commandée peut être une vanne électromagnétique ou une vanne pyrotechnique ou toute autre vanne susceptible d'être commandée par un dispositif de commande intégré à l'engin spatial ou à partir du sol (télécommande). De préférence, cette vanne commandée est disposée dans la conduite d'évacuation le plus en amont possible, notamment en amont de chaque dispositif de détente initiale. Rien n'empêche cependant en variante de disposer une vanne commandée à l'aval d'un dispositif de détente initiale, voire même dans la portion aval de la conduite d'évacuation ou au niveau des extrémités de sortie de cette dernière. Si la conduite d'évacuation présente plusieurs extrémités d'entrée et/ou plusieurs extrémités de sortie, il est possible de prévoir plusieurs vannes commandées.

[0033] L'invention s'étend à un procédé mis en oeuvre dans un dispositif selon l'invention. Elle s'applique en particulier à la vidange d'une enceinte d'engin spatial dans laquelle la différence de pression entre la pression P1 régnant dans l'enceinte et la pression P2 régnant dans l'environnement extérieur à l'engin spatial dans l'espace est supérieure à 100 000 hPa, plus particulièrement supérieure à 200 000 hPa, typiquement comprise entre 100 000 hPa et 1 000 000 hPa.

[0034] L'invention s'étend également à un engin spatial -pouvant être en particulier mais non exclusivement un satellite artificiel- comprenant au moins une enceinte contenant une composition gazeuse sous une pression et un dispositif de vidange de chaque enceinte, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un dispositif de vidange selon l'invention. L'invention s'étend également à un procédé de passivation en fin de mission d'un engin spatial selon l'invention, caractérisé en ce que l'on procède la vidange de chaque enceinte de l'engin spatial selon un procédé de vidange conforme à l'invention.

[0035] L'invention concerne également un procédé et un dispositif de vidange d'une enceinte d'engin spatial et un engin spatial caractérisés en combinaison par tout ou partie des caractéristiques mentionnées ci-dessus ou ci-après.

[0036] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront la lecture de la description suivante de l'un de ses modes de réalisation préférentiels donné uniquement à titre d'exemple non limitatif et qui se réfère aux figures annexées dans lesquelles :

- la figure 1 est une vue schématique partielle en élévation avec un arraché partiel d'un satellite artificiel comprenant un dispositif de vidange selon un mode de réalisation de l'invention,
- 5 - la figure 2 est une vue schématique en perspective partiellement arrachée d'un dispositif de vidange selon un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 3 est une vue schématique en coupe axiale du dispositif de vidange de la figure 2,
- 10 - la figure 4 est une vue schématique en coupe axiale du dispositif de détente initiale du dispositif de vidange des figures 2 et 3,
- la figure 5 est un diagramme T, P illustrant le fonctionnement d'un procédé de vidange selon l'invention.
- 15

[0037] L'engin spatial représenté à titre d'exemple sur la figure 1 comprend un bâti 10 portant trois réservoirs 11 de composition gazeuse sous pression reliés par différentes conduites à un dispositif 12 de vidange comprenant une vanne 13 commandée et une conduite 14 d'évacuation. La vanne 13 commandée est reliée d'un côté aux différentes conduites en communication de fluide avec les réservoirs 11, et, de l'autre, à une extrémité 16 d'entrée la conduite 14 d'évacuation.

[0038] La vanne 13 commandée peut être une vanne pyrotechnique ou une vanne électromagnétique qui est normalement fermée et dont l'ouverture peut être commandée par un signal de commande émis par une unité de commande (non représenté) de l'engin spatial ou reçu du sol (télécommande). Lorsque la vanne 13 est fermée la composition gazeuse contenue dans les réservoirs 11 ne peut pas s'échapper par la conduite 14 d'évacuation. Lorsque la vanne 13 est ouverte, la composition gazeuse sous pression contenue dans les réservoirs 11 peut s'écouler à travers cette vanne 13 elle-même reliée en communication de fluide avec la conduite 14 d'évacuation, l'intérieur des réservoirs 11 étant en communication de fluide avec l'environnement extérieur de l'engin spatial (Espace interplanétaire lorsque l'engin spatial est un satellite artificiel) qui est à la pression du vide spatial.

[0039] La conduite 14 d'évacuation comprend un tronçon amont 15 relié à la vanne 13 et s'étendant à partir de cette dernière, ce tronçon amont 15 formant l'extrémité 16 d'entrée de la conduite 14 d'évacuation, et présentant une extrémité 18 aval. La conduite 14 d'évacuation est fixé au bâti 10, par une patte 30 de fixation, par exemple au niveau de l'extrémité 18 aval du tronçon amont 15.

[0040] La conduite 14 d'évacuation présente une portion 17 aval formant une chambre de sortie et présentant au moins une paire d'orifices 19a, 19b de sortie adaptés pour délivrer des flux gazeux en sortie selon des directions opposées l'une à l'autre, de préférence au moins sensiblement coaxiales. De la sorte, les poussées de réaction formées par ces flux gazeux sont opposées, la résultante des forces de réaction de la vidange sur le bâti 10 étant théoriquement nulle et en pratique minimisée.

[0041] Dans le mode de réalisation préférentiel représenté, la portion 17 aval est formée de deux tubes 17a, 17b s'étendant dans des directions opposées l'un à l'autre à partir de l'extrémité 18 aval du tronçon 15 amont, chaque tube 17a, 17b de la portion aval formant l'un des orifices de sortie 19a, 19b.

[0042] Le tronçon amont 15 est, dans l'exemple représenté, un tronçon tubulaire droit. Rien n'empêche de prévoir que le tronçon 15 aval de la conduite 14 d'évacuation présente toute autre forme plus ou moins courbe mais, dans tous les cas, on peut définir une direction longitudinale du tronçon amont 15 au niveau de l'extrémité 18 aval de ce dernier (tangente à la ligne médiane du tronçon amont 15). Les deux tubes 17a, 17b s'étendent au moins sensiblement orthogonalement à cette direction longitudinale du tronçon 15 amont au niveau de l'extrémité 18 aval de ce dernier de façon à assurer une répartition équilibrée du débit gazeux dans chacun des deux tubes 17a, 17b.

[0043] Par ailleurs, les orifices 19a, 19b de sortie sont orientés par rapport au bâti 10 de l'engin spatial de façon à minimiser l'impact de l'éventuelle poussée résiduelle produite par les flux gazeux s'échappant des orifices 19a, 19b de sortie à l'ouverture de la vanne 13. En particulier, dans le cas du mode de réalisation représenté où la portion 17 aval est formée de deux tubes opposés coaxiaux, le dispositif 12 de vidange selon l'invention est monté sur le bâti 10 de telle sorte que la direction des tubes soit de préférence parallèle à la direction d'inertie maximum du bâti 10 et/ou de l'engin spatial.

[0044] En variante, les directions opposées des orifices 19a, 19b de sortie (et celle des deux tubes opposés) peuvent être non alignées sur les directions d'inertie maximum et voir leurs directions déterminées en fonction de l'aménagement de l'engin spatial à proximité des orifices. En effet, l'interaction des jets de fluide avec l'engin spatial peut créer une force et un couple résultant non-négligeables, qu'il convient de minimiser. Les interactions avec l'engin spatial des jets s'échappant des orifices 19a et 19b n'ont pas de raison d'être égales. En effet, même si les orifices 19a et 19b présentent des directions opposées, cette symétrie peut être détruite par l'aménagement de l'engin spatial qui peut ne pas être identique au voisinage des deux orifices 19a et 19b. De ce fait, les interactions de chaque orifice avec l'engin spatial ne s'annulent pas l'une avec l'autre : un couple et une force résultant apparaissent. Ce couple et cette force peuvent être déterminés par simulation logicielle et minimisés de la même façon.

[0045] Le tronçon 15 amont incorpore, depuis l'extrémité 16 d'entrée, un filtre 20 à particules traversé par la composition gazeuse en provenance des réservoirs 11, et, à l'aval du filtre 20, un dispositif 21 de détente initiale également traversé par la composition gazeuse en provenance des réservoirs 11.

[0046] Le dispositif 21 de détente initiale comprend un tuyau capillaire 22 enroulé en hélice autour d'un support 23 cylindrique creux s'étendant à l'intérieur de la conduite

14 d'évacuation à partir d'un collet 24 de fixation du dispositif 21 de détente initiale par rapport au tronçon 15 amont de la conduite 14 d'évacuation. Le collet 24 est interposé entre deux manchons 31, 32 cylindriques de paroi externe formant le tronçon 15 amont, ce qui permet de résister de façon fiable à toute valeur de pression amont. Le collet 24 est soudé aux deux manchons 31, 32 du tronçon amont 15 de la conduite 14 d'évacuation.

[0047] Le support 23 présente un orifice 25 permettant le passage du tuyau 22 capillaire à l'intérieur du support 23, le tuyau 22 capillaire étant prolongé axialement vers l'amont à travers un alésage axial 26 du collet 24. Cet alésage 26 présente une extrémité 27 amont traversée de façon hermétique par le tuyau capillaire 22 qui présente donc une extrémité 28 amont ouverte dans la conduite 14 d'évacuation immédiatement à l'aval du filtre 20, la composition gazeuse pouvant pénétrer dans cette extrémité 28 amont du tuyau 22 capillaire. Le tuyau capillaire 22 comprend par ailleurs une extrémité 29 aval ouverte dans la conduite 14 d'évacuation vers l'aval vers l'extrémité 18 aval du tronçon 15 amont. La composition gazeuse qui s'échappe de l'extrémité du tuyau 22 capillaire alimente la portion 17 aval de la conduite 14 d'évacuation. Elle se répartit alors dans les deux tubes 17a, 17b et est éjectée via les orifices 19a, 19b de sortie.

[0048] Le filtre 20 est choisi de façon à filtrer les particules à l'entrée du tuyau 22 capillaire, par exemple avec un diamètre de coupure inférieur de l'ordre de coûts inférieurs à 1 μ m. Il est à noter qu'un tel filtre 20 peut procurer également une détente principalement isenthalpique de la composition gazeuse, mais est de préférence choisi pour présenter une surface filtrante maximale et une perte de charge minimale, sensiblement sans détente du fluide.

[0049] La composition gazeuse en provenance des réservoirs 11 circule donc entre le filtre 20 et la portion 17 aval à travers le tuyau 22 capillaire, qui constituent des dispositifs de détente initiale principalement isenthalpique. Le tuyau 22 capillaire détermine le débit de composition gazeuse s'écoulant à travers les orifices 19a, 19b de sortie de la conduite 14 d'évacuation lorsque la vanne 13 est ouverte. À la sortie du tuyau 22 capillaire, la composition gazeuse se trouve à une pression intermédiaire P_i entre la pression P_1 de la composition gazeuse dans les réservoirs 11 et la pression P_2 de l'environnement extérieur (pression du vide).

[0050] Les orifices 19a, 19b de sortie sont des orifices soniques en forme de tuyères isentropiques, c'est-à-dire sont adaptés pour procurer une détente principalement isentropique entre la pression intermédiaire P_i qui règne dans la portion 17 aval, et la pression P_2 sensiblement nulle de l'environnement extérieur dans l'Espace.

[0051] Les caractéristiques du tuyau 22 capillaire (diamètre interne et longueur) ainsi que celles (diamètre au col de ces orifices) des orifices 19a, 19b de sortie peuvent être adaptées pour procurer une valeur P_i de pression intermédiaire permettant d'empêcher toute formation de phase liquide et/ou solide dans la conduite 14 d'évacua-

tion, et en particulier au niveau des orifices 19a, 19b de sortie. En particulier, on choisit une pression intermédiaire P_i évitant toute liquéfaction de l'eau résiduelle pouvant être contenue dans la composition gazeuse. Les caractéristiques du tuyau 22 capillaire et des orifices 19a, 19b de sortie sont à titre déterminées à partir de la valeur maximum pouvant être rencontrée pour la pression P_1 de la composition gazeuse provenant des réservoirs 11, c'est-à-dire lorsque ces réservoirs 11 sont pleins lors du lancement de l'engin spatial.

[0052] Les caractéristiques du tuyau 22 capillaire sont également choisies de façon à permettre par ailleurs, les conditions précédentes (détente principalement isenthalpique, absence de liquéfaction lors de la détente) étant remplies, l'obtention d'un débit maximum de vidange.

[0053] Sur la figure 5, on a représenté des courbes illustrant la température et la pression de l'azote (N_2) dans différentes situations de détente. Sur cette figure, la courbe CL illustre la limite de changement de phase gaz-liquide de l'azote.

[0054] À partir d'une température froide de 243 K et d'une pression P_1 de 225 bars (225 000 hPa), une détente uniquement isentropique non conforme à l'invention représentée par la courbe C1 entraîne la liquéfaction de la composition gazeuse à une pression supérieure à 10 bars (10 000 hPa) et une température supérieure à 110 K. Au contraire, avec un procédé selon l'invention, on effectue tout d'abord une détente principalement isenthalpique via le tuyau 22 capillaire selon la courbe C3 jusqu'à une pression intermédiaire P_i qui, dans l'exemple représenté, est légèrement inférieure à 10 bars (10 000 hPa), puis une détente principalement isentropique dans les orifices 19a, 19b de sortie selon la courbe C4, jusqu'à la pression P_2 et la température du vide, tout en évitant toute liquéfaction de l'azote.

[0055] À partir d'une température chaude de 318 K et d'une pression P_1 de 345 bars (345 000 hPa), une détente uniquement isentropique non conforme à l'invention représentée par la courbe C5 entraîne la liquéfaction de la composition gazeuse à une pression supérieure à 5 bars (5 000 hPa) et une température de l'ordre de 100 K. Au contraire, avec un procédé selon l'invention, on effectue tout d'abord une détente principalement isenthalpique via le tuyau 22 capillaire selon la courbe C6 jusqu'à une pression intermédiaire P_i qui, dans l'exemple représenté, est de l'ordre de 20 bars (20 000 hPa), puis une détente principalement isentropique dans les orifices 19a, 19b de sortie selon la courbe C7, jusqu'à la pression P_2 et la température du vide, tout en évitant toute liquéfaction de l'azote.

[0056] Par exemple, on choisit avantageusement les caractéristiques du tuyau 22 capillaire et le diamètre des orifices 19a, 19b soniques de sortie de telle sorte que la pression intermédiaire P_i soit inférieure à 5 bars (5 000 hPa), plus particulièrement inférieure à 4 bars (4 000 hPa) pour une température de 243 K, et inférieure à 20 bars (20 000 hPa), plus particulièrement inférieure à 15

bars (15 000 hPa) pour une température initiale de 318 K. Pour ce faire, on peut choisir par exemple un tuyau 22 capillaire présentant un diamètre interne de l'ordre de 40 μm , une longueur de l'ordre de 4 cm, et des orifices 19a, 19b de sortie présentant un col dont le diamètre est de l'ordre de 1 mm.

[0057] Le débit fourni par un tel tuyau 22 capillaire peut être compris entre 21 mg/s et 16 mg/s, notamment de l'ordre de 20 mg/s. Par exemple, la durée de vidange de réservoirs 11 présentant au total 8,3 kg de composition gazeuse est alors comprise entre 65 jours et 75 jours, notamment de l'ordre de 70 jours (la vidange étant considérée terminée une fois la pression jugée assez faible, c'est à dire de l'ordre de 1 bar (10^5 Pa)).

[0058] Il est à noter que la température de l'azote étant inférieure à sa température d'inversion de Joule-Thomson, la détente isenthalpique produit une légère chute de température. Pour une composition gazeuse présentant une faible température d'inversion de Joule-Thomson (hélium, hydrogène...) la détente initiale principalement isenthalpique produit une augmentation de température empêchant d'autant plus la formation intempestive de phase liquide.

[0059] L'invention permet ainsi de réaliser un procédé de vidange rapide, fiable, et ce de façon simple et peu coûteuse. L'engin spatial peut faire l'objet d'un procédé de passivation en fin de mission selon l'invention, dont les autres caractéristiques générales sont décrites par exemple par FR2896773, et incorporant ce procédé de vidange selon l'invention.

[0060] L'invention peut faire l'objet de nombreuses variantes et de diverses applications autres que celles décrites ci-dessus en référence aux figures. En particulier, les filtres 20 et le tuyau 22 capillaire peuvent être complétés et/ou remplacés par tout autre dispositif à étranglement de section apte à réaliser une détente initiale principalement isenthalpique (orifice(s) dans une plaque transversale...). La portion 17 aval peut être formée autrement que par deux tubes en opposition (chambre cylindrique avec orifices diamétralement opposés)... L'engin spatial selon l'invention peut être formé d'un satellite artificiel destiné à être placé en orbite terrestre, ou de tout autre engin spatial (lanceur, navette, sonde spatiale, station orbitale, module lunaire ou martien...).

Revendications

1. Procédé de vidange d'une enceinte (11) d'engin spatial contenant une composition gazeuse sous une pression P_1 supérieure à celle P_2 régnant dans un environnement extérieur à l'engin spatial dans l'Espace, l'enceinte étant reliée à cet environnement extérieur de l'Espace par au moins une conduite (14) d'évacuation,

caractérisé en ce que la composition gazeuse circulant dans chaque conduite (14) d'évacuation traverse au moins un dispositif (20, 21) de détente ini-

- tiale présentant au moins un étranglement de section disposé dans chaque conduite d'évacuation entre au moins une extrémité d'entrée de la conduite d'évacuation en communication de fluide avec l'intérieur de l'enceinte et au moins une extrémité de sortie à étranglement de section de la conduite d'évacuation débouchant dans ledit environnement extérieur, la pression de la composition gazeuse à la sortie de chaque dispositif de détente initiale se trouvant à une troisième valeur P_i intermédiaire entre la première pression P_1 dans l'enceinte et la deuxième pression P_2 de l'environnement extérieur.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la composition gazeuse est éjectée de chaque conduite (14) d'évacuation dans l'environnement extérieur en traversant au moins un orifice (19a, 19b) de sortie à étranglement de section de chaque extrémité de sortie de chaque conduite d'évacuation.
 3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la composition gazeuse est éjectée de chaque conduite (14) d'évacuation dans l'environnement extérieur en traversant un orifice (19a, 19b) de sortie sonique de chaque extrémité de sortie de chaque conduite d'évacuation.
 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la composition gazeuse circulant dans chaque conduite (14) d'évacuation traverse un dispositif (20) de filtration disposé à l'amont d'un dispositif (21) de détente initiale à étranglement de section formé d'un tuyau (22) capillaire interposé dans la conduite d'évacuation de façon à être traversé par la composition gazeuse.
 5. Dispositif de vidange d'une enceinte (11) d'engin spatial contenant une composition gazeuse sous une pression P_1 supérieure à celle P_2 régnant dans un environnement extérieur à l'engin spatial dans l'Espace, comprenant au moins une conduite (14) d'évacuation reliant l'enceinte à cet environnement extérieur de l'Espace, **caractérisé en ce que** chaque conduite (14) d'évacuation incorpore au moins un dispositif (20, 21) de détente initiale présentant au moins un étranglement de section disposé dans chaque conduite d'évacuation entre au moins une extrémité d'entrée de la conduite d'évacuation en communication de fluide avec l'intérieur de l'enceinte et au moins une extrémité de sortie à étranglement de section de la conduite d'évacuation débouchant dans ledit environnement extérieur, la pression de la composition gazeuse à la sortie de chaque dispositif de détente initiale se trouvant à une troisième valeur P_i intermédiaire entre la première pression P_1 et la deuxième pression P_2 .
 6. Dispositif selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** chaque extrémité de sortie de chaque conduite d'évacuation est dotée d'au moins un orifice (19a, 19b) de sortie à étranglement de section.
 7. Dispositif selon l'une des revendications 5 ou 6, **caractérisé en ce que** chaque conduite (14) d'évacuation est dotée d'un orifice (19a, 19b) de sortie à étranglement de section sonique.
 8. Dispositif selon l'une des revendications 5 à 7, **caractérisé en ce qu'**au moins un dispositif (21) de détente initiale est un tuyau (22) capillaire interposé dans la conduite d'évacuation de façon à être traversé par la composition gazeuse.
 9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** chaque tuyau (22) capillaire présente un diamètre compris entre $10 \mu\text{m}$ et $100 \mu\text{m}$, et une longueur développée comprise entre 1 cm et 100 cm.
 10. Dispositif selon l'une des revendications 5 à 9, **caractérisé en ce qu'**au moins un dispositif (20) de filtration est disposé à l'amont de chaque tuyau (22) capillaire.
 11. Dispositif selon l'une des revendications 5 à 10, **caractérisé en ce que** chaque conduite (14) d'évacuation présente une portion (17) aval formant chaque extrémité de sortie de la conduite d'évacuation, cette portion (17) aval présentant au moins une paire d'orifices (19a, 19b) de sortie à étranglement de section orientés en opposition pour produire des poussées en opposition.
 12. Dispositif selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** ladite portion (17) aval est formée d'au moins une paire de tubes (17a, 17b) coaxiaux s'étendant dans des directions opposées l'un à l'autre, chaque tube (17a, 17b) de cette portion aval présentant un orifice (19a, 19b) de sortie à étranglement de section.
 13. Dispositif selon l'une des revendications 11 ou 12, **caractérisé en ce que** ladite portion (17) aval est connectée en prolongation d'un tronçon (15) amont de la conduite (14) d'évacuation et **en ce que** chaque dispositif (20, 21) de détente initiale de la conduite d'évacuation est incorporé dans ledit tronçon (15) amont.
 14. Dispositif selon l'une des revendications 5 à 13, **caractérisé en ce qu'**il comprend, pour chaque conduite (14) d'évacuation, au moins une vanne (13) commandée adaptée pour fermer ladite conduite (14) d'évacuation, et pour pouvoir ouvrir, sur commande, ladite conduite (14) d'évacuation et mettre ladite enceinte (11) en communication de fluide avec ledit environnement extérieur.

15. Engin spatial -notamment satellite artificiel- comprenant au moins une enceinte contenant une composition gazeuse sous une pression et un dispositif de vidange de chaque enceinte, **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins un dispositif de vidange selon l'une des revendications 5 à 14.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig 1

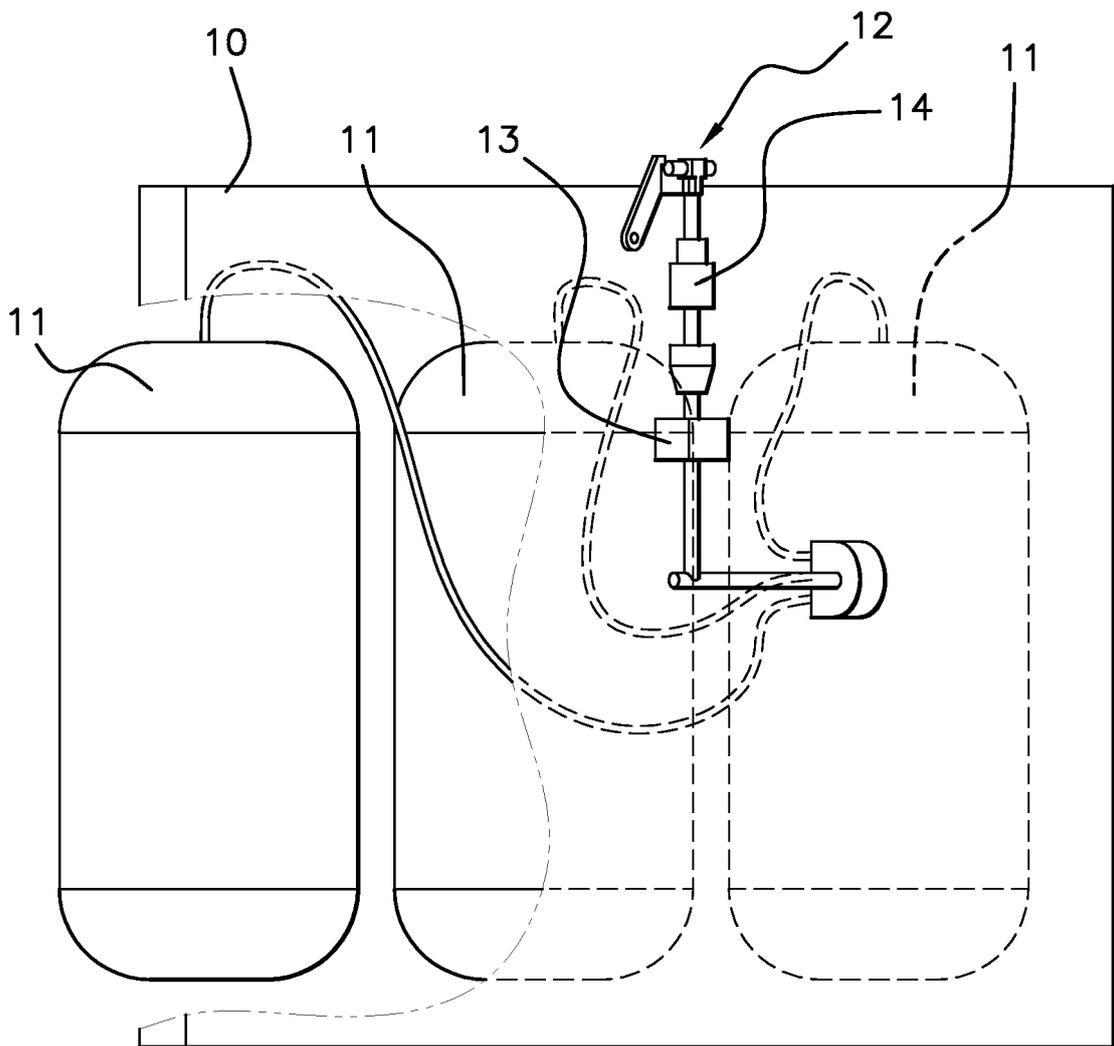
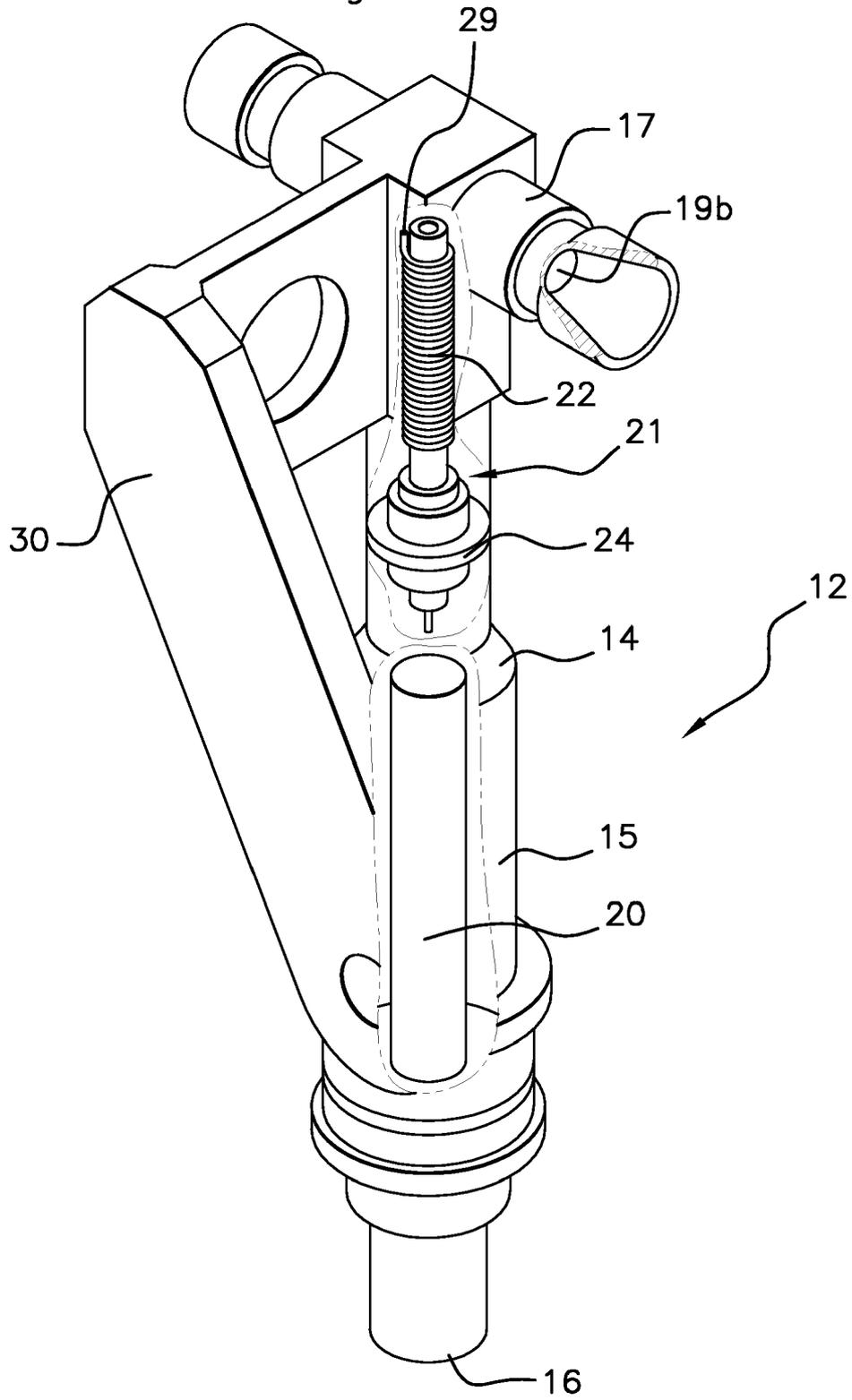


Fig 2



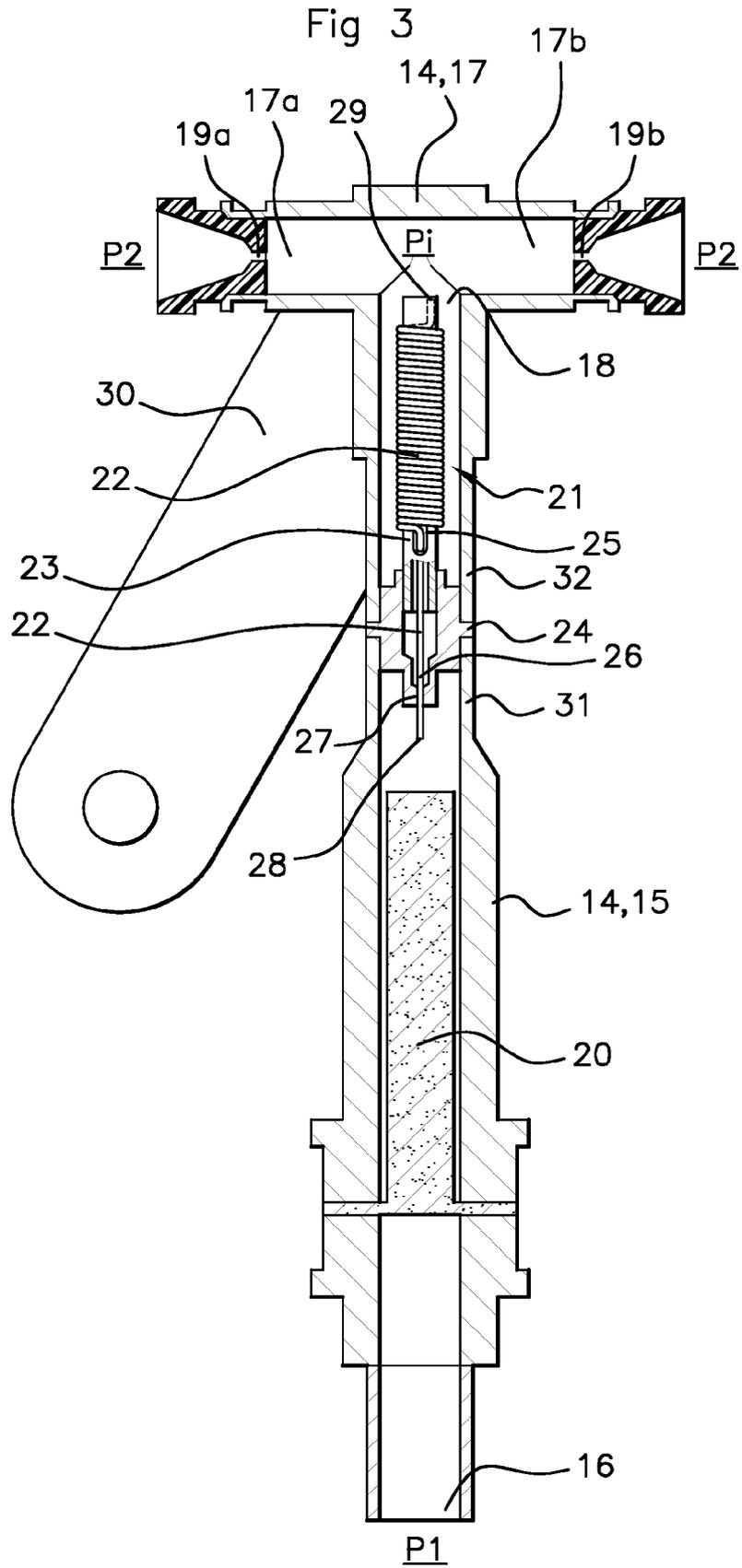


Fig 4

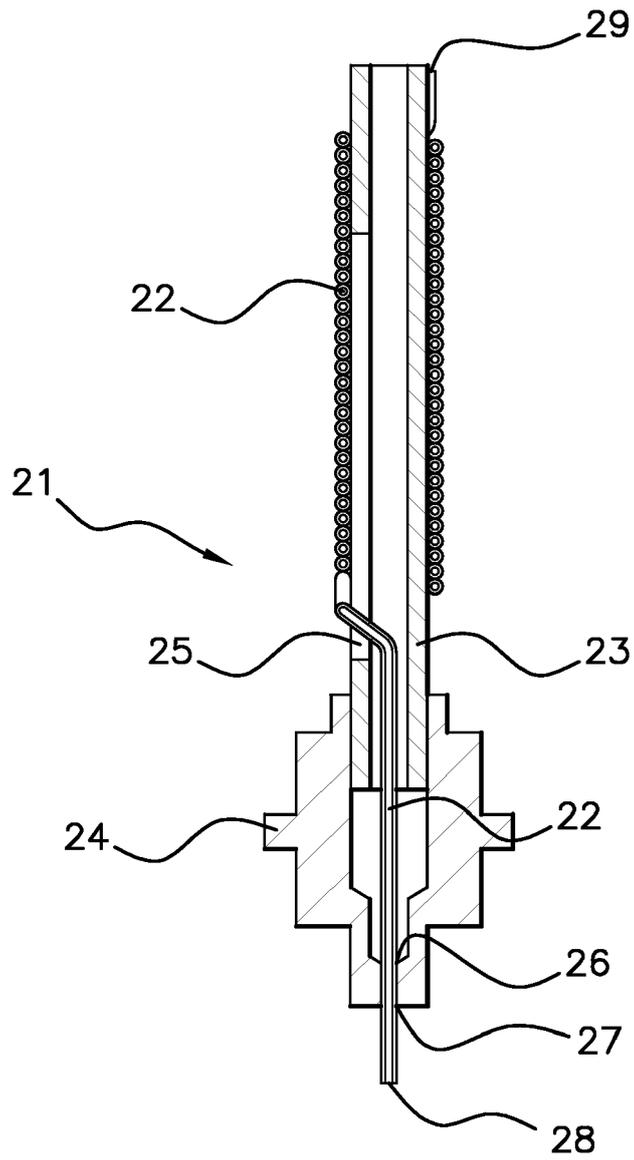
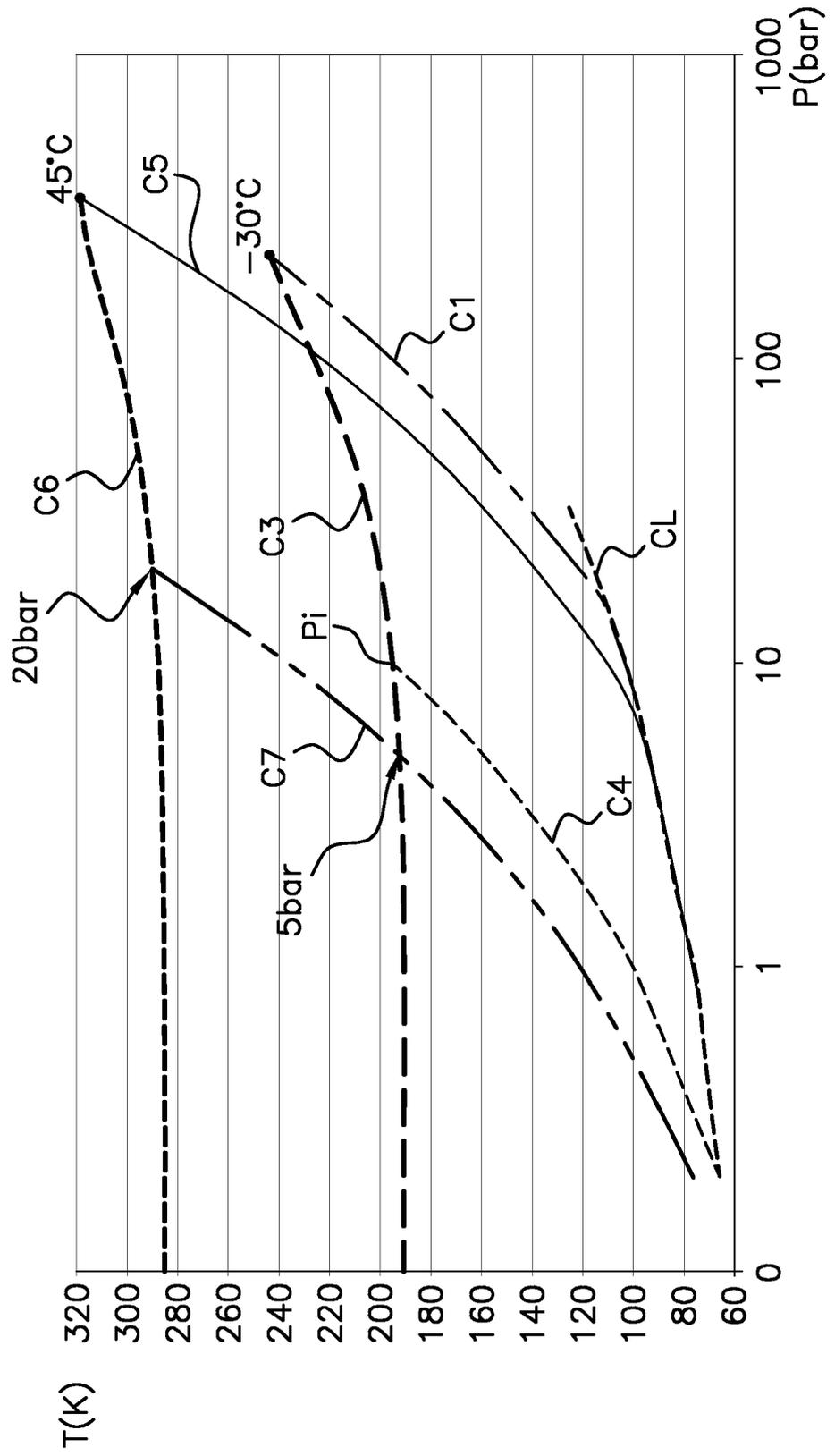


Fig 5



RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- FR 2896773 [0002] [0059]