



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**24.07.2013 Bulletin 2013/30**

(51) Int Cl.:  
**F17C 9/00 (2006.01)**  
**F17C 6/00 (2006.01)** **F17C 7/02 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **13151810.2**

(22) Date de dépôt: **18.01.2013**

(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**

(30) Priorité: **19.01.2012 FR 1250559**

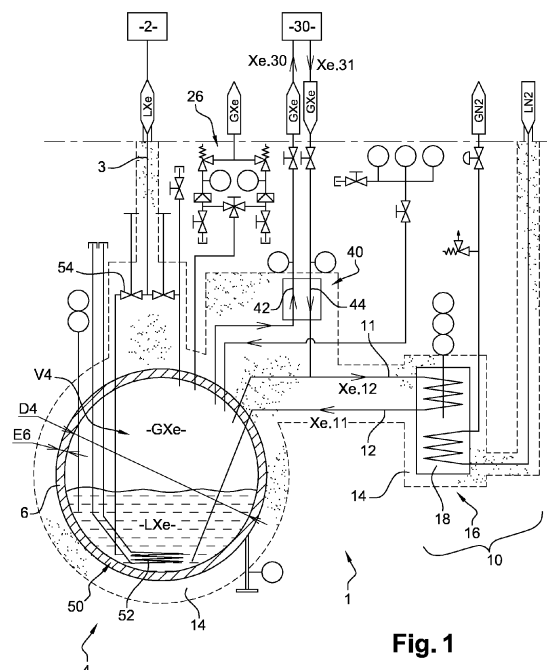
(71) Demandeurs:  
• **L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE**  
**75007 Paris (FR)**  
• **Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)**  
**75794 Paris Cedex 16 (FR)**  
• **L'UNIVERSITE DE NANTES**  
**44035 Nantes (FR)**  
• **Ecole des Mines de Nantes**  
**44307 Nantes Cedex 3 (FR)**

(72) Inventeurs:  
• **Aprile, Elena**  
**Napoli 80030 (IT)**  
• **Chen, Wan-Ting**  
**44300 NANTES (FR)**  
• **Stutzmann, Jean-Sébastien**  
**44700 ORVAULT (FR)**  
• **Thers, Dominique**  
**44119 TREILLIERES (FR)**  
• **Briend, Pierre**  
**38170 SEYSSINET (FR)**  
• **Durand, Fabien**  
**38340 VOREPPE (FR)**

(74) Mandataire: **Chevalier, Renaud Philippe et al**  
**Cabinet Germain & Maureau**  
**BP 6153**  
**69466 Lyon Cedex 06 (FR)**

(54) **Installation et procédé pour fournir du xénon liquide**

(57) Cette installation (1) comprend un réservoir (4) adapté pour contenir une masse dite utile de xénon, un dispositif cryogénique (10) adapté pour condenser du xénon gazeux (GXe) et relié au réservoir (4), ainsi qu'un équipement d'isolation thermique agencé pour isoler thermiquement le réservoir (4).



**Fig. 1**

## Description

[0001] La présente invention concerne une installation pour fournir du xénon liquide, en particulier à un cryostat pour système d'imagerie ou système de détection. Par ailleurs, la présente invention a pour objet un procédé, pour fournir du xénon liquide, en particulier à un cryostat pour système d'imagerie ou pour système de détection de particules cosmiques.

[0002] La présente invention trouve notamment application dans le domaine de l'imagerie médicale ou dans le domaine de l'observation astronomique (par exemple de la matière noire).

[0003] US2010037656A1 décrit une installation pour récupérer, stocker et fournir du xénon gazeux. Cette installation comprend un réservoir adapté pour contenir du xénon à l'état gazeux. De plus, cette installation comprend des composants pour liquéfier le xénon en aval du réservoir.

[0004] Cependant, traiter le xénon à l'état gazeux nécessite un grand volume de traitement, donc un encombrement important et de grandes surfaces au contact du xénon. En outre, il faut employer de nombreux composants pour passer le xénon de l'état gazeux à l'état liquide en amont du cryostat, ce qui complexifie l'installation et allonge le traitement du xénon.

[0005] De plus, ces nombreux composants et ces grandes surfaces au contact du xénon gazeux forment des sources de pollution importantes, lesquelles empêchent d'atteindre un niveau de pureté requis en particulier pour les systèmes d'imagerie, en particulier dans le domaine de l'observation astronomique.

[0006] La présente invention vise notamment à résoudre, en tout ou partie, les problèmes mentionnés ci-avant.

[0007] À cet effet, l'invention a pour objet une installation pour fournir du xénon liquide, en particulier à un cryostat pour système d'imagerie ou système de détection, l'installation comprenant au moins :

- un réservoir délimitant un volume interne adapté pour contenir une masse dite utile de xénon ;
- un dispositif cryogénique adapté pour condenser du xénon gazeux, le dispositif cryogénique étant relié au réservoir respectif de façon à collecter du xénon gazeux provenant du réservoir respectif et à canaliser le xénon condensé vers le réservoir respectif ; et
- un équipement d'isolation thermique agencé pour isoler thermiquement au moins ledit au moins un réservoir ;

ledit au moins un réservoir comprenant des parois, l'installation étant **caractérisée en ce que** la forme et l'épaisseur desdites parois sont sélectionnées de sorte que ledit au moins un réservoir supporte une pression utile développée par la masse utile de xénon à l'état gazeux à une température d'environ 300 K, la pression utile étant comprise entre 60 bar et 80 bar ;

et en ce que l'installation comprend en outre au moins

un organe limiteur de surpression relié au réservoir, ledit au moins un organe de surpression étant taré pour limiter une surpression à une valeur supérieure ou égale à ladite pression utile.

5 [0008] Dans la présente demande, le terme « xénon liquide » désigne le xénon à l'état liquide ou à l'état de fluide supercritique.

[0009] Dans la présente demande, le terme « masse utile » désigne la masse de xénon qui est nécessaire à l'application visée, par exemple au fonctionnement d'un cryostat pour système d'imagerie dans le domaine médical ou dans le domaine de l'observation astronomique.

10 [0010] Ainsi, une telle installation limite voire évite les pertes de xénon en phase gazeuse (usuellement désigné par le terme anglais « *boil-off* ») par des organes de sécurité, même en cas d'arrêt de longue durée et de défaillance du dispositif cryogénique, donc lorsque le xénon est entièrement gazeux sous pression élevée. De plus, le dispositif cryogénique permet de recondenser de manière continue les vapeurs de xénon prélevées en partie haute du réservoir. L'installation fournit donc du xénon liquide, ce qui réduit considérablement le volume de traitement en comparaison des installations de l'art antérieur.

15 [0011] De plus, une pression utile entre 60 bar et 80 bar permet d'employer un réservoir relativement compact.

[0012] Dans la présente demande, sauf indication contraire, une valeur de pression correspond à une pression absolue.

20 [0013] En outre, l'organe limiteur de surpression ainsi taré permet d'éviter des pertes de xénon gazeux lorsque le réservoir subit la pression utile comprise entre 60 bar et 80 bar. En d'autres termes, cet organe limiteur de surpression ne se déclenche pas lorsque toute la masse utile de xénon est contenue dans le réservoir à l'état gazeux à la température ambiante.

25 [0014] Selon une variante de l'invention, la machine comprend en outre une conduite d'alimentation qui est reliée au réservoir et des moyens pour raccorder la conduite d'alimentation au cryostat, de sorte que la conduite d'alimentation canalise du xénon liquide vers le cryostat lorsque l'installation est en service.

[0015] Selon un mode de réalisation de l'invention, la masse utile de xénon est comprise entre 10 kg et 10000 kg, de préférence entre 100 kg et 5000 kg.

[0016] Ainsi, une telle masse permet de fournir du xénon à un système d'imagerie de petite taille (médical) ou à un système d'imagerie de grande taille (scientifique).

30 [0017] Selon une variante de l'invention, la forme et l'épaisseur des parois dudit au moins un réservoir sont sélectionnées de sorte que ledit au moins un réservoir supporte des contraintes comprises entre 0 à 8 MPa. Ainsi, le réservoir peut supporter une pression comprise entre 60 bar et 80 bar.

35 [0018] Selon un mode de réalisation de l'invention, ledit au moins un réservoir contient une masse utile de xénon de 3000 kg, la pression utile étant égale à 65 bar,

et dans laquelle ledit au moins un réservoir a de préférence une forme globalement sphérique ou globalement cylindrique avec un diamètre interne de 1700 mm, les parois étant en acier inoxydable et ayant une épaisseur constante de 35 mm.

**[0019]** Ainsi, une telle masse utile de xénon convient pour de nombreuses applications d'imagerie, voire pour des applications de détection. La forme globalement sphérique est optimisée pour les grands volumes. La forme sphérique minimise la surface interne des parois du réservoir, donc minimise l'encombrement du réservoir. La forme globalement cylindrique est optimisée pour les petits volumes. La forme globalement cylindrique est particulièrement facile à fabriquer, à transporter et à implanter. Un diamètre interne de 1700 mm permet de définir un réservoir relativement compact. Selon un mode de réalisation de l'invention, un quotient ayant :

- pour dénominateur, le volume interne du réservoir respectif ;
- pour numérateur, le volume qu'occupe la masse utile de xénon à l'état liquide sous la pression atmosphérique ;

est compris entre 0,4 et 0,6, de préférence égal à 0,5.

**[0020]** Ainsi, un tel réservoir peut contenir un volume de xénon liquide et un volume de xénon gazeux similaires.

**[0021]** Selon un mode de réalisation de l'invention, ledit au moins un réservoir a une forme globalement sphérique ou globalement cylindrique.

**[0022]** Ainsi, la forme globalement sphérique est optimisée pour les grands volumes. La forme sphérique minimise la surface interne des parois du réservoir, donc minimise l'encombrement du réservoir. La forme globalement cylindrique est optimisée pour les petits volumes. La forme globalement cylindrique est particulièrement facile à fabriquer, à transporter et à implanter.

**[0023]** Selon un mode de réalisation de l'invention, l'installation comprend plusieurs réservoirs ayant chacun une forme globalement cylindrique, les réservoirs étant de préférence juxtaposés.

**[0024]** Ainsi, de tels réservoirs permettent de stocker et de fournir une importante masse utile de xénon.

**[0025]** Selon une variante de l'invention, l'installation comprend plusieurs réservoirs ayant chacun une forme globalement cylindrique, les réservoirs étant de préférence juxtaposés. Ainsi, de tels réservoirs permettent de moduler la masse utile de xénon à fournir à un cryostat et de varier cette masse utile durant le service d'un tel cryostat.

**[0026]** Selon un mode de réalisation de l'invention, l'installation comprend en outre un dispositif de purification relié au réservoir respectif et adapté pour purifier du xénon gazeux, de préférence à température ambiante, de façon à réinjecter dans un réservoir respectif du xénon ayant un degré de pureté inférieur à 2 ppb, de préférence inférieur à 1 ppb.

**[0027]** Ainsi, un tel dispositif de purification permet d'obtenir et d'entretenir un xénon « ultrapur », ce qui est requis pour les systèmes d'imagerie.

**[0028]** Dans la présente demande, les verbes « relier », « connecter », « raccorder », « alimenter » et leurs dérivés se rapportent à la communication de fluide, c'est-à-dire à l'écoulement de fluide, entre deux éléments distants, au moyen d'un lien direct ou indirect, c'est-à-dire par l'intermédiaire d'aucun, d'un ou de plusieurs composant(s) tel(s) qu'une conduite.

**[0029]** Dans la présente demande, le terme « fluide » et ses dérivés désigne un liquide, un gaz ou un fluide supercritique.

**[0030]** Selon un mode de réalisation de l'invention, l'installation comprend en outre au moins un échangeur thermique secondaire relié d'une part au réservoir respectif et d'autre part au dispositif de purification, l'échangeur thermique secondaire comprenant :

- une conduite de réchauffage agencée en aval du réservoir respectif et en amont du dispositif de purification ; et
- une conduite de refroidissement agencée en amont du réservoir respectif et en aval du dispositif de purification, la conduite de refroidissement étant thermiquement couplée à la conduite de réchauffage.

**[0031]** Ainsi, un tel échangeur thermique secondaire permet à du xénon liquide de s'évaporer et de se réchauffer lorsqu'il circule dans la conduite de réchauffage vers le dispositif de purification, pendant que du xénon gazeux refroidit et se recondense lorsqu'il circule dans la conduite de refroidissement en provenance du dispositif de purification.

**[0032]** Selon un mode de réalisation de l'invention, le dispositif cryogénique comporte au moins un échangeur thermique primaire, l'échangeur thermique primaire comprenant au moins :

- un bloc en matériau thermiquement conducteur, de préférence en alliage d'aluminium ;
- une source de froid agencée de façon à refroidir le bloc à une température inférieure ou égale à la température de liquéfaction du xénon ; et
- un serpentín de liquéfaction, de préférence en acier inoxydable, qui est relié à un réservoir respectif et qui est agencé dans le bloc de façon à liquéfier du xénon prélevé dans le réservoir respectif, la distance minimale entre le serpentín de liquéfaction et la source de froid étant supérieure à 50 mm.

**[0033]** Ainsi, un tel échangeur thermique primaire permet de liquéfier donc de recondenser le xénon gazeux sans risque de le solidifier, car le premier serpentín et la source froide sont séparés par une distance de garde.

**[0034]** Dans la présente demande, le terme « matériau thermiquement conducteur » désigne un matériau présentant une conductivité thermique supérieure à 100

W/m/K. Un tel matériau permet d'uniformiser rapidement la température du bloc.

**[0035]** Selon une variante de l'invention, la source de froid comprend une machine cryogénique, telle qu'un tube à gaz pulsé, disposée dans le bloc ou au contact du bloc. Dans cette variante, la tête froide du tube à gaz pulsé est disposée à la distance minimale du serpentin de liquéfaction. Ainsi, une telle machine cryogénique permet de refroidir le bloc, donc de liquéfier le xénon gazeux de manière efficace.

**[0036]** Selon une variante de l'invention, la source de froid est une source de fluide cryogénique, qui contient de préférence essentiellement du diazote liquide, l'échangeur thermique primaire comprenant en outre un serpentin de refroidissement, de préférence en acier inoxydable, qui est agencé dans le bloc de façon à refroidir le bloc par circulation du fluide cryogénique. Ainsi, une telle source de froid permet de refroidir le bloc, donc de liquéfier le xénon gazeux de manière efficace.

**[0037]** Selon une variante de l'invention, la source de fluide cryogénique comprend un ballon séparateur qui est agencé en amont du premier serpentin. Ainsi, un tel ballon séparateur peut supprimer tout azote gazeux à l'entrée du premier serpentin, ce qui permet de mesurer précisément la quantité de froid (frigories) apportée au xénon, en particulier au cours d'une expérience scientifique.

**[0038]** Selon une variante de l'invention, l'échangeur thermique primaire comprend en outre des moyens d'asservissement pour asservir le débit de fluide cryogénique à la pression régnant dans un réservoir respectif. Ainsi, de tels moyens permettent de maintenir constante la pression régnant dans le réservoir respectif, en particulier de la maintenir à la pression utile développée par la masse utile de xénon à l'état gazeux, typiquement entre la pression atmosphérique et environ 5 bar. De tels moyens d'asservissement peuvent par exemple comprendre un capteur de pression installé dans le réservoir, une vanne à obturation variable et un organe de pilotage de cette vanne.

**[0039]** Selon une variante de l'invention, l'échangeur thermique primaire comprend en outre un organe atténuateur adapté pour réduire le débit de xénon gazeux prélevé dans le réservoir respectif lorsque la température du bloc est inférieure à un seuil prédéterminé. Ainsi, un tel organe atténuateur permet d'empêcher la solidification du xénon dans le premier serpentin. Par exemple, l'organe atténuateur peut être commandé par un automate programmable industriel.

**[0040]** Selon une variante de l'invention, la conduite de réchauffage et la conduite de refroidissement sont agencées de sorte que leurs écoulements respectifs de xénon se font à contre-courant. Ainsi, l'échangeur thermique secondaire peut fonctionner avec une haute efficacité thermique.

**[0041]** Selon une variante de l'invention, l'installation comprend en outre un compresseur agencé en aval du dispositif de purification et en amont de l'échangeur ther-

mique secondaire. Ainsi, un tel compresseur permet de comprimer le xénon gazeux, donc de réduire le volume nécessaire à sa purification.

**[0042]** Selon une variante de l'invention, l'installation comprend en outre une vanne à ouverture réglable manuellement ou automatiquement et agencée en amont de la conduite de refroidissement de sorte que la pression régnant dans la conduite de refroidissement est supérieure à la pression dans la conduite de réchauffage. Ainsi, une telle vanne à ouverture réglable permet la recondensation partielle du Xénon dans le cas où on prélève du xénon liquide.

**[0043]** Selon un mode de réalisation de l'invention, l'installation comprend en outre un dispositif de réchauffage comprenant au moins :

- un serpentin caloporteur adapté pour la circulation d'un fluide caloporteur, tel que du diazote gazeux à température ambiante, le serpentin caloporteur étant agencé dans une région basse d'un réservoir respectif de sorte que le serpentin caloporteur est disposé dans le xénon liquide lorsque le réservoir respectif est en service ; et
- une vanne à ouverture variable, agencée de préférence en aval du serpentin caloporteur, de façon à réguler le débit de fluide caloporteur.

**[0044]** Ainsi, ce dispositif de réchauffage permet de réguler la pression régnant à l'intérieur du réservoir respectif, donc de varier les proportions de xénon gazeux et de xénon liquide, par exemple pendant les phases de transfert du xénon liquide vers le cryostat. De plus, comme ce dispositif de réchauffage peut être alimenté par le fluide caloporteur à température ambiante, il limite voire évite le risque de surchauffe du réservoir et donc le risque de pertes de xénon par une soupape ou un événement de sécurité tel qu'un disque de rupture.

**[0045]** Selon une variante de l'invention, le dispositif de réchauffage comprend en outre un débitmètre à gaz et au moins un capteur de température agencés de façon à mesurer précisément la quantité de chaleur (calories) apportée au xénon, en particulier au cours d'une expérience scientifique.

**[0046]** Selon une variante de l'invention, le dispositif de réchauffage comprend en outre un clapet anti-retour disposé en aval du serpentin caloporteur. Ainsi, un tel clapet anti-retour limite voire évite le reflux d'air humide dans le serpentin caloporteur.

**[0047]** Selon un mode de réalisation de l'invention, l'équipement d'isolation thermique comprend au moins une couche en matériau thermiquement isolant, tel qu'une mousse à cellules fermée en polyvinyle de chlorure, ladite au moins une couche étant agencée de façon à entourer au moins le ou chaque réservoir, ladite au moins une couche étant de préférence disposée sur la surface externe du ou de chaque réservoir.

**[0048]** Ainsi, une telle couche réduit fortement les pertes thermiques du réservoir par conduction.

**[0049]** Selon un mode de réalisation de l'invention, l'équipement d'isolation thermique comprend une enveloppe délimitant au moins une cavité agencée autour du ou de chaque réservoir, la cavité étant mise sous vide lorsque l'installation est en service.

**[0050]** Ainsi, une telle cavité permet de réaliser un vide statique autour du réservoir, ce qui réduit fortement les pertes thermiques du réservoir par convection.

**[0051]** Selon une variante de l'invention, l'équipement d'isolation thermique comprend une pompe agencée pour mettre sous vide ladite au moins une cavité. Ainsi, une telle pompe permet de réaliser un vide dynamique autour du réservoir, ce qui réduit considérablement les pertes thermiques du réservoir par convection.

**[0052]** Selon une variante de l'invention, l'équipement d'isolation thermique comprend plusieurs couches, dont au moins une couche réfléchissant le rayonnement infrarouge, tel qu'un film d'aluminium. Ainsi, de telles couches forment une isolation multicouches qui est compacte et qui réduit fortement les pertes thermiques du réservoir par conduction et par rayonnement.

**[0053]** Selon une variante de l'invention, l'équipement d'isolation thermique comprend une couche de perlite en poudre disposée sur la surface externe du réservoir respectif, la perlite étant par exemple mise sous vide ou balayée par un courant d'azote. Ainsi, une telle couche de perlite permet de réduire fortement les pertes thermiques du réservoir par conduction.

**[0054]** Selon un mode de réalisation de l'invention, ledit au moins un organe limiteur de surpression est taré pour limiter la surpression à une valeur déterminée excédant de 2 à 10 bar, de préférence de 5 bar ladite pression utile.

**[0055]** Ainsi, un tel tarage permet d'assurer la sécurité et la fiabilité de l'installation et de ses composants.

**[0056]** Par ailleurs, la présente invention a pour objet un procédé, pour fournir du xénon liquide, en particulier à un cryostat pour système d'imagerie ou système de détection, le procédé comprenant les étapes :

- mettre en oeuvre une installation selon l'invention ;
- actionner le dispositif cryogénique de façon à maintenir dans ledit au moins un réservoir une pression de service comprise entre 0,5 bar et 5 bar ; et
- canaliser du xénon liquide depuis ledit au moins un réservoir vers le cryostat par une conduite d'alimentation.

**[0057]** Ainsi, un tel procédé permet de faire fonctionner l'installation en mode normal pour fournir du xénon liquide à un cryostat.

**[0058]** Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé comprend en outre une étape consistant à actionner le dispositif cryogénique de sorte que la masse utile de xénon comprend environ 50% en volume de xénon liquide et environ 50% en volume de xénon gazeux lorsque la pression régnant dans le réservoir respectif est comprise entre 0,5 bar et 5 bar.

**[0059]** Ainsi, les vapeurs produites par les entrées de chaleur subies par le réservoir sont recondensées. Il en résulte que la pression est contrôlée à la valeur requise pour l'utilisation, en particulier pour les opérations de transfert du réservoir vers le cryostat et à l'inverse du cryostat vers le réservoir.

**[0060]** La présente invention sera bien comprise et ses avantages ressortiront aussi à la lumière de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique en coupe d'une installation conforme à un premier mode de réalisation de l'invention et fonctionnant suivant un procédé conforme à l'invention ;
- la figure 2 est une vue schématique en coupe d'une partie d'une installation conforme à un deuxième mode de réalisation de l'invention et fonctionnant suivant un procédé conforme à l'invention ; et
- la figure 3 est une vue schématique en coupe d'une partie complémentaire de l'installation de la figure 2.

**[0061]** La figure 1 illustre une installation 1 pour fournir du xénon liquide LXe à un cryostat 2 pour un système d'imagerie non représenté, via une conduite d'alimentation 3.

**[0062]** L'installation 1 comprend un réservoir 4 délimitant un volume interne V4 adapté pour contenir une masse dite utile de xénon, à l'état liquide LXe et à l'état gazeux GXe. Dans l'exemple de la figure 1, le réservoir 4 a une forme globalement sphérique de diamètre interne D4 mesurant environ 1700 mm.

**[0063]** La conduite d'alimentation 3 est reliée au réservoir 4 et un raccord non représenté est agencé pour raccorder la conduite d'alimentation 3 au cryostat 2, de sorte que la conduite d'alimentation 3 canalise du xénon liquide LXe vers le cryostat 2 lorsque l'installation 1 est en service.

**[0064]** L'installation 1 comprend en outre un dispositif cryogénique 10 adapté pour condenser un flux Xe.11 de xénon gazeux. Le dispositif cryogénique 10 est relié, respectivement par une conduite aller 11 et une conduite retour 12, au réservoir 4 de façon à collecter du xénon gazeux Xe.11 provenant de la partie haute du réservoir 4 et à canaliser un flux de xénon condensé Xe.12 vers le réservoir 4. La conduite aller 11 et la conduite retour 12 peuvent avoir un diamètre d'environ 1 cm (3/8").

**[0065]** De plus, l'installation 1 comprend un équipement d'isolation thermique agencé pour isoler thermiquement le réservoir 4. Dans l'exemple de la figure 1, l'équipement d'isolation thermique comprend une couche 14 en une mousse à cellules fermée en polyvinyle de chlorure, la mousse formant un matériau thermiquement isolant.

**[0066]** La couche 14 est agencée de façon à entourer le réservoir 4. La couche 14 est ici disposée sur la surface externe du réservoir 4. De plus, la couche 14 est agencée

de façon à entourer la conduite d'alimentation 3.

**[0067]** Le réservoir 4 comprend des parois 6. La forme et l'épaisseur des parois 6 du réservoir 4 sont sélectionnées de sorte que le réservoir 4 supporte une pression utile développée par la masse utile de xénon à l'état gazeux à une température d'environ 300 K. Typiquement, cette pression utile peut être comprise entre 60 bar et 80 bar.

**[0068]** Dans l'exemple de la figure 1, la masse utile de xénon est d'environ 3000 kg. Pour stocker le xénon dans des conditions de température variant entre 300 K et 165 K, la pression utile est d'environ 65 bar. Pour le diamètre interne D4 d'environ 1700 mm, les parois 6 du réservoir 4 sont en acier inoxydable et ont une épaisseur E6 constante d'environ 35 mm.

**[0069]** La forme et l'épaisseur E6 des parois 6 du réservoir 4 sont sélectionnées de sorte que le réservoir 4 supporte des contraintes comprises entre 0 à 8 MPa. Ainsi, le réservoir peut supporter la pression utile de 65 bar.

**[0070]** Pour déterminer le diamètre interne D4 en fonction de la masse utile de xénon, un quotient ayant :

- pour dénominateur, le volume interne V4 du réservoir 4 ;
- pour numérateur, le volume qu'occupe la masse utile de xénon à l'état liquide sous la pression atmosphérique (visible à la figure 1) ;

est environ égal à 0,5.

**[0071]** La puissance cryogénique du dispositif cryogénique 10 est sélectionnée de sorte que la masse utile de xénon comprend environ 50% en volume de xénon liquide et environ 50% en volume de xénon gazeux, comme représenté à la figure 1, lorsque la pression régnant dans le réservoir 4 est comprise entre 1 bar et 2 bar.

**[0072]** Cette pression correspond à une pression de service, c'est-à-dire lorsque le réservoir débite du xénon liquide vers le cryostat via une conduite d'alimentation 3. En fonction de l'application (système d'imagerie médicale ou astronomique), les pourcentages indiqués ci-dessus peuvent varier de plus ou moins 15%, lorsque le réservoir est initialement rempli avant sa mise en service et sous une pression de service comprise entre 1 bar et 2 bar. Au cours du service, le pourcentage opératoire de xénon liquide peut varier par exemple entre 5% à 50%, en fonction de la quantité de xénon transférée vers le cryostat.

**[0073]** Le dispositif cryogénique 10 comporte un échangeur thermique primaire 16, lequel comprend :

- un bloc 18 en alliage d'aluminium de nuance AS07G06 ;
- une source de froid agencée de façon à refroidir le bloc 18 à une température inférieure ou égale à la température de liquéfaction du xénon ;
- un serpentin de liquéfaction 22 en acier inoxydable, qui est relié au réservoir 4 et qui est agencé dans le

bloc 18 de façon à liquéfier le flux de xénon gazeux Xe.11 prélevé dans le réservoir 4.

**[0074]** Dans l'exemple de la figure 1, la source de froid comprend une source 20 de fluide cryogénique, qui contient essentiellement du diazote liquide LN2. L'échangeur thermique primaire 16 comprend en outre un serpentin de refroidissement 21, de préférence en acier inoxydable, qui est agencé dans le bloc 18 de façon à refroidir le bloc par circulation du fluide cryogénique.

**[0075]** La distance minimale 21.22 entre le serpentin de liquéfaction 22 et le serpentin de refroidissement 21, qui représente ici la source de froid, est supérieure à 50 mm. La distance minimale 21.22 permet d'éviter la solidification du xénon dans le serpentin de liquéfaction 22. Comme le montre la figure 1, la couche 14 est agencée de façon à entourer le bloc 18, la conduite aller 11 et la conduite retour 12. La couche 14 permet ainsi de limiter les pertes thermiques par ces composants.

**[0076]** L'échangeur thermique primaire 16 comprend en outre des moyens d'asservissement non représentés pour asservir le débit de diazote liquide à la pression régnant dans le réservoir 4. En d'autres termes, lorsque cette pression augmente, on peut augmenter le débit de diazote liquide ; inversement, lorsque cette pression diminue, on peut diminuer le débit de diazote liquide.

**[0077]** Cette pression peut ainsi être maintenue constante. Les moyens d'asservissement comprennent ici un capteur de pression non représentée qui est installé dans le réservoir 4, une vanne à obturation variable non représentée et un organe, non représenté, de pilotage de cette vanne.

**[0078]** L'échangeur thermique primaire 16 comprend en outre un organe atténuateur non représenté qui est adapté pour réduire le débit du flux de xénon gazeux Xe.11 lorsque la température du bloc 18 est inférieure à un seuil prédéterminé. Cet organe atténuateur peut être commandé par un automate programmable industriel.

**[0079]** L'installation 1 comprend en outre un organe limiteur de surpression 26 qui est relié au réservoir et qui est taré pour limiter une surpression dans le réservoir 4 à une valeur supérieure ou égale à la pression utile. Par exemple, l'organe limiteur de surpression 26 peut être taré à une pression de tarage d'environ 70 bar pour une pression utile d'environ 65 bar.

**[0080]** En d'autres termes, l'organe limiteur de surpression 26 laisse échapper le xénon gazeux GXe seulement quand la pression dans le réservoir 4 dépasse 70 bar, ce qui peut survenir lorsque le réservoir est porté à une température supérieure à 300 K.

**[0081]** L'installation 1 comprend en outre un dispositif de purification 30 qui est relié au réservoir 4 et qui est adapté pour purifier un flux de xénon gazeux Xe.30, de façon à réinjecter dans le réservoir 4 un flux de xénon ultrapur Xe.31 ayant un degré de pureté inférieur à 2 ppb, voire à 1 ppb.

**[0082]** Le dispositif de purification 30 peut être formé par un dispositif commercialisé sous la référence Oxy-

sorb® et comprenant un getter.

**[0083]** Comme le montre la figure 1, l'installation 1 comprend en outre un échangeur thermique secondaire 40 qui est relié d'une part au réservoir 4 et d'autre part au dispositif de purification 30. L'échangeur thermique secondaire 40 comprend :

- une conduite de réchauffage 42 agencée en aval du réservoir 4 et en amont du dispositif de purification 30 ; et
- une conduite de refroidissement 44 agencée en amont du réservoir 4 et en aval du dispositif de purification 30, la conduite de refroidissement 44 étant thermiquement couplée à la conduite de réchauffage 42.

**[0084]** La conduite de réchauffage 42 s'étend entre le réservoir 4 et le dispositif de purification 30 au niveau de l'échangeur thermique secondaire 40. La conduite de refroidissement 44 s'étend entre le dispositif de purification 30 et le réservoir 4 au niveau de l'échangeur thermique secondaire 40. La conduite de réchauffage 42 et la conduite de refroidissement 44 peuvent avoir un diamètre d'environ 1 cm (3/8").

**[0085]** Dans l'échangeur thermique secondaire 40, la conduite de réchauffage 42 est agencée près de la conduite de refroidissement 44, de sorte que la conduite de réchauffage 42 et la conduite de refroidissement 44 sont thermiquement couplées, c'est-à-dire échangent une quantité de chaleur lorsque l'installation 1 est en service.

**[0086]** L'installation 1 comprend en outre un compresseur non représenté qui est agencé en aval du dispositif de purification 30 et en amont de l'échangeur thermique secondaire 40.

**[0087]** La conduite de réchauffage 42 et la conduite de refroidissement 44 sont agencées de sorte que leurs écoulements respectifs de xénon se font à contre-courant l'un de l'autre, c'est-à-dire dans des sens opposés.

**[0088]** L'installation comprend en outre une vanne à ouverture réglable 46, manuellement ou automatiquement, et agencée en amont de la conduite de refroidissement 44, de sorte que la pression régnant dans la conduite de refroidissement 44 est supérieure à la pression dans la conduite de réchauffage 42.

**[0089]** Comme le montre la figure 1, la conduite de réchauffage 42 prélève le xénon en phase gazeuse (partie haute du réservoir 4). Le xénon est ensuite réchauffé dans l'échangeur 40. Ainsi, le xénon purifié circulant dans la conduite de refroidissement 44 est refroidi puis retourne sous forme vapeur dans le réservoir 4.

**[0090]** Comme le montre la figure 1, en outre, l'installation 1 comprend un dispositif de réchauffage 50 qui comprend :

- un serpentin caloporteur 52 adapté pour la circulation de diazote gazeux GN2 à température ambiante ; et
- une vanne à ouverture variable 54, agencée de pré-

férence en aval du serpentin caloporteur 52, de façon à réguler le débit de diazote gazeux GN2 qui circule dans le serpentin caloporteur 52.

**[0091]** Le serpentin caloporteur 52 est agencé dans une région basse, en l'occurrence au fond, du réservoir 4 de sorte que le serpentin caloporteur 52 est disposé dans le xénon liquide LXe lorsque le réservoir 4 est en service.

**[0092]** L'installation 1 illustrée aux figures 2 et 3 diffère de l'installation 1 illustrée à la figure 1 notamment en ce que son équipement d'isolation thermique comprend un carter ou une enveloppe 5 délimitant une cavité agencée autour du réservoir 4. Dans l'exemple des figures 2 et 3, cette cavité est aussi agencée autour d'autres composants de l'installation 1, en particulier autour du dispositif cryogénique 10.

**[0093]** Cette cavité est mise sous vide lorsque l'installation 1 est en service, ce qui permet d'isoler thermiquement tous les composants de l'installation 1 qui se trouvent dans l'enveloppe 5, en particulier le réservoir 4 et le dispositif cryogénique 10.

**[0094]** Dans l'exemple des figures 2 et 3, l'enceinte 5 remplit la fonction d'isolation thermique que la couche 14 remplit dans l'exemple de la figure 1. Néanmoins, selon un autre mode de réalisation, équipement d'isolation thermique peut comprendre une enceinte de type 5 plus une couche de type 14.

**[0095]** De plus, comme l'illustrent en détail les figures 2 et 3 :

- La source 20 comprend un ballon séparateur agencé en amont du premier serpentin 21. Ce ballon séparateur supprime tout diazote gazeux à l'entrée du premier serpentin 21, ce qui permet de mesurer précisément la quantité de froid (frigories) apportée au xénon.
- Le dispositif de réchauffage 50 comprend en outre un débitmètre à gaz 56 et au moins un capteur de température 58 agencés de façon à mesurer précisément la quantité de chaleur (calories) apportée au xénon par le diazote gazeux GN2.
- Le dispositif de réchauffage 50 comprend en outre un clapet anti-retour 59 disposé en aval du serpentin caloporteur 52.

**[0096]** Comme le montre la figure 2, l'installation 1 illustrée aux figures 2 et 3 diffère de l'installation 1 illustrée à la figure 1 notamment en ce que la conduite de réchauffage 42 prélève le xénon dans la phase liquide LXe. Le xénon est ensuite vaporisé et réchauffé à température ambiante dans l'échangeur 40. Ainsi, le xénon purifié circulant dans la conduite 44 est refroidi et liquéfié, puis il retourne sous forme liquide dans le réservoir 4.

**[0097]** En service, la pression dans le réservoir 4 peut être d'environ 2 bar à 165 K. Le xénon se trouve alors à 50% liquide LXe et à 50% gazeux GXe. Le xénon liquide LXe peut être conduit vers le cryostat 2. Le xénon utilisé

est récupéré depuis le cryostat 2, à l'état gazeux ou liquide, par une canalisation non représentée.

**[0098]** Un procédé conforme à l'invention, pour fournir du xénon liquide LXe au cryostat 2, comprend les étapes :

- mettre en oeuvre l'installation 1 ;
- actionner le dispositif cryogénique 10 de façon à maintenir dans le réservoir 4 une pression de service d'environ 2 bar ; et
- canaliser du xénon liquide LXe depuis le réservoir 4 vers le cryostat 2 par la conduite d'alimentation 3.

**[0099]** Le dispositif cryogénique 10 recondense de manière continue le xénon gazeux pour entretenir l'équilibre des proportions mentionnées ci-avant et donc maintenir le réservoir 4 à la pression de service d'environ 2 bar. En d'autres termes, le dispositif de purification 30 purifie le xénon de manière continue.

**[0100]** Suivant un procédé conforme à l'invention, le dispositif cryogénique 10 est actionné de sorte que la masse utile de xénon comprend environ 50% en volume de xénon liquide LXe et environ 50% en volume de xénon gazeux GXe lorsque la pression régnant dans le réservoir 4 est d'environ 2 bar.

**[0101]** Généralement, le transfert de xénon liquide depuis le réservoir 4 vers le cryostat 2 est effectuée avec une pression d'environ 2 bar dans la conduite d'alimentation 3 ; la durée de ce transfert peut être comprise entre 4 h et 3 jours selon la masse utile de xénon.

**[0102]** Généralement, la récupération de xénon gazeux ou liquide depuis le cryostat 2 vers le réservoir est effectuée à une pression d'environ 1 bar dans le réservoir 4 ; la durée de cette récupération peut être comprise entre 4 h et 3 jours selon la masse utile de xénon.

**[0103]** À l'arrêt, par exemple en cas de défaillance d'un composant de l'installation 1 tel que le dispositif cryogénique 10, le réservoir 4 va lentement se réchauffer jusqu'à la température ambiante (300 K). La pression dans le réservoir 4 va augmenter jusqu'à atteindre la pression utile, ici 65 bar. Le réservoir 4 peut supporter cette pression utile jusqu'au redémarrage du dispositif cryogénique 10 et à l'abaissement progressif de la température du réservoir 4 jusqu'à 165 K.

## Revendications

1. Installation (1) pour fournir du xénon liquide (LXe), en particulier à un cryostat (2) pour système d'imagerie ou système de détection, l'installation (1) comprenant au moins :

- un réservoir (4) délimitant un volume interne (V4) adapté pour contenir une masse dite utile de xénon ;

- un dispositif cryogénique (10) adapté pour condenser du xénon gazeux (GXe), le dispositif cryogénique (10) étant relié au réservoir respectif (4) de façon à collecter du xénon gazeux (GXe) provenant du réservoir respectif (4) et à canaliser le xénon condensé vers le réservoir respectif (4) ; et

- un équipement d'isolation thermique agencé pour isoler thermiquement au moins ledit au moins un réservoir (14) ;

ledit au moins un réservoir (4) comprenant des parois (6), l'installation (1) étant **caractérisée en ce que** la forme et l'épaisseur (E6) desdites parois (6) sont sélectionnées de sorte que ledit au moins un réservoir (4) supporte une pression utile développée par la masse utile de xénon à l'état gazeux à une température d'environ 300 K, la pression utile étant comprise entre 60 bar et 80 bar ;

et **en ce que** l'installation (1) comprend en outre au moins un organe limiteur de surpression relié au réservoir (4), ledit au moins un organe de surpression étant taré pour limiter une surpression à une valeur supérieure ou égale à ladite pression utile.

2. Installation (1) selon la revendication 1, dans laquelle la masse utile de xénon est comprise entre 10 kg et 10000 kg, de préférence entre 100 kg et 5000 kg.

3. Installation (1) selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle ledit au moins un réservoir (4) contient une masse utile de xénon de 3000 kg, la pression utile étant égale à 65 bar, et ledit au moins un réservoir (4) ayant de préférence une forme globalement sphérique ou globalement cylindrique avec un diamètre interne de 1700 mm, les parois (6) étant en acier inoxydable et ayant une épaisseur (E6) constante de 35 mm.

4. Installation (1) selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle un quotient ayant :

- pour dénominateur, le volume interne (V4) du réservoir respectif (4) ;
- pour numérateur, le volume qu'occupe la masse utile de xénon à l'état liquide sous la pression atmosphérique ;

est compris entre 0,4 et 0,6, de préférence égal à 0,5.

5. Installation (1) selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ledit au moins un réservoir (4) a une forme globalement sphérique ou globalement cylindrique.

6. Installation selon la revendication 5, comprenant plusieurs réservoirs ayant chacun une forme globalement cylindrique, les réservoirs étant de préférence



juxtaposés.

7. Installation (1) selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre un dispositif de purification (30) relié au réservoir respectif (4) et adapté pour purifier du xénon gazeux (GXe), de préférence à température ambiante, de façon à réinjecter dans un réservoir respectif (4) du xénon ayant un degré de pureté inférieur à 2 ppb, de préférence inférieur à 1 ppb.

8. Installation (1) selon la revendication 7, comprenant en outre au moins un échangeur thermique secondaire (40) relié d'une part au réservoir respectif (4) et d'autre part au dispositif de purification (30), l'échangeur thermique secondaire (40) comprenant :

- une conduite de réchauffage (42) agencée en aval du réservoir respectif (4) et en amont du dispositif de purification (30) ; et
- une conduite de refroidissement (44) agencée en amont du réservoir respectif (4) et en aval du dispositif de purification (30), la conduite de refroidissement (44) étant thermiquement couplée à la conduite de réchauffage (42).

9. Installation (1) selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le dispositif cryogénique (10) comporte au moins un échangeur thermique primaire (16), l'échangeur thermique primaire (16) comprenant au moins :

- un bloc (18) en matériau thermiquement conducteur, de préférence en alliage d'aluminium ;
- une source de froid agencée de façon à refroidir le bloc (18) à une température inférieure ou égale à la température de liquéfaction du xénon ; et ;
- un serpentin de liquéfaction (22), de préférence en acier inoxydable, qui est relié à un réservoir respectif (4) et qui est agencé dans le bloc (18) de façon à liquéfier du xénon prélevé dans le réservoir respectif (4), la distance minimale (21.22) entre le serpentin de liquéfaction (22) et la source de froid (21) étant supérieure à 50 mm.

10. Installation (1) selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre un dispositif de réchauffage (50) comprenant au moins :

- un serpentin caloporteur (52) adapté pour la circulation d'un fluide caloporteur, tel que du diazote gazeux (GN2) à température ambiante, le serpentin caloporteur (52) étant agencé dans une région basse d'un réservoir respectif (4) de sorte que le serpentin caloporteur (52) est disposé dans le xénon liquide (LXe) lorsque le réservoir respectif (4) est en service ; et

- une vanne à ouverture variable (54), agencée de préférence en aval du serpentin caloporteur (52), de façon à réguler le débit de fluide caloporteur.

11. Installation (1) selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle l'équipement d'isolation thermique comprend au moins une couche (14) en matériau thermiquement isolant, tel qu'une mousse à cellules fermée en polyvinyle de chlorure, ladite au moins une couche (14) étant agencée de façon à entourer au moins le ou chaque réservoir (4), ladite au moins une couche (14) étant de préférence disposée sur la surface externe du ou de chaque réservoir (4).

12. Installation selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle l'équipement d'isolation thermique comprend une enveloppe délimitant au moins une cavité agencée autour du ou de chaque réservoir, la cavité étant mise sous vide lorsque l'installation est en service.

13. Installation selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ledit au moins un organe limiteur de surpression est taré pour limiter la surpression à une valeur déterminée excédant de 2 à 10 bar, de préférence de 5 bar, ladite pression utile.

14. Procédé, pour fournir du xénon liquide (LXe), en particulier à un cryostat (2) pour système d'imagerie ou système de détection, le procédé comprenant les étapes :

- mettre en oeuvre une installation selon l'une des revendications précédentes ;
- actionner le dispositif cryogénique (10) de façon à maintenir dans ledit au moins un réservoir (4) une pression de service comprise entre 0,5 bar et 5 bar ; et
- canaliser du xénon liquide (LXe) depuis ledit au moins un réservoir (4) vers le cryostat (2) par une conduite d'alimentation (3).

15. Procédé selon la revendication 14, comprenant en outre une étape consistant à actionner le dispositif cryogénique (10) de sorte que la masse utile de xénon comprend environ 50% en volume de xénon liquide (LXe) et environ 50% en volume de xénon gazeux (GXe) lorsque la pression régnant dans le réservoir respectif (4) est comprise entre 0,5 bar et 5 bar.

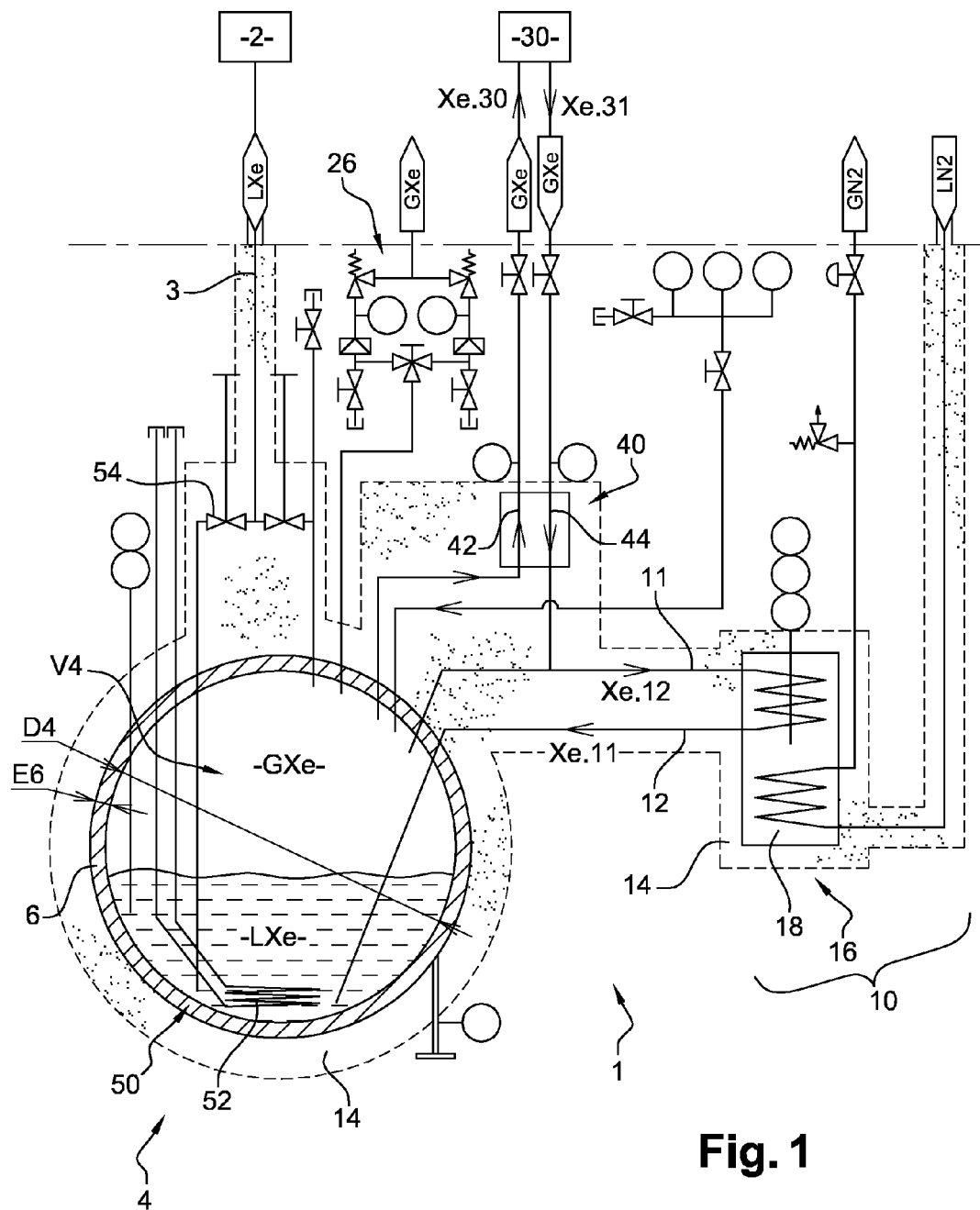
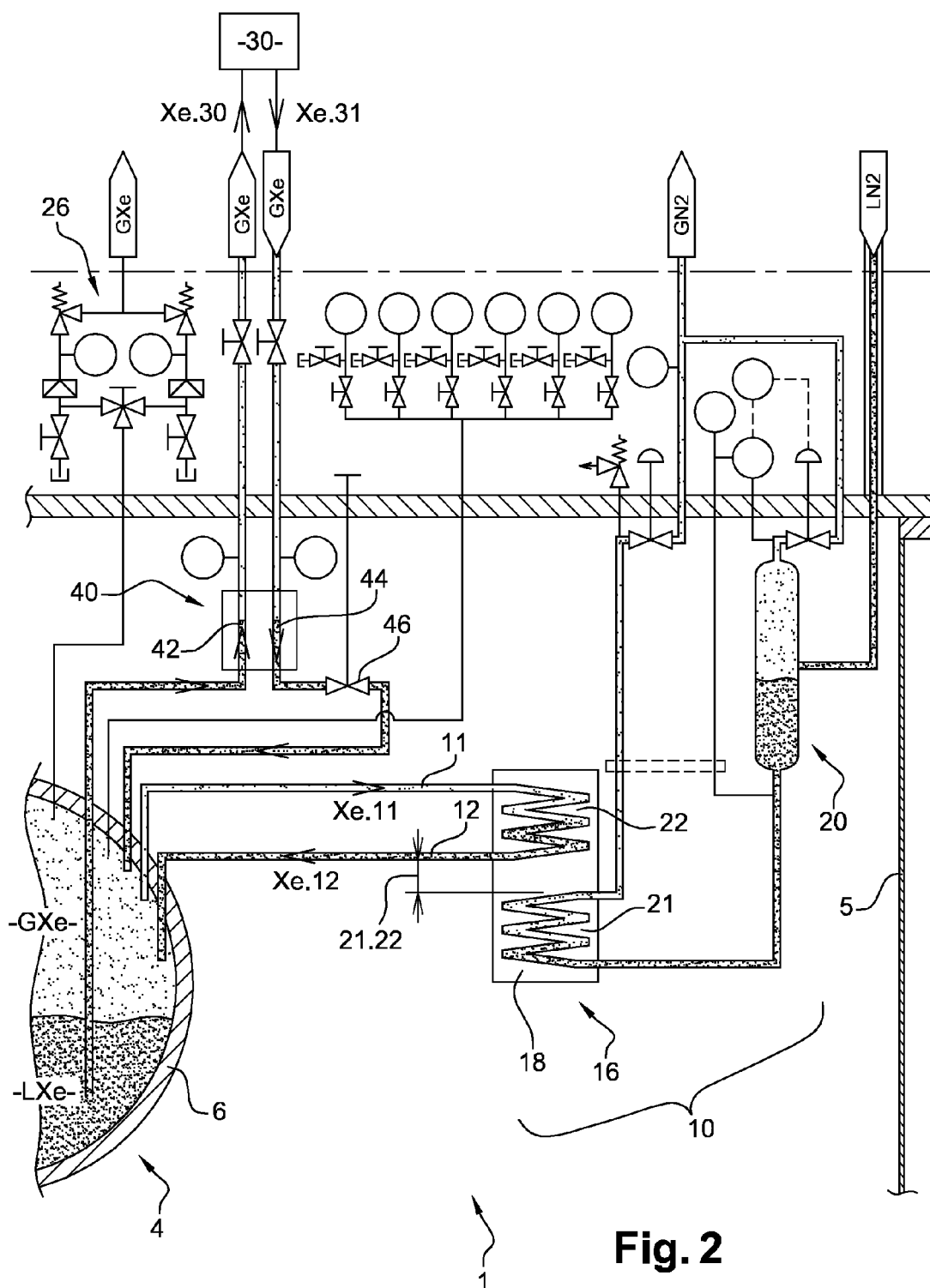
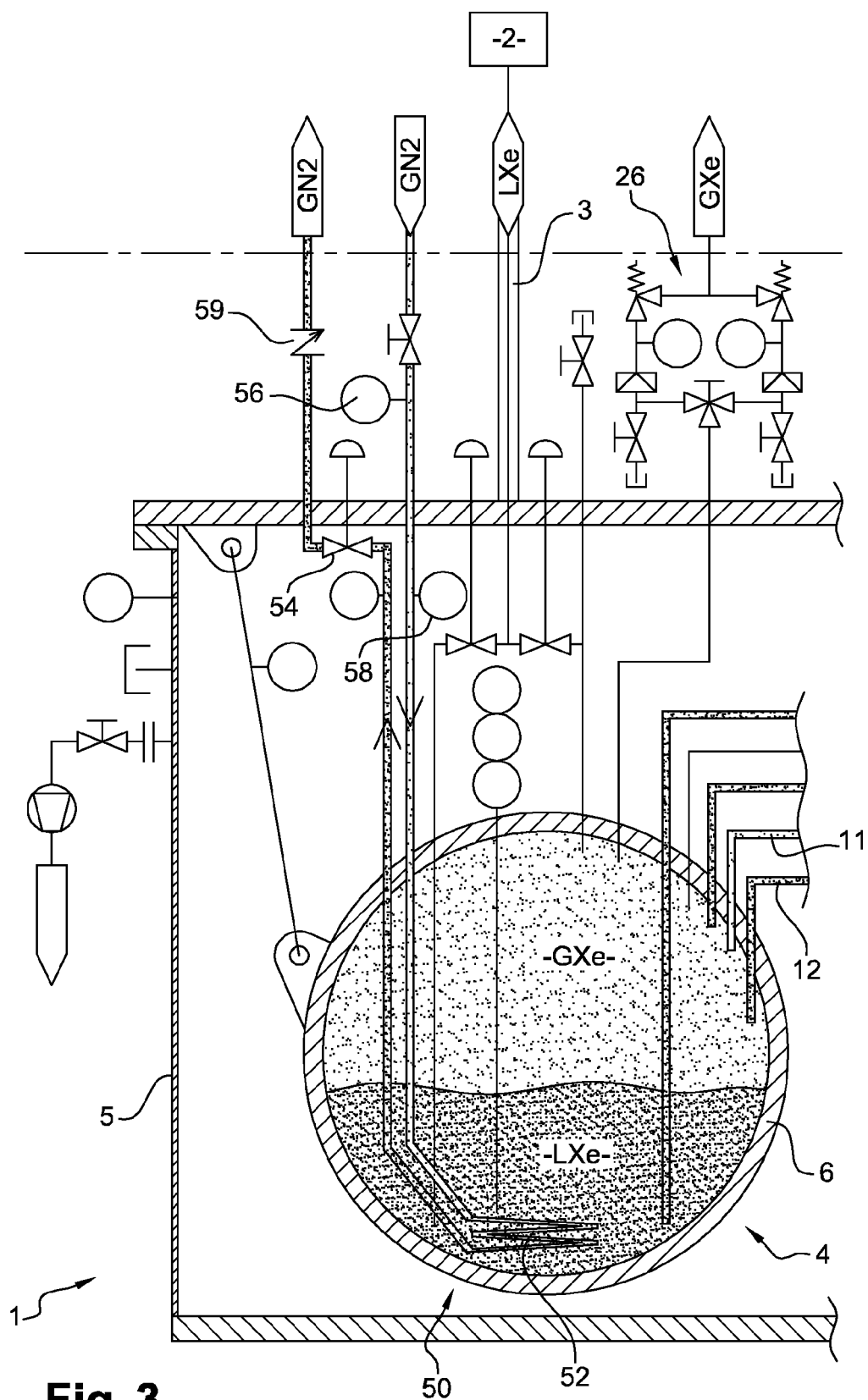


Fig. 1



**Fig. 2**



**Fig. 3**

**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**

- US 2010037656 A1 [0003]