

DESCRIPTION**Titre de l'invention : Système d'alimentation en gaz pour appareils consommateurs de gaz à haute et basse pression et procédé de contrôle d'un tel système**

5 La présente invention se rapporte au domaine des navires de stockage et/ou de transport de gaz à l'état liquide et concerne plus particulièrement un système d'alimentation en gaz pour appareils consommateurs compris au sein de tels navires, ainsi qu'un procédé de contrôle d'un tel système.

10 Au cours d'un trajet effectué par un navire comprenant une cuve de gaz à l'état liquide destiné à être consommé et/ou à être livré à un point de destination, ledit navire peut être apte à utiliser au moins une partie dudit gaz à l'état liquide afin d'alimenter au moins l'un de ses moteurs, et ce via un système d'alimentation en gaz. C'est le cas des navires pourvus d'un moteur de propulsion haute pression de type ME-GI. Afin d'alimenter ce type de moteur, le gaz doit être comprimé à très haute pression par des
15 dispositifs de compression spéciaux aptes à comprimer le gaz jusqu'à 300 bars absolus, mais de tels dispositifs de compression sont chers, engendrent des frais de maintenance conséquents et induisent des vibrations au sein du navire.

Une alternative à l'installation de ces dispositifs de compression à haute pression est de vaporiser le gaz sous forme liquide à 300 bars absolus, notamment à l'aide d'une pompe
20 haute pression, avant que ce dernier ne soit envoyé au moteur de propulsion. Une telle solution ne permettant pas d'éliminer le gaz sous forme vapeur (ou BOG, qui en anglais signifie « Boil-Off Gas ») se formant naturellement au sein d'une cuve contenant au moins partiellement la cargaison, un moyen de compression basse pression peut être installé pour alimenter un moteur auxiliaire, capable de consommer le gaz à l'état vapeur
25 à basse pression. L'excès de gaz sous forme vapeur peut également recirculer jusqu'à la cuve en étant recondensé.

L'efficacité atteinte par un tel système est déjà élevée, mais il est encore possible d'augmenter le rendement global de ce système. En effet, un inconvénient de ce système réside dans les variations de la température du gaz sous forme vapeur prélevé dans la

cuve. Il est ainsi des cas où cette température dépasse un seuil qui *in fine* provoque une augmentation de la consommation du moyen de compression basse pression, notamment une augmentation de sa consommation électrique.

5 Un autre inconvénient réside dans la grande quantité d'énergie demandé par la vaporisation du gaz sous forme liquide pour atteindre 300 bars absolus.

La présente invention vise à résoudre de telles problématiques en proposant un système d'alimentation en gaz d'au moins un appareil consommateur de gaz à haute pression et d'au moins un appareil consommateur de gaz à basse pression d'un ouvrage flottant qui comprend au moins une cuve configurée pour contenir le gaz au moins à l'état liquide,
10 le système d'alimentation comprenant :

- au moins un premier circuit d'alimentation en gaz de l'appareil consommateur de gaz à haute pression,
- au moins un évaporateur haute pression configuré pour évaporer le gaz circulant dans le premier circuit d'alimentation,
- 15 - au moins un deuxième circuit d'alimentation en gaz de l'appareil consommateur de gaz à basse pression, comprenant au moins un dispositif de compression configuré pour comprimer du gaz prélevé à l'état vapeur dans la cuve jusqu'à une pression compatible avec les besoins de l'appareil consommateur de gaz à basse pression,
- au moins une ligne de retour de gaz connectée au deuxième circuit
20 d'alimentation en aval du dispositif de compression et s'étendant jusqu'à la cuve,
- au moins un premier échangeur de chaleur et un deuxième échangeur de chaleur, chacun configurés pour opérer un échange de chaleur entre le gaz circulant dans la ligne de retour et le gaz à l'état liquide circulant dans le premier circuit d'alimentation.

Le système d'alimentation est innovant en ce qu'il comprend au moins une branche de
25 refroidissement du gaz prélevé à l'état vapeur dans la cuve raccordée au deuxième circuit d'alimentation en amont du dispositif de compression, le système d'alimentation comprenant au moins un échangeur thermique qui comporte au moins une première passe installée sur le premier circuit d'alimentation entre le deuxième échangeur de

chaleur et l'évaporateur haute pression ainsi qu'une seconde passe installée sur la branche de refroidissement.

La branche de refroidissement fait bifurquer le gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve par rapport à une portion du deuxième circuit d'alimentation. Ce faisant, le gaz est
5 amené à l'échangeur thermique qui met en œuvre un refroidissement du gaz qui circule dans la branche de refroidissement au moyen du gaz à l'état liquide qui transite dans le premier circuit d'alimentation. L'échange thermique est d'autant plus efficace qu'il est réalisé entre un fluide à l'état liquide et un fluide à l'état gazeux. La branche de refroidissement et son échangeur thermique sont donc intéressants dans le cas où on
10 alimente l'appareil consommateur à basse pression ou dans le cas où on cherche à liquéfier l'excédent de gaz présent dans le ciel de la cuve. La densification du gaz à l'état de valeur après passage au sein de l'échangeur thermique permet de réduire la consommation électrique du dispositif de compression jusqu'à 30% quand le gaz à l'état vapeur circule dans la ligne de retour en vue d'être condensé. Cette réduction de la
15 consommation électrique du dispositif de compression peut atteindre 45% quand le gaz à l'état vapeur circule dans le deuxième circuit d'alimentation en vue d'être fourni à l'appareil consommateur de gaz à basse pression.

Le premier circuit d'alimentation en gaz permet de subvenir aux besoins en carburant de l'appareil consommateur de gaz à haute pression. Ce dernier peut par exemple être le
20 moyen de propulsion de l'ouvrage flottant, par exemple un moteur ME-GI. Le premier circuit d'alimentation s'étend de la cuve jusqu'à l'appareil consommateur de gaz à haute pression. La pompe est installée en fond de cuve et assure le pompage du gaz à l'état liquide afin que celui-ci puisse circuler dans le premier circuit d'alimentation.

Le gaz devant être à l'état vapeur pour pouvoir alimenter l'appareil consommateur de gaz
25 à haute pression, l'évaporateur haute pression garantit l'évaporation du gaz avant sa fourniture à l'appareil consommateur de gaz à haute pression. L'évaporateur haute pression est le siège d'un échange de calories entre le gaz à l'état liquide circulant dans le premier circuit d'alimentation et un fluide caloporteur, par exemple de l'eau glycolée, de l'eau de mer ou de la vapeur d'eau. Ce fluide caloporteur, quelle que soit sa forme, doit

être à une température suffisamment élevée pour créer un changement d'état du gaz afin que ce dernier passe à l'état vapeur ou supercritique et alimente l'appareil consommateur de gaz à haute pression.

- 5 Le deuxième circuit d'alimentation s'étend de la cuve jusqu'à l'appareil consommateur de gaz à basse pression. Ce dernier peut par exemple être un moteur auxiliaire tel qu'un moteur à combustion interne d'un générateur électrique. Le dispositif de compression disposé sur le deuxième circuit d'alimentation est chargé d'aspirer le gaz présent dans le ciel de la cuve afin de pouvoir à la fois alimenter l'appareil consommateur de gaz à basse pression mais aussi de réguler la pression au sein de la cuve.
- 10 En sortie du dispositif de compression, le gaz à l'état vapeur peut alimenter l'appareil consommateur de gaz à basse pression, et/ou circuler à travers la ligne de retour si l'appareil consommateur de gaz à basse pression ne nécessite pas ou peu d'apport en carburant. La ligne de retour étant connectée en aval du dispositif de compression, le gaz à l'état vapeur aspiré par le dispositif de compression peut donc y circuler.
- 15 Le gaz à l'état vapeur circulant dans la ligne de retour traverse dans un premier temps le deuxième échangeur de chaleur, puis le premier échangeur de chaleur, avant de retourner dans la cuve. Selon cette configuration, grâce à l'échange de calories s'opérant entre le gaz à l'état liquide circulant dans le premier circuit d'alimentation et le gaz à l'état vapeur circulant dans la ligne de retour, la température du gaz à l'état vapeur
- 20 diminue en traversant les deux échangeurs de chaleur, jusqu'à ce que ledit gaz se condense et repasse à l'état liquide sensiblement en aval du premier échangeur de chaleur. Le gaz ainsi condensé, c'est-à-dire à l'état liquide, circule alors jusqu'à la cuve.
- 25 Selon une caractéristique de l'invention, l'échangeur thermique comprend au moins une première passe installée sur le premier circuit d'alimentation en amont de l'évaporateur haute pression, ainsi qu'une seconde passe installée sur la branche de refroidissement. Le gaz à l'état liquide qui transite dans le premier circuit d'alimentation traverse donc en premier l'échangeur thermique, puis traverse la première passe de l'évaporateur haute pression.

Selon une autre raffinement, la première passe de l'échangeur thermique est installée entre le deuxième échangeur de chaleur et l'évaporateur haute pression. On comprend ici que le gaz à l'état liquide qui circule dans le premier circuit d'alimentation traverse d'abord la première passe du premier échangeur, puis traverse la première passe de l'échangeur thermique et enfin traverse la première passe de l'évaporateur haute pression.

Les successions d'échange thermique mis en œuvre par les variantes ci-dessus permettent de mettre à profit les calories de l'un et/ou l'autre des fluides concernés, selon un ordre qui augmente l'efficacité du système.

Selon une autre caractéristique de l'invention, la deuxième passe de l'échangeur thermique est en amont du dispositif de compression, selon le sens de circulation du gaz au sein du deuxième circuit d'alimentation. Le gaz à l'état vapeur entre ainsi dans le dispositif de compression à une température plus basse, ce qui permet d'augmenter la densité du gaz et ainsi diminuer le débit volumique du dispositif de compression.

Selon encore une autre caractéristique, le système d'alimentation comprend un point de divergence où se séparent la branche de refroidissement et le deuxième circuit d'alimentation et un point de convergence où se rejoignent la branche de refroidissement et le deuxième circuit d'alimentation, la branche de refroidissement s'étendant entre le point de divergence et le point de convergence. Point de divergence et point de convergence bornent une portion du deuxième circuit d'alimentation et la branche de refroidissement est ainsi en parallèle de cette portion.

De manière avantageuse, le deuxième circuit d'alimentation comprend au moins un organe de contrôle de la circulation du gaz au sein dudit deuxième circuit d'alimentation, la branche de refroidissement étant disposée en parallèle de l'organe de contrôle de la circulation du gaz au sein dudit deuxième circuit d'alimentation. L'organe de contrôle est ainsi disposé sur la portion du deuxième circuit d'alimentation.

Le point de divergence est alors en amont de l'organe de contrôle de la circulation du gaz au sein dudit deuxième circuit d'alimentation et le point de convergence est aval dudit l'organe de contrôle, selon le sens de circulation du gaz au sein dudit deuxième circuit d'alimentation.

De manière encore avantageuse, la branche de refroidissement comprend au moins une vanne de contrôle de la circulation du gaz au sein dudit branche de refroidissement. On contrôle ainsi le flux de gaz qui traverse l'échangeur thermique, notamment sa deuxième passe.

- 5 L'organe de contrôle et/ou la vanne de contrôle peut par exemple être une vanne tout ou rien.

Le système d'alimentation objet de l'invention peut aussi comprendre au moins un moyen de détermination de la température du gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve et un dispositif de gestion qui commande au moins l'organe de contrôle de la circulation
10 du gaz au sein dudit deuxième circuit d'alimentation et la vanne de contrôle de la circulation du gaz au sein dudit branche de refroidissement. Le moyen de détermination évalue ou mesure, directement ou indirectement, la température du gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve.

Le dispositif de gestion est apte à autoriser la circulation de gaz au sein de la branche de
15 refroidissement quand la température déterminée par le moyen de détermination est supérieure à un seuil de référence. Par ailleurs, le dispositif de gestion est apte à interdire la circulation de gaz au sein de la branche de refroidissement quand la température déterminée par le moyen de détermination est inférieure au seuil de référence.

De manière intéressante, le premier circuit d'alimentation comprend une pompe
20 interposée entre le premier échangeur de chaleur et le deuxième échangeur de chaleur. C'est la pompe, dite pompe haute pression, qui permet d'augmenter la pression du gaz à l'état liquide circulant dans le premier circuit d'alimentation, et ce afin que celui-ci présente une pression de gaz compatible pour l'alimentation de l'appareil consommateur de gaz à haute pression.

25 Selon un premier exemple de mise en œuvre, l'évaporateur haute pression et l'échangeur thermique forment un module unitaire d'échange thermique. De manière alternative, le deuxième échangeur de chaleur et l'échangeur thermique forment un module unitaire d'échange thermique. De manière combinée, au moins l'évaporateur haute pression, le deuxième échangeur de chaleur et l'échangeur thermique forme un module unitaire

d'échange thermique. Ce module unitaire d'échange thermique est un seul et même échangeur pourvu d'au moins trois, quatre ou cinq passes fluidiquement distinctes les unes des autres.

5 Selon une caractéristique de l'invention, le système d'alimentation comprend une branche de traitement thermique du gaz à l'état vapeur circulant dans la ligne de retour, la branche de traitement thermique étant raccordée au deuxième circuit d'alimentation en amont du dispositif de compression, le système d'alimentation comprenant un troisième échangeur de chaleur configuré pour opérer un échange de chaleur entre le gaz à l'état vapeur circulant dans la branche de traitement thermique et le gaz à l'état vapeur
10 circulant dans la ligne de retour. La branche de traitement thermique et le troisième échangeur de chaleur permet d'exploiter le froid contenu dans le gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve pour le céder au gaz à l'état vapeur circulant dans la ligne de retour, de manière à favoriser la liquéfaction de ce gaz.

Selon une caractéristique de l'invention, le premier circuit d'alimentation comprend au
15 moins une pompe configurée pour pomper le gaz prélevé à l'état liquide dans la cuve. La pompe est avantageusement immergée en étant agencée au fond de la cuve afin de prélever le gaz à l'état liquide pour le faire circuler au sein du premier circuit d'alimentation. Lorsque le gaz à l'état liquide est pompé par la pompe, la pression de celui-ci est élevée entre 6 et 17 bars absolus.

20 L'invention vise aussi un procédé de contrôle d'un système d'alimentation tel que décrit dans le présent document, au cours duquel :

- à une étape de détermination, on détermine la température du gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve, puis
- on fait circuler le gaz à l'état vapeur au sein de la branche de refroidissement si la
25 température du gaz à l'état vapeur déterminée à l'étape de détermination est supérieure à un seuil de référence ou,

- on fait circuler le gaz à l'état vapeur au sein du deuxième circuit d'alimentation si la température du gaz à l'état vapeur déterminée à l'étape de détermination est inférieure au seuil de référence.

5 En d'autres termes, si la température du gaz prélevé à l'état vapeur dans la cuve est supérieure au seuil de référence, la vanne de contrôle de la circulation du gaz au sein de la branche de refroidissement autorise une circulation du gaz au sein dudit branche de refroidissement. Si la température du gaz prélevé à l'état vapeur dans la cuve est inférieure au seuil de référence, la vanne de contrôle de la circulation du gaz au sein de la
10 branche de refroidissement interdit une circulation du gaz au sein dudit branche de refroidissement. En fonction du seuil de référence sélectionné, le procédé autorise une circulation du gaz au sein dudit deuxième circuit d'alimentation par ouverture d'un organe de contrôle de la circulation du gaz au sein du deuxième circuit d'alimentation et interdit la circulation au sein de la ligne de retour, par exemple en fermant l'organe de régulation du débit.

15 L'étape de détermination est mise en œuvre par le moyen de détermination de la température du gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve. La comparaison entre cette température ainsi déterminée et le seuil de référence, ainsi que le choix qui en découle, sont mis en œuvre par le dispositif de gestion.

20 Un bon niveau d'efficacité est tiré du système lorsque le seuil de référence est égale à - 90°C, notamment +/- 10%, le procédé comprenant alors un étape de condensation du gaz à l'état vapeur circulant dans la ligne de retour.

Selon un aspect de l'invention, lorsque le seuil de référence est supérieure ou égale à - 150°C, le procédé comprend un étape d'alimentation de l'appareil consommateur de gaz à basse pression via le deuxième circuit d'alimentation.

25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore au travers de la description qui suit d'une part, et de plusieurs exemples de réalisation donnés à titre indicatif et non limitatif en référence aux dessins schématiques annexés d'autre part, sur lesquels :

[fig 1] est une représentation schématique d'un système d'alimentation selon l'invention,

[fig 2] est une représentation schématique d'un système d'alimentation de la figure 1 dans un premier état de fonctionnement,

5 [fig 3] est une représentation schématique d'un système d'alimentation des figures 1 et 2 dans un deuxième état de fonctionnement,

[fig 4] est une représentation schématique d'un système d'alimentation selon l'invention, selon un autre mode de réalisation.

10 Les termes « amont » et « aval » employés dans la description qui suit sont utilisés pour exprimer des positions d'éléments au sein de circuits de gaz à l'état liquide ou à l'état vapeur et se réfèrent au sens de circulation dudit gaz au sein dudit circuit.

Les éléments identiques conservent la même référence quel que soit les figures où ils apparaissent.

15 La figure 1 représente un système d'alimentation 1 en gaz embarqué sur un ouvrage flottant. Le système d'alimentation 1 permet de faire circuler du gaz pouvant être à l'état liquide, à l'état vapeur, à l'état diphasique ou à l'état supercritique, et ce à partir d'une cuve 8 de stockage et/ou de transport, et jusqu'à un appareil consommateur de gaz à haute pression 4 et jusqu'à un appareil consommateur de gaz à basse pression 5, afin d'alimenter ces derniers en carburant.

20 Ledit ouvrage flottant peut par exemple être un navire de type méthanier pouvant stocker et/ou transporter du gaz à l'état liquide, notamment du gaz naturel. Le système d'alimentation 1 est dans ce cas apte à utiliser le gaz à l'état liquide que l'ouvrage flottant stocke et/ou transporte pour alimenter l'appareil consommateur de gaz à haute pression 4, lequel pouvant par exemple être un moteur de propulsion, et l'appareil consommateur de gaz à basse pression 5, lequel pouvant par exemple être un générateur électrique
25 alimentant l'ouvrage flottant en électricité.

Afin d'assurer la circulation du gaz contenu dans la cuve 8 jusqu'à l'appareil consommateur de gaz à haute pression 4, le système d'alimentation 1 est pourvu d'un premier circuit d'alimentation 2 en gaz. Le premier circuit d'alimentation 2 comprend

une pompe immergée 9 disposée au sein de la cuve 8. La pompe immergée 9 permet de pomper le gaz à l'état liquide et de le faire circuler notamment au sein du premier circuit d'alimentation 2. En aspirant le gaz à l'état liquide, la pompe immergée 9 élève la pression de celui-ci à une valeur comprise entre 6 et 17 bars absolus.

5 Le gaz à l'état liquide, selon un sens de circulation allant de la cuve 8 vers l'appareil consommateur de gaz à haute pression 4, traverse un premier échangeur de chaleur 6 et est mis en pression par une pompe 10, autrement appelé pompe haute pression. Par la suite, le gaz à l'état liquide traverse un deuxième échangeur de chaleur 7, puis un évaporateur haute pression 11 avant de rejoindre le moteur haute pression 4. La pompe 10 est avantageusement disposée entre le premier échangeur de chaleur 6 et le deuxième échangeur de chaleur 7.

L'évaporateur haute pression 11 permet de modifier l'état du gaz circulant dans le premier circuit d'alimentation 2 afin de le faire passer à l'état vapeur ou supercritique. Un tel état est un état compatible pour alimenter l'appareil consommateur de gaz à haute pression 4. L'évaporation du gaz à l'état liquide peut par exemple se faire par échange de chaleur entre le gaz à l'état liquide qui entre dans l'évaporateur haute pression 11 et un fluide caloporteur à température suffisamment élevée pour évaporer le gaz à l'état liquide, ici de l'eau glycolée, de l'eau de mer ou de la vapeur d'eau.

La hausse de la pression du gaz est assurée par la pompe 10 lorsque celle-ci pompe le gaz à l'état liquide. La pompe 10 permet d'élever la pression du gaz à l'état liquide à une valeur comprise entre 30 et 400 bars absolus, notamment pour un usage avec de l'ammoniaque ou de l'hydrogène, entre 30 et 70 bars absolus pour un usage avec du gaz de pétrole liquéfié, et de préférence entre 150 et 400 bars absolus pour un usage avec de l'éthane, de l'éthylène ou encore avec du gaz naturel liquéfié constitué majoritairement de méthane.

Grâce à la combinaison de la pompe 10 et de l'évaporateur haute pression 11, le gaz est à une pression et dans un état compatibles pour l'alimentation de l'appareil consommateur à haute pression 4. Une telle configuration permet d'éviter l'installation

de dispositifs de compression haute pression sur le premier circuit d'alimentation 2 qui présentent des contraintes de coûts et génèrent de fortes vibrations.

Au sein de la cuve 8, une partie de la cargaison de gaz peut naturellement passer à l'état vapeur et être contenu dans un ciel de cuve 12. Afin d'éviter une surpression au sein de la cuve 8, le gaz à l'état vapeur contenu dans le ciel de cuve 12 doit être évacué.

Le système d'alimentation 1 comprend donc un deuxième circuit d'alimentation 3 en gaz, qui utilise le gaz à l'état vapeur pour alimenter l'appareil consommateur de gaz à basse pression 5. Le deuxième circuit d'alimentation 3 s'étend entre le ciel de cuve 12 et l'appareil consommateur de gaz à basse pression 5. Afin d'aspirer le gaz à l'état vapeur contenu dans le ciel de cuve 12, le deuxième circuit d'alimentation 3 comprend un dispositif de compression 13, notamment un compresseur. En plus d'aspirer le gaz à l'état vapeur, le dispositif de compression 13 permet également de comprimer le gaz à l'état vapeur circulant dans le deuxième circuit d'alimentation 3 à une pression comprise entre 6 et 20 bars absolus, et ce afin que le gaz à l'état vapeur soit à une pression compatible pour l'alimentation de l'appareil consommateur de gaz à basse pression 5. Le deuxième circuit d'alimentation 3 permet ainsi d'alimenter l'appareil consommateur de gaz à basse pression 5, et ce tout en régulant la pression au sein de la cuve 8 en aspirant le gaz à l'état vapeur présent dans le ciel de cuve 12.

La présence du gaz à l'état vapeur en quantité excessive au sein du ciel de cuve 12 entraîne une surpression au sein de la cuve 8. Il est donc nécessaire d'évacuer le gaz à l'état vapeur dans le but d'abaisser la pression au sein de la cuve 8. Le gaz à l'état vapeur en excès peut alors par exemple être éliminé par un brûleur 18 ou, de façon non illustrée, rejeté dans l'atmosphère. Ces solutions engendrent une perte de cargaison. C'est pourquoi, le système d'alimentation 1 selon l'invention comprend une ligne de retour 14 qui s'étend du deuxième circuit d'alimentation 3 jusqu'à la cuve 8.

La ligne de retour 14 est raccordée sur le deuxième circuit d'alimentation 3 en aval du dispositif de compression 13 par rapport à un sens de circulation du gaz à l'état vapeur circulant dans le deuxième circuit d'alimentation 3. La ligne de retour 14 traverse dans

un premier temps le deuxième échangeur de chaleur 7, puis poursuit son cheminement en passant au travers du premier échangeur de chaleur 6.

Le premier échangeur de chaleur 6 comprend une première passe 6a qui fait partie du premier circuit d'alimentation 2. Ce premier échangeur de chaleur 6 comprend une
5 seconde passe 6b qui fait partie de la ligne de retour 14. Le sens de circulation au sein de la première passe 6a est opposé au sens de circulation au sein de la seconde passe 6b du premier échangeur de chaleur 6.

Le deuxième échangeur de chaleur 7 est installé entre le premier échangeur de chaleur 6 et l'évaporateur haute pression 11, sur le premier circuit d'alimentation 2.

10 Le deuxième échangeur de chaleur 7 comprend une première passe 7a qui fait partie du premier circuit d'alimentation 2. Ce deuxième échangeur de chaleur 7 comprend une seconde passe 7b qui fait partie de la ligne de retour 14. Le sens de circulation au sein de la première passe 7a est opposé au sens de circulation au sein de la seconde passe 7b du deuxième échangeur de chaleur 7.

15 C'est à l'entrée de la première passe 6a du premier échangeur de chaleur 6 que le gaz à l'état liquide du premier circuit d'alimentation 2 présente la température la plus basse. De ce fait, c'est donc après avoir traversé le premier échangeur de chaleur 6 que le gaz circulant dans la ligne de retour 14 est condensé. Le fluide circulant dans la ligne de retour 14 est donc à l'état vapeur à l'entrée de la seconde passe 6b du premier échangeur
20 de chaleur 6 et sort à l'état liquide suite à l'échange de calories se déroulant au sein du premier échangeur de chaleur 6.

La ligne de retour 14 comprend par ailleurs un organe de régulation de débit 15 qui contrôle le débit du fluide circulant dans la ligne de retour 14. Cet organe de régulation de débit 15 présente une section de passage pouvant être modifiée. Une fois que le gaz
25 est condensé, celui-ci circule jusqu'à la cuve 8. Le premier échangeur de chaleur 6 fait donc office de condenseur tandis que l'organe de régulation de débit 15 contrôle l'échange thermique ayant lieu dans le premier échangeur de chaleur 6, dans le deuxième échangeur de chaleur 7 et dans l'évaporateur haute pression 11.

Le système d'alimentation 1 comprend également une ligne d'alimentation auxiliaire 16, s'étendant du premier circuit d'alimentation 2, par un piquage disposé entre la pompe immergée 9 et le premier échangeur de chaleur 6, jusqu'au deuxième circuit d'alimentation 3, en se raccordant à celui-ci entre le dispositif de compression 13 et l'appareil consommateur de gaz à basse pression 5. La ligne d'alimentation auxiliaire 16 permet d'alimenter l'appareil consommateur de gaz à basse pression 5 en cas de débit insuffisant de gaz à l'état vapeur formé au sein du ciel de cuve 12.

Lorsque le gaz à l'état vapeur n'est pas présent en quantité suffisante dans le ciel de cuve 12, le gaz à l'état liquide pompé par la pompe immergée 9 peut alors circuler au sein de cette ligne d'alimentation auxiliaire 16 afin d'alimenter l'appareil consommateur de gaz à basse pression 5. Pour ce faire, la ligne d'alimentation auxiliaire 16 traverse un évaporateur basse pression 17 afin que le gaz à l'état liquide circulant dans la ligne d'alimentation auxiliaire 16 passe à l'état de vapeur. Le fonctionnement de l'évaporateur basse pression 17 peut par exemple être identique à celui de l'évaporateur haute pression 11, c'est-à-dire que le gaz est évaporé par échange de chaleur avec un fluide caloporteur à température suffisamment élevée pour évaporer le gaz à l'état liquide. En sortie de l'évaporateur basse pression 17, le gaz à l'état vapeur circule au sein de la ligne d'alimentation auxiliaire 16, puis rejoint le deuxième circuit d'alimentation 3 afin d'alimenter l'appareil consommateur de gaz à basse pression 5.

On comprend de ce qui précède que la ligne d'alimentation auxiliaire 16 n'est utilisée qu'en l'absence de gaz à l'état vapeur en quantité suffisante au sein du ciel de cuve 12. Ainsi, la ligne d'alimentation auxiliaire 16 comprend une vanne 19 contrôlant la circulation de gaz au sein de la ligne d'alimentation auxiliaire 16 lorsque l'utilisation de celle-ci n'est pas nécessaire.

Selon l'invention, le système d'alimentation 1 comprend au moins une branche de refroidissement 40 du gaz prélevé à l'état vapeur dans la cuve. Une telle branche permet de faire circuler le gaz prélevé à l'état vapeur dans la cuve 8 en vue de le refroidir.

La branche de refroidissement 40 est fluidiquement raccordée au deuxième circuit d'alimentation 3, en une position située en amont du dispositif de compression 13. C'est

ainsi que le système d'alimentation comprend un point de divergence 44 ménagé sur le deuxième circuit d'alimentation 3 et au niveau duquel débute la branche de refroidissement 40. Le système d'alimentation 3 comprend en outre un point de convergence 45, où le deuxième circuit d'alimentation 3 et la branche de refroidissement 40 se rejoignent. Le point de divergence 44 et le point de convergence 45 sont tous deux placés sur le deuxième circuit d'alimentation 3, avant le dispositif de compression 13.

Le système d'alimentation 1 comprend également un échangeur thermique 41 chargé de refroidir le gaz prélevé à l'état vapeur dans la cuve par échange de calories avec le gaz à l'état liquide qui circule dans le premier circuit d'alimentation 2.

Cet échangeur thermique 41 comprend une première passe 42 qui échange des calories avec une deuxième passe 43 constitutive de cet échangeur thermique 41. La première passe 42 de l'échangeur thermique 41 fait partie du premier circuit d'alimentation 2 en étant parcouru par le gaz à l'état liquide, tandis que la deuxième passe 43 de l'échangeur thermique 41 fait partie de la branche de refroidissement 40 et se trouve parcouru par le gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve 8.

De manière ingénieuse, la première passe 42 de l'échangeur thermique 41 est fluidiquement disposée entre la première passe 7a du deuxième échangeur de chaleur 7 et une première passe 11a de l'évaporateur haute pression 11.

Une telle localisation permet de refroidir le gaz à l'état vapeur qui circule dans la branche de refroidissement 40 par échange de chaleur avec le gaz à l'état liquide qui circule dans le premier circuit d'alimentation 2, ce qui *in fine* permet de diminuer le débit volumique en entrée du dispositif de compression 13 et ainsi réduire sa consommation, notamment électrique.

Cette localisation permet aussi de réduire le débit de fluide caloporteur qui parcourt une seconde passe 11b de l'évaporateur haute pression 11 en vue d'évaporer le gaz à l'état liquide qui provient de la cuve 8. Comme il s'agit d'une source chaude, l'invention permet de réduire la quantité de calories fournie par le fluide caloporteur puisqu'une partie des calories est fournie par le gaz à l'état vapeur qui circule dans la branche de refroidissement 40.

La circulation de gaz à l'état vapeur au sein du deuxième circuit d'alimentation 3 est placée sous la dépendance d'un organe de contrôle 46. Ce dernier est par exemple une vanne. La circulation de gaz à l'état vapeur au sein de la branche de refroidissement 40 est placée sous la dépendance d'une vanne de contrôle 47. Cet organe de contrôle et/ou
5 cette vanne de contrôle est par exemple une vanne ou une valve tout ou rien.

La branche de refroidissement 40 est installée en parallèle de cet organe de contrôle 46. En d'autres termes, le point de divergence 44 est positionné en amont de l'organe de contrôle 46 de la circulation du gaz au sein du deuxième circuit d'alimentation 3, tandis que le point de convergence 45 est positionné en aval de ce même organe de contrôle
10 46.

Le système d'alimentation comprend également un dispositif de gestion 49 et au moins un moyen de détermination 48 de la température du gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve 8. Le moyen de détermination 48 de la température est par exemple un capteur de température positionné sur le deuxième circuit d'alimentation 3, entre la cuve et le point
15 de divergence 44. Alternativement, le capteur peut être installé dans le ciel de cuve 12. Ce moyen de détermination 48 de la température est électriquement connecté au dispositif de gestion 49 puisque que l'information relevée par le moyen de détermination 48 est utilisée dans un calcul mis en œuvre par le dispositif de gestion 49.

Ce dispositif de gestion 49 est un module électronique de commande qui reçoit
20 l'information du moyen de détermination 48 et qui commande l'ouverture ou la fermeture de l'organe de contrôle 46 et/ou de la vanne de contrôle 47. Le dispositif de gestion 49 met en œuvre le procédé et ses différentes étapes, à l'exception de l'étape de détermination de la température du gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve 8.

Le procédé objet de l'invention est illustré par la figure 2 et par la figure 3.

25 Le dispositif de gestion 49 est apte à autoriser la circulation de gaz au sein de la branche de refroidissement 40 quand la température du gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve 8 et déterminée par le moyen de détermination 48 est supérieure à un seuil de référence, un tel seuil de référence étant par exemple égale à -90°C quand le gaz à l'état vapeur parcourt majoritairement ou exclusivement la ligne de retour 14. Alternativement, ce

seuil de référence est supérieur ou égal à -150°C quand le gaz à l'état vapeur est majoritairement ou exclusivement envoyé à l'appareil consommateur de gaz à basse pression 5, via le deuxième circuit d'alimentation 3. Dans un tel cas, l'organe de régulation de débit 15 réduit le débit de gaz qui circule dans la ligne de retour 14, ou
5 l'interrompt totalement le cas échéant.

Le dispositif de gestion 49 commande une ouverture de la vanne de contrôle 47, autorisant ainsi le gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve 8 à rejoindre l'échangeur thermique 41, notamment sa deuxième passe 43. Dans une telle situation, le dispositif de gestion 49 interdit le passage de gaz à l'état vapeur au sein d'une portion 51 du
10 deuxième circuit d'alimentation 3 située entre le point de divergence 44 et le point de convergence 45. Pour ce faire, le dispositif de gestion 49 commande une fermeture de l'organe de contrôle 46 installé sur cette portion 51.

Tel que montré sur la figure 3, le dispositif de gestion 49 est également apte à interdire la circulation de gaz au sein de la branche de refroidissement 40 quand la température
15 déterminée par le moyen de détermination 48 est inférieure au seuil de référence mentionné ci-dessus. Pour ce faire, le dispositif de gestion 49 commande une fermeture de la vanne de contrôle 47. Dans un tel cas, le dispositif de gestion 49 autorise la circulation de gaz à l'état vapeur au travers de la portion 51 du deuxième circuit d'alimentation 3, en commandant l'ouverture de l'organe de contrôle 46, autorisant
20 ainsi le gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve 8 à rejoindre directement le dispositif de compression 13.

Bien entendu, le dispositif de gestion 49 peut être affecté à d'autres opérations de calcul nécessaires au fonctionnement du système d'alimentation 1 selon l'invention, comme par exemple le contrôle de l'organe de régulation de débit 15 ou le contrôle de la vanne
25 19 contrôlant la circulation de gaz au sein de la ligne d'alimentation auxiliaire 16, ou encore le contrôle du dispositif de compression 13 ou le contrôle de la pompe immergée 9 ou de la pompe 10.

On note que chaque échangeur décrit dans le présent document peut être un composant à deux passes. L'invention couvre également le cas où certains échangeurs sont

rassemblés pour ne former qu'un seul et même échangeur, par exemple à trois ou quatre passes. Ainsi, l'évaporateur haute pression et l'échangeur thermique 41, ou le deuxième échangeur de chaleur 7 et l'échangeur thermique 41 ou encore la combinaison de ces trois composants peuvent former un module unitaire d'échange thermique 50.

- 5 La figure 4 illustre le système d'alimentation présenté aux figures 1 à 3 auquel est ajouté des composants supplémentaires.

Le système d'alimentation 1 montré à la figure 4 comprend ainsi en plus une branche de traitement thermique 33 du gaz à l'état vapeur circulant dans la ligne de retour 14. Cette
10 branche de traitement thermique 33 a pour fonction de participer au refroidissement du gaz à l'état vapeur qui circule dans la ligne de retour, de manière à faciliter sa condensation. Dans cette situation, la branche de traitement thermique 33 permet de collecter le froid du gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve 8 et de le valoriser en le
cédant à la ligne de retour 14.

La branche de traitement thermique 33 est raccordée au deuxième circuit d'alimentation
15 3 en amont du dispositif de compression 13, via une zone de divergence 52 et une zone convergence 53 propre à la branche de traitement thermique 33. Alternativement, la branche de traitement thermique 33 et la branche de refroidissement 40 peuvent être toutes deux raccordées au point de divergence 44 et au point de convergence 45. Quel
que soit le mode de raccordement, la branche de traitement thermique 33 et la branche
20 de refroidissement sont en parallèle l'une par rapport à l'autre, et par rapport à la portion 51 du deuxième circuit d'alimentation 3.

La figure 4 montre également la présence d'un troisième échangeur de chaleur 36
configuré pour opérer un échange de chaleur entre le gaz à l'état vapeur circulant dans la
branche de traitement thermique 33 et le gaz à l'état vapeur circulant dans la ligne de
25 retour 14. Un tel troisième échangeur de chaleur 36 comprend une première passe 36a qui fait partie de la ligne de retour 14 est qui est disposée entre la deuxième passe 6b du premier échangeur de chaleur 6 et la deuxième passe 7b du deuxième échangeur de chaleur 7. Ce troisième échangeur de chaleur 36 comprend une deuxième passe 36b qui fait partie de la branche de traitement thermique 33.

La branche de traitement thermique 33 comprend en outre un dispositif de contrôle 38 configuré pour contrôler la circulation de gaz à l'état vapeur au sein de la branche de traitement thermique 33. Ce dispositif de contrôle 38 est placé sous la dépendance du dispositif de gestion 49 et il est en une position ouverte lorsque la température du gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve 8 détectée par le moyen de détermination 48 est inférieure à un seuil de température, par exemple égale à -110°C .

Quand la température du gaz à l'état vapeur déterminée par le moyen de détermination est supérieure au seuil de température, le dispositif de gestion 49 commande la fermeture du dispositif de contrôle 38 et fait circuler le gaz à l'état vapeur au sein du deuxième circuit d'alimentation 3.

Selon un aspect intéressant de la figure 4, il convient de gérer la circulation des flux entre la branche de refroidissement 40 et la branche de traitement thermique 33. C'est ainsi que le procédé objet de l'invention prévoit notamment que, lorsque la température du gaz à l'état vapeur déterminée à l'étape de détermination par le moyen de détermination 48 est inférieure au seuil de température, on fait exclusivement circuler le gaz à l'état vapeur au sein de la branche de traitement thermique 33. De manière complémentaire, lorsque la température du gaz à l'état vapeur déterminée à l'étape de détermination par le moyen de détermination 48 est inférieure au seuil de température, on fait exclusivement circuler le gaz à l'état vapeur au sein de la branche de refroidissement 40. Enfin, lorsque la température du gaz à l'état vapeur déterminée à l'étape de détermination par le moyen de détermination 48 est comprise entre le seuil de température et le seuil de référence, on fait exclusivement circuler le gaz à l'état vapeur au sein du deuxième circuit d'alimentation 3.

Dans le cas de la figure 4, le module unitaire d'échange thermique 50 évoqué plus haut peut être compléter avec le troisième échangeur de chaleur 36. Un tel module unitaire d'échange thermique 50 peut alors comprendre au moins cinq passes fluidiquement séparées les unes des autres.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

- 5 L'invention, telle qu'elle vient d'être décrite, atteint bien le but qu'elle s'était fixée, et permet de proposer un système d'alimentation en gaz qui réduit la consommation énergétique du dispositif de compression et/ou de l'évaporateur haute pression. Des variantes non décrites ici pourraient être mises en œuvre sans sortir du contexte de l'invention, dès lors que, conformément à l'invention, elles comprennent un système d'alimentation conforme à l'invention.

REVENDEICATIONS

- 1- Système d'alimentation (1) en gaz d'au moins un appareil consommateur de gaz à haute pression (4) et d'au moins un appareil consommateur de gaz à basse pression (5) d'un ouvrage flottant qui comprend au moins une cuve (8) configurée pour contenir le
- 5 gaz au moins à l'état liquide, le système d'alimentation (1) comprenant :
- au moins un premier circuit d'alimentation (2) en gaz de l'appareil consommateur de gaz à haute pression (4),
 - au moins un évaporateur haute pression (11) configuré pour évaporer le gaz circulant dans le premier circuit d'alimentation (2),
 - 10 - au moins un deuxième circuit d'alimentation (3) en gaz de l'appareil consommateur de gaz à basse pression (5), comprenant au moins un dispositif de compression (13) configuré pour comprimer du gaz prélevé à l'état vapeur dans la cuve (8) jusqu'à une pression compatible avec les besoins de l'appareil consommateur de gaz à basse pression (5),
 - 15 - au moins une ligne de retour (14) de gaz connectée au deuxième circuit d'alimentation (3) en aval du dispositif de compression (13) et s'étendant jusqu'à la cuve (8),
 - au moins un premier échangeur de chaleur (6) et un deuxième échangeur de chaleur (7), chacun configurés pour opérer un échange de chaleur entre le gaz circulant
 - 20 dans la ligne de retour (14) et le gaz à l'état liquide circulant dans le premier circuit d'alimentation (2),
- caractérisé en ce que le système d'alimentation (1) comprend au moins une branche de refroidissement (40) du gaz prélevé à l'état vapeur dans la cuve (8) raccordée au deuxième circuit d'alimentation (3) en amont du dispositif de compression (13), le
- 25 système d'alimentation (1) comprenant au moins un échangeur thermique (41) configuré pour opérer un échange de chaleur entre le gaz à l'état vapeur qui circule dans la branche de refroidissement (40) et le gaz à l'état liquide qui circule dans le premier circuit d'alimentation (2).
- 2- Système d'alimentation (1) selon la revendication précédente, dans lequel
- 30 l'échangeur thermique (41) comprend au moins une première passe (42) installée sur le

premier circuit d'alimentation (2) en amont de l'évaporateur haute pression (11), ainsi qu'une seconde passe (43) installée sur la branche de refroidissement (40).

- 3- Système d'alimentation (1) selon la revendication précédente, dans lequel la première passe (42) de l'échangeur thermique (41) est installée entre le deuxième échangeur de chaleur (7) et l'évaporateur haute pression (11).
- 4- Système d'alimentation (1) selon la revendication précédente, dans lequel la deuxième passe (43) de l'échangeur thermique (41) est en amont du dispositif de compression (13), selon le sens de circulation du gaz au sein du deuxième circuit d'alimentation (3).
- 5- Système d'alimentation (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant un point de divergence (44) où se séparent la branche de refroidissement (40) et le deuxième circuit d'alimentation (3) et un point de convergence (45) où se rejoignent la branche de refroidissement (40) et le deuxième circuit d'alimentation (3), la branche de refroidissement (40) s'étendant entre le point de divergence (44) et le point de convergence (45).
- 6- Système d'alimentation (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le deuxième circuit d'alimentation (3) comprend au moins un organe de contrôle (46) de la circulation du gaz au sein dudit deuxième circuit d'alimentation (3), la branche de refroidissement (40) étant disposée en parallèle de l'organe de contrôle (46) de la circulation du gaz au sein dudit deuxième circuit d'alimentation (3).
- 7- Système d'alimentation (1) selon la revendication précédente, dans lequel la branche de refroidissement (40) comprend au moins une vanne de contrôle (47) de la circulation du gaz au sein dudit branche de refroidissement (40).
- 8- Système d'alimentation (1) selon la revendication précédente, comprenant au moins un moyen de détermination (48) de la température du gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve (8) et un dispositif de gestion (49) qui commande au moins l'organe de contrôle (46) de la circulation du gaz au sein dudit deuxième circuit d'alimentation (3) et la vanne de contrôle (47) de la circulation du gaz au sein dudit branche de refroidissement (40).

- 9- Système d'alimentation (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le premier circuit d'alimentation (2) comprend une pompe (10) interposée entre le premier échangeur de chaleur (6) et le deuxième échangeur de chaleur (7).
- 5 10- Système d'alimentation (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel au moins l'évaporateur haute pression (11) et l'échangeur thermique (41) forme un module unitaire d'échange thermique (50).
- 11- Système d'alimentation (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel au moins l'évaporateur haute pression (11), le deuxième échangeur de chaleur (7)
- 10 et l'échangeur thermique (41) forme un module unitaire d'échange thermique (50).
- 12- Système d'alimentation (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant une branche de traitement thermique (33) du gaz à l'état vapeur circulant dans la ligne de retour (14), la branche de traitement thermique (33) étant raccordée au deuxième circuit d'alimentation (3) en amont du dispositif de
- 15 compression (13), le système d'alimentation (1) comprenant un troisième échangeur de chaleur (36) configuré pour opérer un échange de chaleur entre le gaz à l'état vapeur circulant dans la branche de traitement thermique (33) et le gaz à l'état vapeur circulant dans la ligne de retour (14).
- 13- Procédé de contrôle d'un système d'alimentation (1) selon l'une quelconque des
- 20 revendications précédentes, au cours duquel :
- à une étape de détermination, on détermine la température du gaz à l'état vapeur prélevé dans la cuve (8), puis
 - on fait circuler le gaz à l'état vapeur au sein de la branche de refroidissement (40) si la température du gaz à l'état vapeur déterminée à l'étape de détermination est

25 supérieure à un seuil de référence ou,

 - on fait circuler le gaz à l'état vapeur au sein du deuxième circuit d'alimentation (3) si la température du gaz à l'état vapeur déterminée à l'étape de détermination est inférieure au seuil de référence.

- 14- Procédé de contrôle selon la revendication précédente, au cours duquel le seuil de référence est égale à -90°C , le procédé comprenant un étape de condensation du gaz à l'état vapeur circulant dans la ligne de retour (14).
- 15- Procédé de contrôle selon la revendication précédente, au cours duquel le seuil
- 5 de référence est supérieure ou égale à -150°C , le procédé comprenant un étape d'alimentation de l'appareil consommateur de gaz à basse pression (5) via le deuxième circuit d'alimentation (3).