

DISPOSITIF ET PROCEDE DE REFROIDISSEMENT DE GAZ LIQUEFIE ET/OU DE GAZ D'EVAPORATION NATURELLE DE GAZ LIQUEFIE

DOMAINE TECHNIQUE

5 L'invention concerne un dispositif et un procédé de refroidissement de gaz liquéfié et/ou de gaz d'évaporation naturelle de gaz liquéfié pour une installation de production d'énergie, en particulier embarquée sur un navire, tel qu'un navire de transport de gaz liquéfié ou dont des machines fonctionnent au gaz liquéfié.

10

ETAT DE L'ART

L'état de l'art comprend notamment le document EP-A1 2 670 274.

Afin de transporter plus facilement du gaz, tel que du gaz naturel, sur de longues distances, le gaz est généralement liquéfié (pour devenir du gaz naturel liquéfié - GNL) en le refroidissant à des températures cryogéniques, par exemple -163°C à la pression atmosphérique. Le gaz liquéfié est ensuite chargé dans des navires spécialisés.

Dans un navire de transport de gaz liquéfié, par exemple du type méthanier, une installation de production d'énergie est prévue pour pourvoir aux besoins énergétiques du fonctionnement du navire, notamment pour la propulsion du navire et/ou la production d'électricité pour les équipements de bord.

Une telle installation comprend couramment des machines thermiques consommant du gaz provenant d'un évaporateur que l'on alimente à partir de la cargaison de gaz liquéfié transportée dans le ou les réservoirs du navire.

Le document FR-A-2 837 783 prévoit d'alimenter un tel évaporateur et/ou d'autres systèmes nécessaires à la propulsion à l'aide d'une pompe immergée au fond d'un réservoir du navire.

Afin de limiter l'évaporation du gaz liquéfié, il est connu de le stocker sous pression dans le réservoir de manière à se déplacer sur la courbe d'équilibre liquide-vapeur du gaz liquéfié considéré, augmentant ainsi sa température de vaporisation. Le gaz liquéfié peut ainsi être stocké à des

températures plus importantes ce qui a pour effet de limiter l'évaporation du gaz.

L'évaporation naturelle du gaz est toutefois inévitable, ce phénomène étant appelé NBOG qui est l'acronyme de l'anglais *Natural Boil-Off Gas* (par opposition à l'évaporation forcée de gaz ou FBOG, acronyme de l'anglais *Forced Boil-Off Gas*). Le gaz qui s'évapore naturellement dans le réservoir d'un navire est en général utilisé pour alimenter l'installation précitée. Dans le cas (premier cas) où la quantité de gaz évaporé naturellement est insuffisante pour la demande en gaz combustible de l'installation, la pompe immergée dans le réservoir est actionnée pour fournir davantage de gaz combustible après évaporation forcée. Dans le cas (second cas) où la quantité de gaz évaporé est trop importante par rapport à la demande de l'installation, l'excédent de gaz est en général brûlé dans une unité de combustion de gaz, ce qui représente une perte en gaz combustible.

Dans la technique actuelle, le perfectionnement des réservoirs sont tels que les taux d'évaporation naturelle (BOR – acronyme du *Boil-Off Rate*) des gaz liquéfiés sont de plus en plus faibles, alors que les machines d'un navire sont de plus en plus performantes. Ceci a pour conséquence, dans chacun des premier et second cas précités, que l'écart est très important entre la quantité de gaz naturellement produit par évaporation et celle demandée par l'installation d'un navire.

Par conséquent, il existe un intérêt croissant pour des solutions de refroidissement du gaz liquéfié contenu dans un réservoir de stockage et gestion du BOG généré dans ce réservoir, comme par exemple des unités de re-liquéfaction ou de refroidissement, telles que celles décrites dans la demande WO-A1-2016/075399. L'idée à la base de ce document est de proposer un dispositif de refroidissement d'un gaz liquéfié permettant de limiter l'évaporation naturelle du gaz liquéfié tout en le conservant dans un état thermodynamique permettant son stockage de manière durable. Cependant, la technologie à échangeur de chaleur décrite dans ce document est coûteuse et peu efficace, et présente d'autres inconvénients qui seront détaillés dans ce qui suit.

Par ailleurs, plusieurs paramètres influent sur la génération de NBOG, comme les mouvements de liquide et les conditions ambiantes. Les besoins énergétiques dans un navire varient également beaucoup, selon l'opération effectuée ou la vitesse de navigation. Par conséquent, il peut s'avérer difficile
5 de mettre en place une solution efficace de gestion de BOG car la quantité de NBOG en excès peut varier énormément.

La présente invention propose un perfectionnement à la technique actuelle, qui est simple, efficace et économique.

10 EXPOSE DE L'INVENTION

Selon un premier aspect, l'invention propose un dispositif de refroidissement de gaz liquéfié, en particulier pour une installation de production d'énergie embarquée sur un navire, caractérisé en ce qu'il comprend :

- 15 - de manière facultative, un réservoir principal de stockage de gaz liquéfié,
- un premier ballon de séparation de gaz liquéfié refroidi, dont une entrée est reliée à une première extrémité d'une première conduite dont une seconde extrémité est destinée à être immergée dans le gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal, de préférence en fond de cuve, ladite première conduite
20 étant apte à alimenter ledit premier ballon en gaz liquéfié,
- des moyens de mise en dépression dudit premier ballon par rapport audit réservoir principal, qui sont configurés pour appliquer dans ledit premier ballon une pression de fonctionnement inférieure à la pression dans ledit réservoir principal,
- 25 - des moyens de vaporisation, équipant ladite première conduite et/ou ladite entrée dudit premier ballon, de façon à ce qu'au moins une partie du gaz liquéfié alimentant ledit premier ballon, dite gaz vaporisé, soit vaporisée et qu'au moins une autre partie (par exemple : le reste) de ce gaz liquéfié, dite gaz liquéfié refroidi, soit refroidie à la température de saturation à ladite pression de
30 fonctionnement dans ledit premier ballon, ledit premier ballon étant configuré pour séparer ledit gaz vaporisé et ledit gaz liquéfié refroidi, et

- des moyens d'alimentation dudit réservoir principal en ledit gaz liquéfié refroidi contenu dans ledit premier ballon, afin de refroidir le gaz, liquéfié et/ou sous forme de gaz, contenu dans ledit réservoir principal.

C'est ici le gaz liquéfié qui est refroidi, ou plutôt davantage refroidi par rapport à ce qu'il l'est déjà, et destiné à être utilisé pour refroidir et maîtriser la température du gaz liquéfié contenu dans le réservoir principal.

Le premier ballon agit comme un évaporateur sous vide (ESV) et est associé au premier compresseur qui agit comme un compresseur d'évaporation sous vide. De manière connue, la vaporisation ou dépressurisation d'un gaz entraîne une libération d'énergie frigorifique. Les moyens de vaporisation peuvent donc être assimilés à des moyens de refroidissement. Par ailleurs, des moyens de vaporisation, des moyens de dépression et des moyens de dépressurisation, ont des significations similaires voire identiques au sens de l'invention. Selon l'invention, des moyens de vaporisation équipent la première conduite et/ou l'entrée de connexion de cette première conduite au premier ballon. Le premier ballon peut en outre former des moyens de vaporisation (complémentaire), comme cela sera expliqué dans ce qui suit.

L'invention propose ainsi de remplacer l'échangeur de la technique antérieure par un évaporateur sous vide, ce qui permet d'obtenir une puissance frigorifique plus importante et donc d'améliorer l'efficacité du refroidissement du gaz, liquéfié et/ou sous forme de gaz, contenu dans le réservoir principal.

Le réservoir principal est facultatif dans la mesure où il peut être considéré comme faisant partie ou non du dispositif selon l'invention. Le dispositif peut par exemple être livré sans réservoir principal qui ne fait donc pas partie du dispositif. En variante, le dispositif une fois monté sur un navire par exemple, est associé à un réservoir principal qui fait donc partie du dispositif selon l'invention.

Avantageusement, il n'y pas d'échangeur de chaleur (dont l'inconvénient est d'engendrer une perte de froid par pincement) intervenant durant l'étape de détente ou de vaporisation. Dans la technique antérieure, avec l'utilisation d'un tel échangeur de chaleur, toute la partie légère est totalement évaporée grâce notamment à l'échangeur qui évapore la partie légère du gaz restée liquide

après la dépressurisation. Toutefois, la dépressurisation et l'échangeur ne sont pas suffisants pour évaporer également les lourds.

Dans la présente demande, on entend par lourds et légers, respectivement les gaz lourds ou de masses molaires élevées et les gaz légers ou de masses molaires faibles. Dans un mode de réalisation, le gaz liquéfié est du gaz naturel liquéfié. Dans ce cas, un gaz léger est le méthane. Dans du gaz naturel liquéfié, il peut aussi y avoir un peu d'azote dans la partie légère. La partie lourde minoritaire comporte, par exemple pour le gaz liquéfié du propane, du butane et de l'éthane (qui s'évapore donc à une température supérieure ou à une pression inférieure par exemple à la pression de fonctionnement). Dans le gaz liquéfié, les lourds représentent entre 5,2% et 49.8% de la masse totale de gaz liquéfié. Les lourds ont par exemple des masses molaires entre 25 et 500% plus importantes que celles des légers).

Les améliorations apportées par ce dispositif sont nombreuses et sont par exemple les suivantes:

- une architecture plus simple, un contrôle plus simple et une utilisation plus sûre grâce à un procédé de refroidissement qui peut avoir lieu intégralement en dehors du réservoir principal,
- une meilleure efficacité du fait de la suppression du pincement qui peut avoir lieu avec un échangeur de la technique antérieure, tel que celui décrit dans la demande WO-A1-2016/075399 ; compte tenu des pressions de fonctionnement et des chutes de température associées, un pincement de 1 à 2 ° C représente une perte de puissance froide générée autour de 15%,
- la puissance frigorifique est générée sous forme de gaz liquéfié refroidi qui peut être acheminé et utilisé en fonction des besoins, voire stockée pour une utilisation ultérieure ; ceci est particulièrement avantageux puisque cette puissance peut être générée en récupérant l'énergie de gaz d'évaporation forcée pendant les phases manquantes de NBOG correspondant à des phases où de la puissance chaude plutôt que de la puissance froide est nécessaire,
- a contrario, en considérant les dimensions typiques d'un réservoir principal, en particulier de navire, le volume de gaz stocké dans un tel réservoir, et les tailles des équipements de refroidissement requis tels que décrits dans la demande

antérieure précitée, la puissance froide récupérée avec ces équipements n'est pas suffisante pour son stockage et son utilisation ultérieure,

- le gaz liquéfié est destiné à subir une séparation de phases dans le ballon, seul du gaz, pouvant être utilisé dans l'installation, étant destiné à être aspiré
5 par les moyens de dépression tels qu'un compresseur ; aucune gouttelette ne risque ainsi d'être aspirée par le compresseur, ce qui pourrait l'endommager ; en considérant les plages de pression de fonctionnement, les températures et compositions de gaz liquéfié, dans la plupart des cas, le gaz liquéfié ne sera pas complètement vaporisé dans un échangeur de chaleur tel que celui décrit
10 dans la demande antérieure précitée ; par exemple, le ratio de liquide dans l'architecture initiale à 120mbara est compris entre 0,12 et 32%, et à 800mbara (il n'est pas possible de considérer une pression à 950mbara comme proposé dans la demande antérieure en raison du pincement dans l'échangeur), il est compris entre 0,8 et 92% (fortes variations dues à différentes compositions de
15 gaz liquéfié),
 - dans la demande antérieure, tout le flux nécessaire à l'alimentation de l'installation, c'est-à-dire à destination du consommateur, doit passer par un compresseur, ce qui n'est pas forcément le cas dans l'invention où seule la quantité de gaz d'évaporation forcée nécessaire est utilisée pour compléter la
20 quantité produite de gaz d'évaporation naturelle ; ainsi, la capacité du compresseur est réduite, ce qui permet de réduire les coûts d'investissement initiaux et les frais d'exploitation ; de plus, comme chaque composant du dispositif introduit des pertes, il est plus efficace globalement de limiter les débits circulant dans le dispositif ; enfin, le dispositif proposée se raccorde
25 facilement à une installation de consommation classique d'un navire, limitant par conséquent l'impact sur l'environnement existant et accordant plus de souplesse à la conception des machines fonctionnant au gaz combustible d'un navire ;
 - le ballon est de préférence situé en dehors du réservoir principal, facilitant et
30 sécurisant le dispositif.

Dans l'ensemble, par rapport au dispositif habituel installé sur un navire où du BOG supplémentaire est généré en alimentant en gaz liquéfié un

échangeur de chaleur au moyen d'une pompe, le dispositif réduit ici l'énergie totale dépensée pour la vaporisation de 31 à 38%. Le but principal est de générer du froid en récupérant l'énergie de vaporisation qui est typiquement une dépense dans un navire. En fonction des caractéristiques du navire, notamment du profil de vitesse de navigation, de l'efficacité de ses machines, etc., le dispositif permet de générer une puissance frigorifique jusqu'à 175% de la chaleur produite lors d'un voyage du navire (y compris le retour incluant l'exploitation commerciale et l'attente d'entrée d'un canal).

La pression dans le réservoir principal peut varier selon la profondeur dans le réservoir en raison de la pression hydrostatique.

Dans la présente demande, on entend par « fond » de réservoir ou de cuve, une position située à moins d'un mètre d'une paroi de fond du réservoir, cette paroi de fond étant la paroi du réservoir la plus proche du centre de la terre en fonctionnement. La ou les pompes sont de préférence aussi proches du fond que possible pour fonctionner jusqu'au plus bas niveau de remplissage possible (la distance par rapport au fond est limitée par le fait qu'une pompe trop proche du fond peut avoir des difficultés à s'amorcer).

Le dispositif selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :

- ledit premier ballon est un ballon de séparation et/ou de détente ;
- au moins une partie dudit premier ballon, et/ou au moins une partie de ladite première conduite, et/ou au moins une partie desdits moyens de vaporisation, est/sont logé(e)s ou destiné(e)s à être logé(e)s dans ledit réservoir principal ;
- ledit premier ballon est configuré pour être alimenté uniquement en gaz liquéfié ;
- la pression du gaz liquéfié dans ladite première conduite est de préférence supérieure à la pression hydrostatique engendrée par la portion immergée de cette première conduite dans ledit réservoir principal ;
- le diamètre de ladite première conduite, avant lesdits moyens de dépressurisation, est de préférence le moins important possible pour limiter le

refroidissement du gaz liquéfié dans cette conduite (limite la déperdition de froid) ;

- ladite première conduite est de préférence configurée de façon à ce que le gaz liquéfié prélevé dans ledit réservoir principal reste liquide jusqu'auxdits
5 moyens de dépressurisation ; bien que la pression baisse dans la première conduite du fait que la pression hydrostatique due à la hauteur d'immersion dans le réservoir principal diminue, la pression reste suffisamment élevée pour que tout le gaz reste liquide ;
- la pression dans la première conduite, à l'entrée des moyens de
10 dépressurisation, est par exemple de 1 bar environ ; le gaz liquéfié n'ayant que peu réchauffé dans la première conduite, il reste toujours à une température où il est liquide à environ 1 bar (par exemple à environ -160°C) ;
- lesdits moyens de vaporisation comprennent une vanne, par exemple JT ou Joule-Thomson et/ou une portion de la première conduite, située en
15 particulier en aval de la vanne ;
- la vaporisation du gaz liquéfié prélevé a préférentiellement lieu (majoritairement ou à plus de 80%, voire 90%) juste après la vanne, dans ladite portion de première conduite ; le gaz liquéfié est refroidi également dans cette portion de conduite en raison de la dépression par effet de « flash »
20 évaporation (dépression spontanée) ;
- cette portion de conduite peut être d'un diamètre supérieur à la portion de première conduite située avant la vanne, en particulier de façon à avoir un débit suffisant) car le gaz vaporisé occupe plus de volume ;
- en variante, la vaporisation peut avoir lieu majoritairement ou presque
25 uniquement (à plus de 80%) dans ledit premier ballon, si la portion de canalisation entre la vanne et le premier ballon est réduite ou nulle ; dans ce cas, sauf si le premier ballon est d'un volume suffisant, on peut ne pas avoir de fonctionnement en continu ; il faudrait donc attendre que la fin du phénomène d'évaporation et de refroidissement du gaz liquéfié ait lieu, à une température
30 juste en dessous de la température d'ébullition à la nouvelle pression, après dépression ("flash") pour vider le premier ballon, en particulier dans le réservoir secondaire mentionné plus bas ; on pourrait d'ailleurs dans ce cas notamment

remplacer la vanne, par exemple JT, par une simple vanne à deux états (tout ou rien c'est à dire 100% fermée/100% ouverte) ;

- lesdits moyens de mise en dépression comprennent au moins un premier compresseur dont une entrée est reliée à une première sortie de gaz dudit premier ballon, et dont une sortie est apte à fournir du gaz combustible, en particulier à ladite installation, ledit premier compresseur étant apte à aspirer au moins une partie dudit gaz vaporisé dans ledit premier ballon et à appliquer dans ledit premier ballon ladite pression de fonctionnement ; en variante ou en caractéristique additionnelle, les moyens de mise en dépression comprennent au moins une pompe dont une entrée est reliée à une sortie de liquide dudit premier ballon ; dans cette variante, au moins un compresseur pourrait être utilisé pour aspirer le gaz vaporisé contenu dans ledit premier ballon ;

- lesdits moyens d'alimentation comprennent une seconde conduite dont une première extrémité est reliée à une seconde sortie de gaz liquéfié refroidi dudit premier ballon, et dont au moins une seconde extrémité destinée à déboucher dans ledit réservoir principal, ladite seconde conduite étant apte à injecter d'au moins une partie dudit gaz liquéfié refroidi provenant dudit premier ballon dans ledit réservoir principal ; la liaison du premier ballon audit réservoir principal, au moyen de ladite seconde conduite, peut être directe ou indirecte ; autrement dit, la seconde conduite peut comprendre ou être associée à d'autres composants de communication fluide ou bien divisée en tronçons entre lesquels sont disposés de tels composants ; ceci peut être le cas de l'ensemble des conduites évoquées dans le contexte de l'invention ;

- du gaz, sous forme liquide et/ou gazeuse, peut être injecté dans ledit réservoir principal, en particulier au moyen de ladite seconde conduite ; un mélange de gaz et de vapeur peut être injecté dans le réservoir principal ; si ce mélange est réinjecté en fond de cuve, la partie gazeuse du mélange aura tendance à se recondenser sous l'effet de la pression hydrostatique du gaz et de la température du gaz naturel liquéfié dans le réservoir principal ; ceci peut entraîner un ralentissement de la baisse de pression dans le réservoir principal ;

- le dispositif comprend

- une première pompe reliée à ladite seconde extrémité de ladite première conduite, et destinée à être immergée dans ledit gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal, de préférence en fond de cuve, de façon à forcer la circulation de gaz liquéfié à travers ladite première conduite jusqu'audit premier ballon, ; en variante, le dispositif est dépourvu d'une telle première pompe ;
- 5 c'est par exemple le cas lorsque le premier ballon et la première conduite sont dans ledit premier réservoir ;
- le dispositif comprend une seconde pompe reliée à ladite seconde conduite de façon à forcer la circulation d'au moins une partie dudit gaz liquéfié refroidi à
 - 10 travers ladite seconde conduite depuis ledit premier ballon jusqu'audit réservoir principal ; en variante, cette seconde pompe ne serait pas nécessaire, par exemple dans le cas d'un fonctionnement discontinu où la premier ballon serait alimenté en gaz liquéfié jusqu'à un niveau de remplissage prédéterminé, il serait ensuite mis en dépression pour engendrer un refroidissement du gaz
 - 15 liquéfié et une évaporation partielle, ce qui entraînerait une montée en pression dans ledit premier ballon jusqu'à une valeur sensiblement proche de la pression dans le réservoir principal, suffisante pour rendre la seconde pompe facultative ;
 - la première conduite est équipée d'une vanne tout ou rien, et apte à être
 - 20 fermée par exemple lorsqu'une dépression est créée dans ledit premier ballon ;
 - la première ou la seconde pompe peut être une pompe à carburant ou une pompe d'assèchement équipant le navire ; ce type de pompe est typiquement apte à fournir un débit maximum de l'ordre de 25-30t/h ; en variante, une pompe de plus haut débit maximum peut être utilisé, en particulier
 - 25 pour la première pompe, qui serait par exemple apte à fournir un débit maximum de 300t/h, voir de préférence jusqu'à 2500t/h ;
 - l'ensemble formé par le premier ballon, le premier compresseur et la première pompe, agit comme des moyens d'évaporation sous vide (ou un évaporateur sous vide - ESV) ; de manière générale, dans la présente
 - 30 invention, l'ensemble formé par un ballon, un compresseur et une pompe, est assimilé à des moyens d'évaporation sous vide ;

- les moyens de vaporisation sont de préférence configurés pour abaisser la pression du gaz jusqu'à la pression de fonctionnement du premier ballon ;
- ladite seconde sortie dudit premier compresseur est reliée à une entrée d'un second compresseur dont une sortie est apte à alimenter en gaz
5 combustible ladite installation ;
- ladite seconde conduite comprend ou est reliée à un plongeur destiné à être immergé dans le gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal, et/ou une rampe de pulvérisation dans ledit réservoir principal, en vue de l'injection de gaz liquéfié refroidi dans ledit réservoir principal ; l'injection de gaz liquéfié
10 refroidi peut donc être réalisé dans le gaz et/ou dans le gaz liquéfié contenu dans le réservoir principal ;
- ladite seconde sortie dudit premier ballon est reliée à une première entrée d'un réservoir secondaire, de façon à alimenter ce réservoir en gaz liquéfié refroidi et à stocker du gaz liquéfié refroidi dans ce réservoir ;
- 15 - le réservoir secondaire est configuré pour contenir ledit gaz liquéfié refroidi à une pression supérieure à ladite pression de fonctionnement dans ledit premier ballon ; le réservoir secondaire est ainsi en surpression par rapport au premier ballon, et est par exemple à la pression atmosphérique ; le réservoir secondaire peut donc être moins cher d'autant qu'il peut être destiné à
20 stocker un volume important de gaz ; c'est un avantage de ce réservoir secondaire ; ainsi, le gaz refroidi pourrait être accumulé dans le premier ballon lorsque les besoins de l'installation sont supérieurs à l'évaporation naturelle, puis être déversé dans la cuve principale de manière à ralentir l'évaporation naturelle lorsque les besoins de l'installation sont inférieurs à l'évaporation
25 naturelle ;
- le gaz liquéfié refroidi contenu dans ledit réservoir secondaire peut être considéré comme du gaz liquéfié sous-refroidi ; « sous-refroidi » signifie que le gaz est à une température strictement inférieure à la température d'ébullition (c'est-à-dire à la température de saturation) à la pression à laquelle le gaz est
30 soumis ; dans le réservoir secondaire, le gaz liquéfié est à une pression telle qu'il peut être considéré comme sous-refroidi ;

- le réservoir secondaire agit comme un échangeur de chaleur de refroidissement de fluide, en particulier de BOG ;
- ladite seconde pompe est située entre ladite seconde sortie dudit premier ballon et ladite première entrée dudit réservoir secondaire ;
- 5 - ledit réservoir secondaire comprend une première sortie d'au moins une partie dudit gaz liquéfié refroidi reliée à ladite seconde conduite, ladite seconde conduite étant apte à acheminer au moins une partie dudit gaz liquéfié refroidi depuis ledit réservoir secondaire jusqu'audit réservoir principal ;
- ledit dispositif comprend au moins un circuit d'échange de chaleur
- 10 configuré pour refroidir un fluide circulant dans ledit circuit par au moins une partie du gaz liquéfié refroidi stocké dans ledit réservoir secondaire ou provenant dudit réservoir secondaire ; ce circuit d'échange de chaleur peut être situé dans le réservoir secondaire, être accolé ou associé au réservoir secondaire, ou être espacé de ce réservoir secondaire ; une canalisation de
- 15 gaz liquéfié refroidi peut par exemple être utilisée pour alimenter ledit circuit d'échange de chaleur, qui peut faire partie d'un échangeur à part entière ; en variante, le gaz liquéfié refroidi utilisé pour refroidir le fluide circulant dans ledit circuit d'échange de chaleur, pourrait provenir d'une autre source, tel que le réservoir principal ou le premier ballon par exemple ;
- 20 - l'association dudit réservoir secondaire et dudit circuit d'échange de chaleur permet de retraiter l'évaporation naturelle, avec un très bon rendement, puisque le pincement relatif à l'échangeur est petit devant la différence de température entre l'évaporation naturelle (le gaz en phase vapeur à l'entrée du réservoir secondaire à une température par exemple comprise entre -80°C et -
- 25 160°C ou plus précisément entre -100 et -140°C) et le gaz liquide, grâce au fait notamment que le gaz liquide est refroidi ; bien entendu, on aurait le même avantage avec un échange avec le gaz refroidi dudit premier ballon ou de la cuve principale en l'absence de réservoir secondaire ; en d'autres termes, du gaz liquéfié refroidi peut être stocké dans le réservoir secondaire, le premier
- 30 ballon et/ou le réservoir principal ;
- ledit circuit d'échange de chaleur comprend une entrée reliée à une sortie de gaz d'évaporation naturelle dudit réservoir principal ; dans ce contexte,

ledit circuit d'échange de chaleur peut permettre de retraiter l'évaporation naturelle du réservoir principal, avec un très bon rendement, puisque le pincement relatif à l'échangeur serait petit devant la différence de température entre l'évaporation naturelle et le gaz liquide, grâce au fait notamment que le

5 gaz liquide est refroidi ;

- ladite entrée dudit circuit est reliée à ladite sortie d'au moins un compresseur, tel que ledit premier ou second compresseur, qui est alimenté en gaz d'évaporation naturelle provenant de ladite sortie dudit réservoir principal ; le gaz d'évaporation naturelle est ainsi compressée (ce qui augmente sa

10 température) avant de passer dans l'échangeur ou le circuit d'échange avec le gaz liquide refroidi ;

- ladite entrée dudit circuit est reliée à ladite sortie d'au moins un compresseur, tel que ledit premier ou second compresseur, par un circuit primaire d'un premier échangeur de chaleur, ledit premier échangeur de chaleur

15 comportant un circuit secondaire dont une entrée est reliée à ladite sortie de gaz d'évaporation naturelle dudit réservoir principal, et dont une sortie est reliée à ladite entrée dudit premier ou second compresseur ; le gaz d'évaporation naturelle prélevé dans le réservoir principal va être réchauffé lors de son passage dans ledit circuit secondaire, ce qui n'est pas gênant dans le mesure

20 où il doit de toute façon être réchauffé s'il est utilisé pour alimenter l'installation ; avantageusement, un échange préalable a lieu (l'échange doit être préalable puisque le gaz d'évaporation naturelle est moins froid que le gaz liquidé refroidi) entre la totalité du gaz d'évaporation naturelle (dont une partie alimente l'installation) et une partie compressée de ce gaz d'évaporation naturelle (le

25 surplus au-delà de la consommation de l'installation qui est recondensé) ;

- ledit circuit d'échange de chaleur comprend une sortie reliée à une entrée d'un second ballon, ledit second ballon comportant une première sortie de gaz liquéfié refroidi relié à ladite seconde conduite en vue de l'injection de gaz liquéfié refroidi dans ledit réservoir principal ; en variante, le dispositif

30 pourrait être configuré pour réinjecter dans le réservoir principal, par exemple en fond de cuve, une partie gazeuse du mélange, qui aura tendance à se

recondenser sous l'effet de la pression hydrostatique du gaz et de la température du gaz liquéfié dans le réservoir principal ;

- ledit second ballon est un ballon et/ou de séparation de phases;
- ladite sortie dudit circuit est reliée à ladite entrée dudit second ballon par une vanne, telle qu'une vanne à effet Joule-Thomson (dont l'acronyme est JT), en vue de la diminution de la température du gaz par expansion adiabatique ; le gaz d'évaporation naturelle peut ainsi être détendu ; la compression/dépression, de part et d'autre de l'échangeur ou du circuit d'échange de chaleur, peut permettre d'obtenir une température du gaz d'évaporation naturelle plus basse, et donc de condenser plus de gaz d'évaporation naturelle ;
- le dispositif comprend un second échangeur de chaleur dont un circuit primaire a une entrée reliée à une sortie d'une troisième pompe destinée à être immergée dans le gaz liquéfié dudit réservoir principal, et une sortie dudit gaz liquéfié refroidi, et un circuit secondaire a une entrée reliée à ladite première conduite et une sortie reliée à l'entrée dudit premier ballon ;
- ledit second échangeur de chaleur n'est pas immergé dans le gaz liquéfié dudit réservoir principal, ni monté dans ledit réservoir principal ;
- la sortie du circuit primaire dudit second échangeur de chaleur est reliée à une entrée dudit réservoir secondaire, en vue de l'alimentation en gaz liquéfié refroidi dudit réservoir secondaire ;
- le dispositif est dépourvu de composants autres que des pompes et/ou des conduites, immergées dans le gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal ;
- ledit gaz liquéfié comprend au moins une partie dite pure comprenant un gaz ou corps pur et ledit gaz liquéfié refroidi et ledit gaz vaporisé comprennent ladite au moins une partie pure. Dans le cas où le gaz liquéfié est du gaz naturel liquéfié, une telle partie pure peut être constituée de méthane.

Dans la présente demande, on entend par « pur », un corps ou une espèce chimique unique, par opposition à un mélange de corps ou d'espèces.

- Ledit gaz pur est par exemple un gaz léger ou un gaz lourd.

La présente invention concerne encore un navire, en particulier de transport de gaz liquéfié, comportant au moins un dispositif tel que décrit ci-dessus.

La présente invention concerne encore un procédé de refroidissement de gaz liquéfié pour une installation de production d'énergie, en particulier embarquée sur un navire, au moyen d'un dispositif tel que décrit ci-dessus, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape A de prélèvement de gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal, ledit gaz liquéfié étant prélevé dans ladite première conduite à une température de prélèvement,
- une étape B de détente dudit gaz prélevé, à une pression de détente inférieure à une pression de vapeur saturante dudit gaz prélevé à ladite température de prélèvement, de manière à ce qu'une partie dudit gaz prélevé se vaporise sous l'effet de la détente, et à ce qu'une partie restante dudit gaz prélevé reste liquide et soit refroidie à une température inférieure à celle de ladite température de prélèvement, en particulier du fait que ledit gaz prélevé soit refroidi à une température de saturation à ladite pression de détente,
- une étape C de remplissage dudit premier ballon en gaz liquéfié et de séparation, en particulier par gravité, dans ledit ballon dudit gaz vaporisé par rapport audit gaz liquide refroidi,
- une étape D d'alimentation de ladite installation avec au moins une partie dudit gaz vaporisé contenu dans ledit premier ballon, et
- une étape E de refroidissement du gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal au moyen de gaz liquéfié refroidi contenu dans ledit premier ballon, afin de refroidir le gaz contenu dans ledit réservoir principal.

La pression de vapeur saturante est la pression à laquelle la phase gazeuse d'une substance est en équilibre avec sa phase liquide ou solide à une température donnée dans un système fermé.

Selon l'invention, au lieu d'utiliser la dépression et le refroidissement dans une enceinte de vaporisation et l'échange de chaleur entre cette enceinte de vaporisation et le gaz liquéfié dans un ballon, pour refroidir le gaz liquéfié déversé dans le réservoir principal, on utilise une évaporation flash dans le

ballon, dont la résultante liquide refroidie est renvoyée au réservoir principal. L'avantage est principalement la suppression du pincement de l'échange de chaleur entre l'enceinte de vaporisation et le gaz liquéfié du ballon.

Selon un mode de réalisation, le prélèvement de gaz liquéfié est
5 constitué d'un gaz pur, par exemple du méthane. Dans ce cas, le gaz liquéfié circulant dans ladite première conduite peut être constitué d'un mélange comprenant ce gaz pur, par exemple du gaz naturel liquéfié comprenant du méthane.

Le procédé selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des
10 étapes ou caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :

- l'étape E comprend l'injection de gaz liquéfié refroidi dans ledit réservoir principal, par circulation dans ladite seconde conduite, afin de refroidir le gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal;
- 15 - le procédé comprend une étape de pulvérisation de gouttelettes de gaz liquéfié refroidi dans le gaz contenu dans ledit réservoir principal, ce gaz étant situé au-dessus du niveau de gaz liquéfié contenu dans le réservoir principal,
- le procédé comprend une étape de compression de gaz sortant de ladite première sortie dudit premier ballon ;
- 20 - la pression dans ledit premier ballon est comprise entre 120 et 950mbara, et/ou la pression dans ledit réservoir principal est comprise entre 20 et 700mbarg, entre 20 et 350mbarg, ou entre 20 et 250mbarg, en particulier pour un réservoir atmosphérique, et est à une pression allant jusqu'à 10mbara pour un réservoir sous pression, et/ou la détente entraîne une fraction
25 d'évaporation comprise entre 0,94 et 15,18%, et/ou le débit dans la première conduite est compris entre 18,09 et 374,7/h, et/ou le débit de production de gaz liquéfié refroidi dans ledit premier ballon est compris entre 15,35 et 371,6t/h, et/ou le réservoir secondaire a un volume interne ou une capacité comprise entre 1312 et 86037m³, et/ou la température du gaz refroidi, après prélèvement de
30 gaz liquéfié ou de gaz d'évaporation naturelle, et refroidissement de ce gaz, est compris entre -159 et -180,4°C, et/ou la détente de gaz d'évaporation naturelle comprimé entraîne une fraction d'évaporation comprise entre 81,63 et 100% ;

- le procédé comprend une étape de préchauffage de gaz liquéfié prélevé dans ledit réservoir principal par échange de chaleur avec le fluide circulant dans ledit circuit primaire, après la détente et avant l'injection dudit gaz liquéfié qui peut être partiellement ou complètement vaporisé dans ledit premier ballon ;
- 5 - le procédé comprend une étape de prérefroidissement de gaz liquéfié prélevé dans ledit réservoir principal, par échange de chaleur avec le fluide circulant dans ledit circuit secondaire, avant son injection dans ledit réservoir secondaire ;
- le procédé comprend une étape de refroidissement de gaz sortant dudit premier ou second compresseur par échange de chaleur avec le gaz liquéfié refroidi contenu dans ledit réservoir secondaire ;
- 10 - le procédé comprend une étape de prérefroidissement du gaz sortant dudit premier ou second compresseur, avant son refroidissement dans ledit réservoir secondaire, par échange de chaleur avec du gaz d'évaporation naturelle prélevé dans ledit réservoir principal ;
- 15 - le procédé comprend une étape de préchauffage du gaz d'évaporation naturelle prélevé dans ledit réservoir principal avant sa compression par ledit premier ou second compresseur ;
- le procédé comprend, avant le remplissage dudit second ballon, une
- 20 étape d'abaissement de la pression et/ou de la température du gaz destiné à alimenter ledit second ballon ;
- le procédé comprend une étape d'injection de gaz liquéfié refroidi dans ledit réservoir principal, au moyen de ladite seconde conduite ; cette injection permet de participer au refroidissement du gaz liquéfié contenu dans le
- 25 réservoir principal, afin de limiter la production de BOG.
- le procédé comprend une étape d'acheminement de gaz depuis ledit second ballon jusqu'audit second compresseur ; ce gaz peut être utilisé dans l'installation après compression.

L'invention concerne également un procédé d'alimentation en gaz
30 combustible d'une installation de production d'énergie, en particulier embarquée sur un navire, au moyen d'un dispositif tel que décrit ci-dessus, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape A de prélèvement de gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal, ledit gaz liquéfié étant prélevé dans ladite première conduite à une température de prélèvement,
- une étape B de détente dudit gaz prélevé, à une pression de détente inférieure à une pression de vapeur saturante dudit gaz prélevé à ladite température de prélèvement, de manière à ce qu'une partie dudit gaz prélevé se vaporise sous l'effet de la détente, et à ce qu'une partie restante dudit gaz prélevé reste liquide et soit refroidie à une température inférieure à celle de ladite température de prélèvement, en particulier du fait que ledit gaz prélevé soit refroidi à une température de saturation à ladite pression de détente,
- une étape C de remplissage dudit premier ballon et de séparation, en particulier par gravité, dans ledit premier ballon, dudit gaz liquéfié par rapport audit gaz liquide refroidi,
- une étape F d'alimentation du réservoir secondaire avec du gaz liquéfié refroidi provenant dudit premier ballon, et de stockage dudit gaz liquéfié refroidi dans ledit réservoir secondaire,
- une étape G de prélèvement de gaz d'évaporation naturelle dans ledit réservoir principal et de préchauffage de ce gaz,
- une étape H de compression à la fois de gaz d'évaporation provenant dudit premier ballon et de gaz d'évaporation naturelle préchauffé,
- une étape I d'alimentation de ladite installation avec lesdits gaz comprimés.

Le procédé selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des étapes ou caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :

- les étapes A, B, C et F sont réalisées en continu ;
- simultanément aux étapes A, B, C et F, simultanément à l'étape G, ou simultanément aux étapes A, B, C, F et G, le procédé comprend une étape de prélèvement de gaz liquéfié refroidi dudit réservoir secondaire et d'injection de ce gaz dans ledit réservoir principal en vue du refroidissement du gaz liquéfié contenu dans ce réservoir principal ;
- l'injection de gaz liquéfié refroidi est réalisée directement dans le gaz liquéfié et/ou dans le gaz d'évaporation dudit réservoir principal ;

Selon un second aspect, l'invention propose un dispositif de refroidissement de gaz d'évaporation naturelle pour une installation de production d'énergie, en particulier embarquée sur un navire, caractérisé en ce qu'il comprend :

- 5 - de manière facultative, un réservoir principal de stockage de gaz liquéfié et comportant une première sortie de gaz d'évaporation naturelle,
- des moyens de prélèvement de gaz liquéfié dans ledit réservoir principal et de refroidissement de ce gaz liquéfié,
- un réservoir secondaire de gaz liquéfié refroidi configuré pour stocker du gaz
- 10 liquéfié refroidi par lesdits moyens de refroidissement, et
- un premier circuit d'échange de chaleur comportant une entrée reliée à ladite première sortie dudit réservoir principal en vue de la circulation de gaz d'évaporation naturelle dans ledit circuit, ledit premier circuit étant configuré pour coopérer avec ledit réservoir secondaire afin que ledit gaz d'évaporation
- 15 naturelle traversant ledit premier circuit soit refroidi par du gaz liquéfié refroidi stocké dans ledit réservoir secondaire ou provenant dudit réservoir secondaire.

Le réservoir principal est facultatif dans la mesure où il peut être considéré comme faisant partie ou non du dispositif selon l'invention. Le dispositif peut par exemple être livré sans réservoir principal qui ne fait donc

20 pas partie du dispositif. En variante, le dispositif une fois monté sur un navire par exemple, est associé à un réservoir principal qui fait donc partie du dispositif selon l'invention.

La solution propose ainsi une amélioration de la gestion du BOG dans un dispositif adapté aux besoins par exemple d'un navire, par refroidissement de ce BOG, et permettant:

25

- de limiter la capacité des moyens utilisés pour le refroidissement à celle nécessaire à la gestion du NBOG excédentaire au lieu de celle nécessaire à la gestion d'un pic de production de NBOG,
- d'optimiser le taux d'utilisation de ces moyens qui peuvent être utilisés en
- 30 continu, la source froide, telle que le gaz liquéfié refroidi, pouvant être stockée si nécessaire,

- de s'assurer que la puissance frigorifique produite est correctement utilisée lorsqu'elle est nécessaire.

La solution est adaptée à tout type de moyens qui refroidissent un fluide. Le fluide est ici du BOG provenant du réservoir, refroidi dans le réservoir
5 secondaire et finalement renvoyé au réservoir où il sera dans un état refroidi.

Le dispositif selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :

- 10 - un premier ballon de séparation dont une entrée est reliée à une sortie dudit premier circuit en vue de l'alimentation dudit premier ballon en gaz d'évaporation naturelle refroidi et en gaz d'évaporation naturelle recondensé formant du gaz liquéfié refroidi, ledit premier ballon comportant une première
15 sortie de gaz d'évaporation naturelle et une seconde sortie de gaz liquéfié refroidi reliée audit réservoir principal en vue de l'injection de gaz liquéfié refroidi dans ledit réservoir principal ;
- ledit second réservoir est configuré pour contenir du gaz liquéfié refroidi à une pression supérieure à une pression de fonctionnement dudit premier ballon ;
- 20 - le dispositif comprend au moins un premier compresseur dont une entrée est reliée à ladite première sortie de gaz d'évaporation naturelle dudit réservoir principal et/ou à ladite première sortie de gaz d'évaporation naturelle dudit premier ballon ;
- lesdits moyens de refroidissement comprennent un second circuit
25 d'échange de chaleur qui est destiné à coopérer par échange de chaleur avec du gaz liquéfié dudit réservoir secondaire ou provenant dudit réservoir secondaire, et dans lequel circule un fluide de refroidissement en vue du refroidissement dudit gaz liquéfié ; du gaz liquéfié refroidi est ainsi directement généré dans ledit réservoir secondaire et la génération de gaz liquéfié refroidi ;
- 30 - lesdits moyens de refroidissement comprennent :
 - un second ballon dont une entrée est reliée à une première extrémité d'une première conduite dont une seconde extrémité est immergée dans

- le gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal, ladite première conduite étant apte à alimenter ledit second ballon en gaz liquéfié, et
- une seconde conduite dont une première extrémité est reliée à une première sortie de gaz liquéfié refroidi dudit second ballon, et dont une
- 5 seconde extrémité est reliée audit réservoir secondaire en vue de l'alimentation en gaz liquéfié refroidi dudit réservoir secondaire ;
- ledit second ballon est un ballon de séparation et/ou de détente ;
 - le dispositif comprend un premier échangeur de chaleur dont un circuit primaire a une entrée reliée à une sortie de gaz liquéfié dudit réservoir principal,
- 10 et une sortie de gaz liquéfié refroidi, et un circuit secondaire a une entrée reliée à ladite première conduite et une sortie reliée à l'entrée dudit second ballon ;
- ledit second échangeur de chaleur n'est pas immergé dans le gaz liquéfié dudit réservoir principal, ni monté dans ledit réservoir principal ;
 - la sortie du circuit primaire dudit second échangeur de chaleur est reliée
- 15 à une entrée dudit réservoir secondaire, en vue de l'alimentation en gaz liquéfié refroidi dudit réservoir secondaire ;
- le dispositif est dépourvu de composants autres que des pompes et/ou des conduites, immergées dans le gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal ;
- 20 - ladite entrée dudit circuit primaire est reliée à une sortie d'une troisième pompe destinée à être immergée dans le gaz liquéfié dudit réservoir principal ;
- le dispositif comprend :
 - une première pompe reliée à ladite seconde extrémité de ladite première
- 25 conduite, et destinée à être immergée dans ledit gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal, de façon à forcer la circulation de gaz liquéfié à travers ladite première conduite depuis ledit réservoir principal jusqu'audit second ballon, et
- une seconde pompe reliée à ladite seconde conduite de façon à forcer la circulation de gaz liquéfié refroidi depuis ledit second ballon jusqu'audit
- 30 réservoir secondaire.
- ladite première conduite inclut lesdits moyens de vaporisation ;

- le dispositif comprend au moins un second compresseur dont une entrée est reliée à ladite première sortie de gaz d'évaporation naturelle dudit réservoir principal ;
- ledit second compresseur comporte une sortie reliée à ladite entrée dudit premier circuit ;
- ladite entrée dudit second compresseur est en outre reliée à une seconde sortie de gaz dudit second ballon et/ou à une seconde sortie de gaz dudit premier ballon ;
- ladite entrée dudit second compresseur est reliée à la sortie dudit premier compresseur ;
- ledit premier ou second compresseur comporte une sortie apte à fournir du gaz combustible, en particulier à ladite installation ;
- ladite entrée dudit premier circuit est reliée à ladite sortie dudit premier ou second compresseur par un circuit primaire d'un second échangeur de chaleur, ledit second échangeur de chaleur comportant un circuit secondaire dont une entrée est reliée à ladite première sortie de gaz d'évaporation naturelle dudit réservoir principal, et dont une sortie est reliée à ladite entrée dudit premier ou second compresseur ;
- ledit réservoir secondaire est reliée à une première extrémité d'une troisième conduite de gaz liquéfié refroidi dont une seconde extrémité est destinée à être reliée audit réservoir principal, ladite troisième conduite étant apte à acheminer au moins une partie dudit gaz liquéfié refroidi depuis ledit réservoir secondaire jusqu'audit réservoir principal ;
- ladite troisième conduite comprend un plongeur destiné à être immergé dans le gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal, et/ou une rampe de pulvérisation située dans ledit réservoir principal, en vue de l'injection de gaz liquéfié refroidi dans ledit réservoir principal ;
- ladite entrée dudit premier circuit est reliée à ladite sortie d'au moins un compresseur, tel que ledit premier ou second compresseur, par un circuit primaire d'un second échangeur de chaleur, ledit second échangeur de chaleur comportant un circuit secondaire dont une entrée est reliée à ladite première sortie de gaz d'évaporation naturelle dudit réservoir principal, et dont une sortie

est reliée à ladite entrée dudit premier ou second compresseur ; il peut ainsi y avoir un échange préalable (l'échange doit être préalable puisque le gaz d'évaporation naturel est moins froid que le gaz liquidé refroidi) entre la totalité du gaz d'évaporation naturelle (dont une partie va à l'installation) et une partie
5 compressée de ce gaz d'évaporation naturelle (le surplus au-delà de la consommation de l'installation qui est recondensé) ;

- le dispositif est dépourvu de composants autres que des pompes et/ou des conduites, immergées dans le gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal.

10 Les effets et les avantages décrits dans ce qui précède en relation avec les caractéristiques du dispositif du premier aspect de l'invention sont naturellement applicables aux mêmes caractéristiques du dispositif du second aspect, et inversement.

La présente invention concerne encore un navire, en particulier de
15 transport de gaz liquéfié, comportant au moins un dispositif tel que décrit ci-dessus.

Le procédé selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des étapes ou caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :

- 20 - le procédé comprend :
- une étape de compression de gaz sortant de ladite première sortie dudit réservoir principal, et/ou
 - une étape de compression de gaz sortant de ladite seconde sortie dudit premier ballon, et/ou
 - 25 ▪ une étape de compression de gaz sortant de ladite seconde sortie dudit second ballon ;
- le procédé comprend une étape de prérefroidissement du gaz comprimé, avant son refroidissement dans ledit réservoir secondaire, par échange de chaleur avec du gaz d'évaporation naturelle prélevé dans ledit réservoir
30 principal et circulant dans ledit circuit secondaire dudit second échangeur ;
- le procédé comprend une étape de préchauffage de gaz d'évaporation naturelle prélevé dans ledit réservoir principal, par échange de chaleur avec le

fluide circulant dans ledit circuit primaire dudit second échangeur, avant la compression de ce gaz ;

- le procédé comprend une étape de refroidissement du gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir secondaire ;
- 5 - le procédé comprend une étape de détente de gaz liquéfié de manière à ce qu'une partie dudit gaz se vaporise sous l'effet de la détente, et à ce qu'une partie restante dudit gaz reste liquide et soit refroidie,
- le procédé comprend une étape de remplissage dudit second ballon et de séparation, en particulier par gravité, dans ledit premier ballon, dudit gaz
- 10 vaporisé par rapport audit gaz liquide refroidi;
- le procédé comprend une étape d'alimentation en gaz liquéfié refroidi dudit réservoir secondaire ;
- le procédé comprend une étape de préchauffage de gaz liquéfié prélevé dans ledit réservoir principal par échange de chaleur avec le fluide circulant
- 15 dans ledit circuit primaire dudit premier échangeur, après la détente et avant l'injection dudit gaz liquéfié dans ledit second ballon ;
- le procédé comprend une étape de refroidissement de gaz liquéfié prélevé dans ledit réservoir principal par échange de chaleur avec le fluide circulant dans ledit circuit secondaire dudit premier échangeur, avant son
- 20 injection dans ledit réservoir secondaire.

Les effets et les avantages décrits dans ce qui précède en relation avec les caractéristiques et étapes du procédé du premier aspect de l'invention sont naturellement applicables aux mêmes caractéristiques et étapes du procédé du second aspect, et inversement.

- 25 L'invention concerne encore un procédé de refroidissement de gaz liquéfié et/ou de gaz d'évaporation de gaz liquéfié pour une installation de production d'énergie, en particulier embarquée sur un navire, au moyen d'un dispositif tel que décrit ci-dessus, caractérisé en ce qu'il comprend :
- une étape A de préparation de gaz liquéfié refroidi dans ledit réservoir
 - 30 secondaire,
 - une étape B de prélèvement de gaz liquéfié refroidi dans ledit réservoir secondaire,

- une étape C d'injection dudit gaz liquéfié refroidi dans ledit gaz d'évaporation et/ou dans ledit gaz liquéfié contenu dans le réservoir principal.

L'invention concerne encore un procédé d'alimentation en gaz combustible d'une installation de production d'énergie, en particulier embarquée sur un navire, au moyen d'un dispositif tel que décrit ci-dessus, caractérisé en ce qu'il comprend la surveillance d'au moins un paramètre de consommation de gaz par ladite installation, et

- lorsque la valeur dudit paramètre est supérieure à un seuil prédéterminé, une étape de préparation et de stockage de gaz liquéfié refroidi, en particulier dans ledit réservoir secondaire,

- lorsque la valeur dudit paramètre est inférieure à un seuil prédéterminé, une étape de recondensation de gaz d'évaporation naturelle produit en excès dans ledit réservoir principal

Le procédé peut comprendre une étape de refroidissement du gaz contenu dans ledit réservoir principal à partir dudit gaz liquéfié refroidi, afin de limiter la production de gaz d'évaporation naturelle.

Le seuil prédéterminé peut éventuellement varier, par exemple au cours d'un voyage du navire. Fonctionnellement, ce seuil peut correspondre au débit de NBOG à soutirer du réservoir principal pour ne pas avoir à contrôler la pression de ce dernier.

Avantageusement, du gaz liquéfié refroidi est préparé lorsque la production de gaz d'évaporation naturelle est insuffisante pour répondre à la consommation de gaz par ladite installation.

De préférence, du gaz liquéfié est refroidi par prélèvement, détente, et séparation de phases de gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal.

Le ralentissement de l'évaporation naturelle peut se faire de plusieurs manières : en déversant le gaz liquide refroidi dans la cuve (par exemple par la rampe de pulvérisation du gaz liquide refroidi dans le réservoir, ou par simple sortie dans le réservoir principal), ou par un échange de froid (c'est à dire par un échangeur) entre le gaz d'évaporation naturelle et le gaz refroidi qui permet la recondensation du gaz d'évaporation naturelle (éventuellement également retournée au réservoir).

Le fait que le gaz liquide soit sous refroidi permet de ne pas engendrer du gaz d'évaporation lorsqu'on souhaite ralentir l'évaporation naturelle. Le stockage permet de pouvoir faire face à des besoins importants en recondensation avec un réservoir secondaire de capacité limitée (par exemple une unité de

5 liquéfaction est très chère et son coût dépend de sa capacité).

En variante, le gaz refroidi est stocké dans le réservoir principal afin de condenser du gaz d'évaporation naturelle dans ce réservoir, en particulier lorsque la quantité disponible de gaz d'évaporation naturelle dans ce réservoir est supérieure au besoin de l'installation. Le gaz refroidi ayant une densité

10 supérieure au reste du gaz dans la cuve principale, il faut donc par exemple refroidir/recondenser le gaz d'évaporation naturelle à partir du gaz liquide au fond du réservoir principal, par exemple au-dessous de la sortie liquide ou de l'échangeur par exemple. On peut par exemple prévoir un échangeur à cet emplacement ou prévoir une canalisation amenant le gaz refroidi stocké à cet

15 emplacement vers un échangeur de chaleur (situé par exemple à l'extérieur du réservoir) avec l'évaporation naturelle.

Avantageusement :

- ledit gaz d'évaporation naturelle est condensé par échange de chaleur avec ledit gaz liquéfié refroidi, et/ou
- 20 - ledit gaz d'évaporation naturelle est compressé avant ledit échange de chaleur, et/ou
- ledit gaz d'évaporation naturelle est décompressé après ledit échange de chaleur, et/ou
- ledit gaz d'évaporation naturelle subit une séparation de phases après
- 25 ladite décompression.

Les caractéristiques et étapes du dispositif et du procédé du premier aspect de l'invention peuvent être combinées avec celles du dispositif et du procédé du second aspect, et inversement.

30 BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

L'invention sera mieux comprise et d'autres détails, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de

la description qui suit, faite à titre d'exemple non limitatif et en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'un premier mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, qui équipe ici un navire,
- 5 - les figures 2 à 6 sont des vues schématiques correspondant à la figure 1 et illustrant des étapes d'un procédé selon l'invention,
- la figure 7 est une vue schématique d'un second mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, qui équipe ici un navire,
- la figure 8 est une vue schématique d'un troisième mode de réalisation d'un
- 10 dispositif selon l'invention, qui équipe ici un navire,
- les figures 9 et 10 sont des vues schématiques d'un quatrième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, qui équipe ici un navire, et illustrant des étapes d'un procédé selon l'invention
- la figure 11 est une vue schématique d'un cinquième mode de réalisation d'un
- 15 dispositif selon l'invention, qui équipe ici un navire,
- la figure 12 est une vue schématique d'un sixième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, qui équipe ici un navire,
- la figure 13 est une vue schématique d'un septième mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, qui équipe ici un navire.

20

DESCRIPTION DETAILLEE

La figure 1 montre un premier mode de réalisation d'un dispositif 10 selon l'invention qui peut être considéré comme permettant un refroidissement de gaz liquéfié et/ou un refroidissement de gaz d'évaporation naturelle de gaz

25 liquéfié.

Le dispositif 10 est particulièrement adapté mais non exclusivement à la fourniture de gaz combustible à un navire, tel qu'un navire de transport de gaz liquéfié. Le dispositif 10 peut ainsi être utilisé pour alimenter en gaz combustible une installation 12 de production d'énergie, en particulier

30 embarquée sur un navire.

Un navire comporte un réservoir 14 ou plusieurs réservoirs 14 de stockage de gaz liquéfié. Le gaz est par exemple du méthane ou un mélange

de gaz comportant du méthane. Le ou chaque réservoir 14 peut contenir du gaz sous forme liquéfié à une pression et une température prédéterminées, par exemple à une pression atmosphérique et une température de l'ordre de -160°C. Un ou plusieurs des réservoirs 14 du navire peuvent être reliés à l'installation 12 par un dispositif 10 selon l'invention. Le nombre de réservoirs n'est ainsi pas limitatif. Il est par exemple compris entre 1 et 6. Chaque réservoir 14 peut avoir une capacité comprise entre 1 000 à 50 000m³.

Dans ce qui suit, l'expression « le réservoir » devra être interprétée comme « le ou chaque réservoir ».

Le réservoir 14 contient du gaz liquéfié 14a ainsi que du gaz 14b résultant d'une évaporation, en particulier naturelle, du gaz liquéfié 14a dans le réservoir 14. Naturellement, le gaz liquéfié 14a est stocké au fond du réservoir 14 tandis que le gaz d'évaporation 14b est situé au-dessus du niveau de gaz liquéfié dans le réservoir, schématiquement représenté par la lettre N.

Dans ce qui suit, « GNL » désigne du gaz liquéfié, c'est-à-dire du gaz sous forme liquide, « BOG » désigne du gaz d'évaporation, « NBOG » désigne du gaz d'évaporation naturelle, et « FBOG » désigne du gaz d'évaporation forcée, ces acronymes étant connus de l'homme du métier car ils correspondent aux initiales des expressions anglaises associées.

20

Dans le mode de réalisation représenté à la figure 1, des pompes 16a, 16b sont immergées dans le GNL du réservoir 14, et sont de préférence situées au fond du réservoir afin de s'assurer qu'elles ne soient alimentées qu'en GNL.

Les pompes 16a, 16b sont ici au nombre de deux. La pompe 16a est reliée à une extrémité, ici inférieure, d'une conduite 18. La pompe 16b est reliée à une extrémité, ici inférieure, d'une conduite 20. En variante, il peut y avoir davantage de pompes de chaque type, par exemple pour assurer une redondance de 16a et 16b ou utiliser des pompes existantes comme les pompes de pulvérisation déjà présentes sur un navire (auquel cas, la fonction de 16b pourrait être assurée par les quatre pompes de pulvérisation, chacune présente dans quatre réservoirs distincts.

La conduite 20 comprend une extrémité supérieure reliée à une rampe 22 de pulvérisation de gouttelettes de GNL située dans la partie haute du réservoir 14, au-dessus du niveau N. La rampe 22 est ainsi configurée pour pulvériser des gouttelettes de GNL dans le NBOG. Ceci permet de forcer la
5 recondensation du NBOG dans le réservoir 14. La pompe 16b est configurée pour forcer la circulation de GNL dans la conduite 20, depuis le fond du réservoir 14 jusqu'à la rampe 22 et assurer que le GNL est pulvérisé sous forme de gouttelettes. En pratique, un ciel gazeux peut être présent dans le réservoir principal alors que le NBOG peut circuler dans les conduites.

10 La pompe 16a est configurée pour forcer la circulation de GNL dans la conduite 18 depuis le fond du réservoir 14 jusqu'à un ballon 24 reliée à une extrémité, par exemple supérieure, de la conduite 18. La conduite 18 comprend des moyens de dépressurisation 19, tels qu'une vanne JT, de façon à diminuer la pression du GNL circulant dans la conduite 18 avant d'atteindre le ballon 24.
15 Avantageusement, les moyens 19 sont configurés pour que la pression du GNL circulant dans la conduite 18 soit abaissée à la pression de fonctionnement du ballon 24. Les moyens 19 comportent par exemple une vanne JT (comme décrit plus loin).

La circulation du GNL dans la conduite 18 et à travers les moyens de
20 dépressurisation 19 entraîne donc une vaporisation au moins partielle du GNL avant l'alimentation du ballon 24.

Le ballon 24 est ainsi destiné à être alimenté en GNL partiellement vaporisé provenant du réservoir 14. La pression de fonctionnement à l'intérieur du ballon 24 est inférieure à la pression de stockage du GNL à l'intérieur du
25 réservoir 14. L'alimentation du ballon 24 en GNL peut entraîner une vaporisation complémentaire du GNL, se traduisant d'une part par la génération de FBOG dans le ballon 24, ainsi que le refroidissement du GNL restant dans le ballon, qui est appelé « gaz liquéfié refroidi ». Le ballon 24 contient du gaz sous forme liquéfié à une pression et une température prédéterminées.

30 Le ballon 24 contient ainsi du gaz liquéfié refroidi 24a ainsi que du gaz 24b résultant d'une évaporation, ici forcée, du gaz liquéfié 14a provenant du réservoir 14. Naturellement, le gaz liquéfié refroidi (ou GNLs) 24a est stocké au

fond du ballon 24 tandis que le gaz d'évaporation (ou FBOG) 24b est situé au-dessus du niveau de gaz liquéfié dans le ballon 24, schématiquement représenté par la lettre L.

Le ballon 24 comprend trois ports de communication fluide, à savoir
5 une entrée de GNL reliée à la conduite 18, une sortie de FBOG et une sortie de GNLs.

La sortie de FBOG est reliée à une entrée d'un compresseur 26 dont une sortie est reliée à un compresseur 28. Les compresseurs 26, 28 peuvent être deux compresseurs indépendants ou deux étages de compression d'un
10 même compresseur. Les compresseurs 26, 28 peuvent ainsi être mutualisés.

Le compresseur 26 est ici utilisé pour appliquer la pression de fonctionnement à l'intérieur du ballon 24. Il est ainsi configuré pour mettre en dépression le ballon 24 par rapport au réservoir 14. La différence de pression entre eux peut être telle qu'elle est suffisante pour forcer la circulation de GNL
15 depuis le réservoir jusqu'au ballon 24. Dans ce dernier cas, on comprend donc que la pompe 16a est facultative. Les conditions imposées par le compresseur 26 au ballon 24 sont déterminées pour générer du GNLs dans le ballon de détente.

Lorsque la quantité de GNLs dans le ballon 24 est trop importante et
20 qu'un niveau seuil risque d'être atteint, du GNLs peut être transféré depuis la sortie de GNLs du ballon 24 vers une entrée de GNLs d'un réservoir secondaire 30.

Le ballon 24 et le réservoir secondaire 30 sont ici reliés par une conduite 31 comportant par exemple une vanne 33 et une pompe 35. La pompe
25 35 est configurée pour forcer la circulation de GNLs depuis le ballon 24 jusqu'au réservoir secondaire 30. La pompe 35 est particulièrement utile lorsque le réservoir 30 est en surpression par rapport au ballon 24. Le réservoir secondaire 30 contient du GNLs à une pression et une température prédéterminées.

30 Le réservoir secondaire 30 est configuré pour stocker le GNLs en excès produit dans le ballon 24. Le réservoir 30 contient ainsi du gaz liquéfié refroidi 30a ainsi que du gaz 30b résultant d'une évaporation, ici naturelle, du

gaz liquéfié 14a provenant du réservoir 14. Naturellement, le gaz liquéfié refroidi (ou GNLs) 30a est stocké au fond du réservoir secondaire 30 tandis que le gaz d'évaporation 30b est situé au-dessus du niveau de gaz liquéfié dans ce réservoir, schématiquement représenté par la lettre M.

5 Le réservoir secondaire 30 comprend une sortie de GNLs. Dans l'exemple représenté, cette sortie est reliée par une conduite 32 d'une part à la rampe 22 de pulvérisation du réservoir 14 ou de chaque réservoir 14, et d'autre part à un plongeur 34 destiné à être plongé ou immergé dans le GNL du réservoir. On comprend ainsi que du GNLs peut alimenter la rampe de
10 pulvérisation 22 en vue de la pulvérisation de gouttelettes de GNLs dans le BOG du réservoir 14, et du GNLs peut alimenter le plongeur 34 en vue de l'injection de GNLs directement dans le GNL du réservoir 14.

 La conduite 32 peut être reliée à la sortie de GNLs du réservoir secondaire 30 par une vanne 36. La conduite peut être reliée au plongeur 34 et
15 à la rampe 22 par une vanne trois voies 38.

 Le réservoir secondaire 30 est ici utilisé pour refroidir un fluide, tel qu'un gaz ou un liquide, qui est ici du BOG du réservoir principal 14. Un circuit d'échange de chaleur 40 est ici associé au réservoir secondaire 30. L'association doit ici s'entendre au sens large, le circuit 40 pouvant par exemple
20 être une conduite en serpentin plongée dans le GNLs contenu dans le réservoir secondaire 30. Le circuit 40 pourrait en variante être situé à l'extérieur du réservoir 30. Le circuit 40 est configuré pour que des échanges calorifiques aient lieu entre le fluide circulant dans le circuit 40 et le GNLs contenu dans le réservoir secondaire 30. Le fluide circulant dans le circuit 40 est en général plus
25 chaud que le GNLs qui refroidit ainsi le fluide lors de sa circulation dans le circuit 40. Le circuit comprend une entrée et une sortie.

 L'entrée du circuit 40 est reliée à une sortie 45 de BOG du réservoir principal 14, qui est ici située à une extrémité supérieure du réservoir. La sortie de BOG 45 du réservoir 14 est reliée à une entrée d'un circuit secondaire 42a
30 d'un échangeur de chaleur 42, dont une sortie est reliée à l'entrée ou à une entrée du compresseur 28.

La sortie du compresseur 28 est en général reliée à l'installation 12 en vue de son alimentation en gaz combustible. Une partie du gaz combustible sortant du compresseur 28 peut être prélevée et réacheminée par une conduite 44 qui peut être reliée à la sortie du compresseur 28 par une vanne trois voies 46.

Le compresseur 28 est configuré pour comprimer le gaz (tel que le NBOG provenant du réservoir) à une pression de service adaptée à son utilisation dans l'installation 12.

La conduite 44 est reliée à une entrée d'un circuit primaire 42b de l'échangeur 42 dont une sortie est reliée à l'entrée du circuit 40.

La sortie du circuit 40 est reliée par une conduite 48 à un ballon 50 distinct du ballon 24. La conduite 48 comprend une vanne 52, qui est de préférence une vanne à effet Joule-Thomson, en vue de la diminution de la température du gaz par expansion adiabatique.

Une détente de Joule-Thomson est une détente laminaire stationnaire et lente réalisée en faisant passer un flux de gaz au travers d'un tampon (ouate ou soie grège en général) dans une canalisation calorifugée et horizontale, la pression régnant à gauche et à droite du tampon étant différente. Pour les gaz réels, la détente de Joule-Thomson est généralement accompagnée d'une variation de température : c'est l'effet Joule-Thomson. L'échangeur 42, le circuit 40, et la vanne 52 refroidissent et (re)condensent partiellement le BOG.

Le ballon 50 est destiné à séparer le BOG resté sous forme gazeuse 50b du BOG (re)condensé 50a avant d'alimenter le réservoir 14 en BOG (re)condensé. Naturellement, le BOG recondensé 50a est stocké au fond du ballon 50 tandis que le gaz d'évaporation (ou BOG) 50b est situé au-dessus du niveau de gaz liquéfié dans le ballon 50, schématiquement représenté par la lettre O.

Le ballon 50 comprend trois ports de communication fluidique, à savoir une entrée de BOG reliée à la conduite 48, une sortie de BOG gazeux et une sortie de BOG (re)condensé. La sortie de BOG gazeux est ici reliée à l'entrée du compresseur 28. La sortie de BOG (re)condensé est ici reliée au plongeur

34, la conduite 32 et/ou la rampe de pulvérisation 22 en vue de l'injection de BOG (re)condensé dans le réservoir 14.

Les moyens d'évaporation sous vide formés par les éléments suivants, la pompe 16a, les moyens de dépressurisation 19, le ballon 24 et le compresseur 26, permettent de récupérer la chaleur latente de vaporisation qui est en général dépensée dans un évaporateur de la technique antérieure pour produire du FBOG et de la puissance frigorifique qui est utilisée notamment pour refroidir le GNL contenu dans le réservoir principal 14.

Le GNLs forme une puissance frigorifique qui peut être stockée dans le réservoir secondaire 30 lorsqu'il n'est pas nécessaire, par exemple lors de phases où la quantité de NBOG produite est insuffisante pour répondre à la demande.

La récupération de chaleur latente de vaporisation est obtenue grâce au dispositif 10 ci-dessus et en particulier au ballon 24, dont la pression de fonctionnement est inférieure à celle du réservoir 14 qui est par exemple comprise entre -20mbarg et 250mbarg (mbar gauge - ou entre -20 et 350mbarg, ou entre -20 et 700mbarg). La pression de fonctionnement du ballon 24 est de préférence comprise entre 300 et 800mbara (mbar absolu).

Le GNL provenant du réservoir 14 à un équilibre de saturation correspondant à la pression de stockage du GNL dans le réservoir 14, est acheminé jusqu'au ballon 24 qui est en dépression par rapport au réservoir 14. Par conséquent, ce GNL se trouve dans un état de surchauffe lorsqu'il est dépressurisé par les moyens 19 et, pour atteindre un équilibre de saturation, il libère sa chaleur excédentaire par vaporisation. Le GNL est alors séparé en GNLs et en FBOG à l'intérieur du ballon 24 dans des proportions dépendant notamment de la pression de fonctionnement du ballon 24.

Par exemple, avec une pression de fonctionnement de 300mbara, le taux d'évaporation du GNL alimentant le ballon 24 est compris entre 9,5 et 10%. A 800mbara, ce taux est compris entre 2,3 et 3%. La partie restante est un liquide refroidi à une température correspondant à l'équilibre de saturation à la pression de fonctionnement du ballon 24. Par exemple, avec une pression de fonctionnement à 300mbara, on refroidit le GNL jusqu'à une température

comprise entre -172 et -175°C (chute de température de -12 à -15°C), et à 800mbara, on refroidit le GNL jusqu'à une température comprise entre -163 et -164°C (chute de température de -3 à -4°C).

Ensuite, le GNLs peut être évacué grâce à la pompe 35, de préférence jusqu'au réservoir secondaire 30. La pompe 35 peut être utilisée pour augmenter la pression du GNLs. Le stockage du GNLs dans le réservoir secondaire 30 permet de conserver la puissance frigorifique.

En fonctionnement, la partie vaporisée du GNL alimentant le ballon 24 va s'accumuler dans ce ballon. Afin de contrôler la pression à une valeur prédéterminée dans le ballon 24 (par exemple entre 300 et 800mbara), le FBOG produit dans le ballon 24 est de préférence extrait en continu. Ceci est réalisé par le compresseur 26, qui est configuré pour aspirer le gaz contenu dans le ballon 24, avec une pression d'entrée correspondant à la pression de fonctionnement du ballon 24 et une pression de sortie qui est par exemple similaire à la pression de stockage du GNL dans le réservoir 14. Le gaz ainsi traité est alors facile d'utilisation puisqu'il est à une pression similaire à celle du NBOG produit dans le réservoir 14 et peut alimenter, avec ce NBOG, le même compresseur 28. Ce compresseur 28 est configuré pour produire du gaz combustible directement utilisable dans l'installation 12, par exemple pour l'alimentation des machines de propulsion du navire.

Avec le dispositif 10 présenté dans ce qui précède, pour répondre à la consommation de gaz par l'installation 12, le NBOG produit dans le réservoir 14 est acheminé jusqu'au compresseur 28 qui le comprime à la pression d'utilisation. Le BOG supplémentaire nécessaire pour répondre à la demande est produit de manière forcée par vaporisation du GNL alimentant le ballon 24, puis alimentant successivement les compresseurs 26 et 28. La pompe 16a peut s'avérer nécessaire pour alimenter le ballon 24 en GNL du réservoir 14, en particulier lorsque la hauteur du réservoir ou du niveau N est comprise entre 10 et 50m – dans ce cas, la seule dépression du ballon 24 peut en effet s'avérer insuffisante pour faire circuler le GNL de manière passive dans la conduite 18.

Le ballon 24 doit ainsi être alimenté avec un débit suffisant de GNL pour répondre, avec le NBOG, aux besoins de consommation en gaz

combustible de l'installation 12. Par exemple, le débit supplémentaire de FBOG qui serait produit dans le ballon 24 pourrait être compris entre 0 et 4000kg/h. En conséquence, en fonction de la composition du GNL et de la pression de fonctionnement du ballon 24, le débit provenant du réservoir 14 jusqu'au ballon 5 24 pourrait être compris entre 0 et 17,5t/h.

Le GNLs généré dans le ballon 24 est stocké dans le réservoir secondaire 30. Le réservoir 30 est configuré pour stocker et conserver le GNLs et est donc avantageusement isolé thermiquement. La pression dans le réservoir secondaire 30 est par exemple comprise entre 0,3bara et 10bara, 10 pour bénéficier d'une flexibilité dans la gestion de la pression. La température du GNLs dans le réservoir 30 est proche de celle du GNLs dans le ballon 24, et est par exemple comprise entre -175 à -161 ° C. Lorsque cela est nécessaire, par exemple pendant des phases où le NBOG est en excès, le GNLs contenu dans le réservoir secondaire 30 peut être acheminé dans la conduite 32 jusqu'à 15 la rampe de pulvérisation 22, pour pulvériser des gouttelettes de GNLs dans le BOG contenu dans le réservoir 14 et ainsi refroidir le BOG. Il peut être également réinjectée par le plongeur 34 dans le GNL du réservoir afin de refroidir directement ce GNL.

Le NBOG qui serait produit en excès par rapport à la demande de 20 l'installation 12, est prélevé et acheminé jusqu'au compresseur 28. Il est ensuite redirigé par la vanne 46 jusqu'au circuit 40 du réservoir secondaire 30 dans lequel il est refroidi par échange de chaleur avec le GNLs préalablement stocké, comme expliqué précédemment. Ensuite, l'excès de NBOG est dirigé vers la vanne 52 à travers laquelle il sera dépressurisé pour atteindre une 25 pression proche de la pression de stockage dans le réservoir 14. Par exemple, si le réservoir est un réservoir atmosphérique, le NBOG excédentaire peut être dépressurisé à une pression comprise entre 0 et 1barg. Ensuite, le NBOG excédentaire alimente le ballon 50, où il subit une séparation de phases, en BOG (re)condensé et BOG gazeux. Le BOG gazeux est acheminé par la 30 conduite 51 jusqu'au compresseur 28 au même titre que le NBOG qui serait produit dans le réservoir 14. Le BOG (re)condensé est quant à lui injecté dans le réservoir 14 en vue du stockage du GNL.

Les figures 2 à 6 illustrent des phases de fonctionnement du dispositif de la figure 1, qui peuvent correspondre à des phases de régime du navire équipé de ce dispositif.

5 Le procédé de refroidissement de gaz liquéfié est ici décrit en trois phases :

1. Phase où la quantité de NBOG est insuffisante, aussi appelée phase de FBOG (figures 2 et 3), par exemple lorsque le navire navigue à une vitesse nécessitant davantage de BOG pour compléter le NBOG produit dans le ou les
10 réservoirs 14. Du BOG ou FBOG additionnel sera fourni par le dispositif 10 et de la puissance froide sera générée.
2. Phase où le NBOG produit est en excès (figures 4 et 5), par exemple lorsque le navire navigue à une vitesse faible ou est à l'ancrage, l'excès de NBOG devant être géré de manière sûre et respectueuse de l'environnement.
- 15 3. Phase où le réservoir principal 14 du navire est refroidi (figure 6), par exemple avant le chargement après le voyage retour (au cours duquel la gestion du BOG n'est généralement pas nécessaire car le ou les réservoirs 14 sont quasiment vides).

20 1. Phase où la quantité de NBOG est insuffisante, aussi appelée phase de FBOG (figures 2 et 3)

La figure 2 illustre des étapes de la première phase, dans lesquelles du FBOG et du GNLs sont conjointement produits par le dispositif.

Afin de contrôler la pression dans le réservoir 14, du NBOG est prélevé
25 de ce réservoir à travers la sortie 45 puis alimente le compresseur 28, qui va produire du gaz combustible à une pression admissible pour l'installation 12, par exemple de l'ordre de 6-7bars, 15-17bars ou 300-315bars. Afin de compléter la quantité de gaz et répondre aux besoins de consommation de l'installation 12, du GNL du réservoir 14 est acheminée par la pompe 16a et la
30 conduite 18 jusqu'aux moyens de dépressurisation 19 où le GNL subit une dépression jusqu'à la pression de fonctionnement du ballon 24. Le GNL parvient au ballon 24 à la pression de fonctionnement de ce ballon et, du fait du

déplacement d'équilibre de saturation induit par le différentiel de pression entre le ballon 24 et le réservoir 14, une partie du GNL se vaporise (phénomène de *flash*) entre les moyens de dépressurisation 19 et le ballon et le reste est refroidi à la température de saturation du GNL à la pression de fonctionnement du ballon. Un débit suffisant doit être prélevé du réservoir 14, comme expliqué précédemment. Le FBOG contenu dans le ballon 24 est alors évacué et comprimé par le compresseur 26 à la pression de stockage du GNL dans le réservoir 14. Ensuite, le FBOG est à nouveau comprimé par le compresseur 28 pour atteindre la pression requise pour l'installation 12. Afin de ne pas remplir en excès le ballon 24, le GNLs de ce ballon est acheminé jusqu'au réservoir secondaire 30, en particulier lorsque le taux de remplissage en GNLs du ballon atteint un certain niveau seuil, par exemple 50%.

La figure 3 illustre d'autres étapes de la première phase, dans lesquelles du GNLs est stocké dans le réservoir secondaire 30.

Dans le cas où la capacité du réservoir secondaire 30 n'est pas suffisante pour stocker le GNLs produit, du GNLs contenu dans le réservoir 30 peut être transféré dans le fond du réservoir 14, par la conduite 32 et le plongeur 34, afin de refroidir le GNL du réservoir 14 en dessous de la température de saturation du GNL à la pression de stockage dans le réservoir 14.

2. Phase où le NBOG produit est en excès (figures 4 et 5)

La figure 4 illustre des étapes de la seconde phase, dans lesquelles du BOG en excès est recondensé.

Le NBOG produit dans le réservoir 14 est en quantité suffisante ou plus que suffisante pour satisfaire les besoins de l'installation 12. Afin de contrôler la pression dans le réservoir 14, du BOG est prélevé de ce réservoir et alimente le compresseur 28 pour atteindre la pression requise pour l'installation 12. L'excès de BOG qui ne peut pas être consommé par l'installation est acheminé depuis la sortie du compresseur 28 jusqu'à l'échangeur 42 dans lequel il subit un refroidissement par échange de calories avec le NBOG froid directement prélevé du réservoir 14 par la sortie 45. Le BOG en excès est ensuite envoyé

au circuit 40 du réservoir secondaire 30 où il est à nouveau refroidi par échange de chaleur avec le GNLs stocké dans ce réservoir, comme expliqué précédemment. Ensuite, le BOG en excès est dépressurisé par la vanne 52 et alimente le ballon 50 où le BOG (re)condensé par l'échangeur 42, le circuit 40 et la vanne 52 est séparé du BOG gazeux. Le BOG gazeux restant est renvoyé vers le compresseur 28 pour alimenter l'installation 12.

La figure 5 illustre des étapes de la seconde phase, dans lesquelles du GNLs est pulvérisé.

Au lieu de recondenser l'excès de NBOG à travers la ligne dédiée, il est possible de transférer le GNLs contenu dans le réservoir secondaire 30 à la conduite 32 puis à la rampe de pulvérisation 22, afin de recondenser directement le BOG contenu dans le réservoir 14.

3. Phase où le réservoir principal du navire est refroidi (figure 6)

La figure 6 illustre des étapes de la dernière phase.

Typiquement, les terminaux de re-liquéfaction, où le navire charge sa cargaison, nécessitent une température froide dans le réservoir 14 avant le chargement, afin de limiter la quantité de GNL qui serait instantanément vaporisée (*flash*). Ceci est généralement réalisé par pulvérisation au moyen de la rampe 22, et de la pompe 16b associée, du GNL déjà contenu dans le réservoir 14 en vue du refroidissement du BOG de ce réservoir. Grâce au dispositif 10, cette opération peut être effectuée en alimentant la rampe 22 avec du GNLs provenant du réservoir secondaire 30, et donc du GNL plus froid que celui contenu dans le réservoir 14. De la même façon, lorsque le BOG contenu dans le réservoir 14 n'est pas suffisant pour alimenter l'installation 12, le GNLs contenu dans le réservoir secondaire 30 peut être régénéré de la même manière qu'au cours de la première phase.

La figure 7 représente une variante de réalisation du dispositif qui diffère de celui de la figure 1 en ce qu'il comprend un autre échangeur de chaleur 60. L'échangeur de chaleur 60 comprend deux circuits, respectivement primaire 60a et secondaire 60b.

Le circuit secondaire 60b comprend une entrée reliée à la conduite 18, ici en aval des moyens de dépressurisation 19. Le circuit secondaire 60b comprend une sortie reliée à l'entrée de GNL du ballon 24.

Le circuit primaire 60a comprend une entrée reliée par une vanne trois
5 voies 62 respectivement à la pompe 16b et à la rampe de pulvérisation 22 du réservoir 14. Le circuit primaire 60a comprend une sortie reliée à une entrée de GNL du réservoir secondaire 30.

Le circuit secondaire 60b est un circuit froid, le fluide circulant dans ce circuit et en l'occurrence le GNL dépressurisé, étant destiné à être réchauffé
10 par circulation dans ce circuit de manière à le vaporiser (en FBOG). Le circuit primaire 60a est un circuit chaud, le fluide circulant dans ce circuit et en l'occurrence le GNL provenant du réservoir 14, étant destiné à être refroidi par circulation dans ce circuit. Le circuit 60a peut ne pas permettre cependant de vaporiser les composants les plus lourds (éthane, propane, etc.). On comprend
15 que la dépressurisation en amont du circuit secondaire 60b permet d'abaisser la température de vaporisation, ce qui permet de générer du FBOG à partir d'un échange de chaleur avec le GNL prélevé de la cuve et circulant dans le circuit primaire. La vaporisation en FBOG nécessite un apport de chaleur fourni par le GNL circulant dans le circuit primaire, c'est donc une source frigorifique en vue
20 du refroidissement du GNL circulant dans le circuit primaire.

Du GNL provenant du réservoir 14 est ainsi acheminé par la pompe 16a jusqu'aux moyens de dépressurisation 19 puis circule dans le circuit secondaire ou froid de l'échangeur 60. Dans l'intervalle, du GNL du réservoir est acheminé par la pompe 16b jusqu'au circuit primaire ou chaud de
25 l'échangeur 60. Par conséquent, l'échange de chaleur entre ces circuits entraîne:

- le chauffage de GNL dépressurisé et partiellement vaporisé, en vue de poursuivre sa vaporisation, qui est ensuite acheminé jusqu'au ballon en vue de subir une séparation de phases,
- 30 - le refroidissement de GNL qui alimente le réservoir secondaire 30 pour y être stocké en vue d'une utilisation ultérieure.

Ensuite, le dispositif fonctionne comme décrit initialement en relation avec les figures 1 à 6. Les impacts de l'échangeur 60 sont ici:

- la pompe 16a peut être dimensionnée pour faire circuler seulement une quantité prédéterminée maximale de GNL, en vue de la formation de FBOG
- 5 suffisant pour satisfaire les besoins de l'installation 12, en complément du NBOG. Cette tâche pourrait être effectuée par la pompe à carburant généralement installée dans un navire,
- la capacité du ballon 24 peut être diminuée dans la mesure où le débit d'alimentation en GNL peut être moindre (seul serait utilisé le débit de FBOG
- 10 supplémentaire pour atteindre la demande en gaz combustible de l'installation 12),
- du fait du pincement de température dans l'échangeur de chaleur, la production de puissance frigorifique est abaissée (environ 15% de perte sur la base d'une pression de fonctionnement de 500 mbara)
- 15 - les débits de GNL et de GNLs circulant avec cette solution sont moindres, par conséquent, la consommation énergétique des pompes est réduite, ce qui permet de réduire la consommation énergétique du système

La figure 8 montre un autre mode de réalisation d'un dispositif 110

20 selon l'invention qui peut être considéré comme permettant un refroidissement de gaz liquéfié et/ou un refroidissement de gaz d'évaporation naturelle de gaz liquéfié.

Le dispositif 110 est particulièrement adapté mais non exclusivement à la fourniture de gaz combustible à un navire, tel qu'un navire de transport de

25 gaz liquéfié. Le dispositif peut ainsi être utilisé pour alimenter en gaz combustible une installation 112 de production d'énergie embarquée sur un navire.

Un navire comporte un réservoir 114 ou plusieurs réservoirs 114 de stockage de gaz liquéfié. Le gaz est par exemple du méthane ou un mélange

30 de gaz comportant du méthane, par exemple du gaz naturel liquéfié. Le ou chaque réservoir 114 peut contenir du gaz sous forme liquéfié à une pression et une température prédéterminées, par exemple à une pression atmosphérique

et une température de l'ordre de -160°C. Un ou plusieurs des réservoirs 114 du navire peuvent être reliés à l'installation 112 par un dispositif 110 selon l'invention. Le nombre de réservoirs n'est ainsi pas limitatif. Il est par exemple compris entre 1 et 6. Chaque réservoir 114 peut avoir une capacité comprise
5 entre 1 000 à 50 000m³.

Dans ce qui suit, l'expression « le réservoir » devra être interprétée comme « le ou chaque réservoir ».

Le réservoir 114 contient du gaz liquéfié 114a ainsi que du gaz 114b résultant d'une évaporation, en particulier naturelle, du gaz liquéfié 114a dans
10 le réservoir 114. Naturellement, le gaz liquéfié 114a est stocké au fond du réservoir 114 tandis que le gaz d'évaporation 114b est situé au-dessus du niveau de gaz liquéfié dans le réservoir, schématiquement représenté par la lettre N.

Dans ce qui suit, « GNL » désigne du gaz liquéfié, c'est-à-dire du gaz
15 sous forme liquide, « BOG » désigne du gaz d'évaporation, « NBOG » désigne du gaz d'évaporation naturelle, et « FBOG » désigne du gaz d'évaporation forcée, ces acronymes étant connus de l'homme du métier car ils correspondent aux initiales des expressions anglaises associées.

Dans le mode de réalisation représenté à la figure 8, le réservoir 114
20 comprend une rampe 122 de pulvérisation de gouttelettes de GNL qui est située dans la partie haute du réservoir, au-dessus du niveau N. La rampe 122 est ainsi configurée pour pulvériser des gouttelettes de GNL dans le BOG. Ceci permet de forcer la recondensation du BOG dans le réservoir 14.

Le dispositif 110 comprend ici des moyens de refroidissement 170
25 qui sont associés à un réservoir secondaire 130 de stockage de GNLs.

Les moyens de refroidissement 170 comprennent par exemple un circuit 172 d'échange de chaleur associé au réservoir 130. Le réservoir secondaire 130 contient du GNLs à une pression et une température prédéterminées.

30 Le réservoir secondaire 130 est configuré pour stocker du GNLs. Le réservoir 30 contient ainsi du gaz liquéfié refroidi 130a ainsi que du gaz 130b résultant d'une évaporation du gaz liquéfié 130a. Naturellement, le gaz liquéfié

refroidi (ou GNLs) 130a est stocké au fond du réservoir secondaire 130 tandis que le gaz d'évaporation 130b est situé au-dessus du niveau de gaz liquéfié, schématiquement représenté par la lettre M.

Le réservoir secondaire 130 comprend une sortie de GNLs. Dans l'exemple représenté, cette sortie est reliée par une conduite 132 d'une part à la rampe de pulvérisation 122 du réservoir 114 ou de chaque réservoir 114, et d'autre part à un plongeur 134 destiné à être plongé ou immergé dans le GNL du réservoir 114. On comprend ainsi que du GNLs peut alimenter la rampe de pulvérisation 122 en vue de la pulvérisation de gouttelettes de GNLs dans le BOG du réservoir 114, et du GNLs peut alimenter le plongeur 134 en vue de l'injection de GNLs directement dans le GNL du réservoir 114.

La conduite 132 peut être reliée à la sortie de GNLs du réservoir secondaire 130 par une vanne 136. La conduite peut être reliée au plongeur 134 et à la rampe 122 par une vanne trois voies 138.

Le réservoir secondaire 130 est ici utilisé pour refroidir un fluide, tel qu'un gaz ou un liquide, qui est ici du BOG du réservoir principal 114. Un autre circuit d'échange de chaleur 140 est ici associé au réservoir secondaire 130. L'association de chaque circuit 140, 172 au réservoir secondaire 130 doit ici s'entendre au sens large, les circuits 172 et 140 pouvant par exemple être des conduites en serpentin plongées dans le GNLs contenu dans le réservoir secondaire 130. Ces circuits peuvent en variante être situés à l'extérieur du réservoir 130. Le circuit 140 est configuré pour que des échanges calorifiques aient lieu entre le fluide circulant dans le circuit et le GNLs contenu dans le réservoir secondaire 130. Le fluide circulant dans le circuit 140 est en général plus chaud que le GNLs qui refroidit ainsi le fluide lors de sa circulation dans le circuit 140. Le circuit comprend une entrée et une sortie.

L'entrée du circuit 140 est reliée à une sortie 145 de BOG du réservoir principal 114, qui est ici située à une extrémité supérieure du réservoir. La sortie de BOG 145 du réservoir 114 est reliée à une entrée d'un circuit secondaire 142a d'un échangeur de chaleur 142, dont une sortie est reliée à une entrée d'un compresseur 128.

La sortie du compresseur 128 est en général reliée à l'installation 112 en vue de son alimentation en gaz combustible. Une partie du gaz combustible sortant du compresseur 128 peut être prélevée et réacheminée par une conduite 144 qui peut être reliée à la sortie du compresseur 128 par une vanne
5 trois voies 146.

Le compresseur 128 est configuré pour comprimer le gaz à une pression de service adaptée à son utilisation dans l'installation 112.

La conduite 140 est reliée à une entrée d'un circuit primaire 142b de l'échangeur 142 dont une sortie est reliée à l'entrée du circuit 140.

10 La sortie du circuit 140 est reliée par une conduite 148 à un ballon 150. La conduite 148 comprend une vanne 152, telle qu'une vanne à effet Joule-Thomson, en vue de la diminution de la température du gaz par expansion adiabatique.

L'échangeur 142, le circuit 140 et la vanne 152 condensent (autrement
15 dit : (re)liquéfient) une partie du BOG.

Le ballon 150 est destiné à séparer le BOG ainsi (re)condensé du BOG resté sous forme gazeuse.

Le ballon 150 contient ainsi du BOG (re)condensé (par la ligne de condensation comportant par exemple l'échangeur 142, le circuit 140 et la
20 vanne 152) 150a ainsi que du BOG gazeux 150b. Naturellement, le BOG condensé 150a est stocké au fond du ballon 150 tandis que BOG gazeux 150b est situé au-dessus du niveau de gaz liquéfié dans le ballon 150, schématiquement représenté par la lettre O.

Le ballon 150 comprend trois ports de communication fluidique, à
25 savoir une entrée de BOG reliée à la conduite 148, une sortie de BOG gazeux et une sortie de BOG liquide. La sortie de BOG condensé est ici reliée à l'entrée du compresseur 126 par une conduite 151. La sortie de BOG liquide est ici reliée au plongeur 134, la conduite 132 et/ou la rampe de pulvérisation 122 en vue du stockage de GNL dans le réservoir 114.

30

La figure 9 représente une variante de réalisation du dispositif 110 qui diffère de celui de la figure 8 par ses moyens de refroidissement 170.

Ainsi, les moyens de refroidissement 170 comprennent une pompe 116a immergée dans le GNL du réservoir 114, et de préférence située au fond du réservoir afin de s'assurer qu'elle ne soit alimentée qu'en GNL.

La pompe 116a est reliée à une extrémité, ici inférieure, d'une conduite 118. La conduite 118 comprend une extrémité supérieure reliée à une entrée de GNLs du réservoir secondaire 130 en vue de l'alimentation en GNLs dans ce réservoir. La conduite 118 traverse ou comprend un générateur de froid, tel qu'un évaporateur sous vide, qui peut comprendre un ballon associé à un compresseur, comme illustré dans le précédent mode de réalisation.

La pompe 116a est configurée pour forcer la circulation de GNL dans la conduite 118 depuis le fond du réservoir 114 jusqu'au réservoir secondaire 130, en vue de l'alimentation en GNLs du réservoir secondaire 130 et son stockage dans ce dernier.

Dans les dispositifs des figures 8 et 9, la solution est l'intégration de moyens de refroidissement 170 dans l'environnement d'un navire afin d'utiliser au mieux cet équipement pour répondre aux besoins du navire. Les moyens de refroidissement 170 sont tels qu'en utilisation :

- pour le type représenté à la figure 9, du GNL est acheminé depuis le réservoir 114, par la pompe 116a, jusqu'aux moyens de refroidissement 170 où il est refroidi puis injecté dans le réservoir secondaire 130 où il est stocké ; si la capacité du réservoir 130 n'est pas suffisante pour ce stockage, du GNLs peut être envoyé à la conduite 132 puis par le plongeur 134 à l'intérieur du réservoir 114, ce qui permet de refroidir le GNL dans le réservoir 114 ;
- pour le deuxième type représenté à la figure 8, les moyens de refroidissement 170 refroidissent directement le GNL stocké dans le réservoir secondaire 130 en étant directement au contact de ce GNL, pour générer du GNLs.

Dans les deux cas, le résultat est que du GNLs est stocké dans le réservoir secondaire 130. La température du GNLs est de préférence comprise entre -180 et -160°C, ce qui correspond à une chute de température du GNL entre -0,5 et -20°C typiquement. En raison de l'entrée de chaleur dans le réservoir secondaire 130, une partie du GNLs peut s'évaporer et se transformer en BOG 130b. Si la pression à l'intérieur du réservoir secondaire 130 atteint un

seuil prédéterminé, alors il peut être contrôlé en enlevant une partie du BOG grâce au compresseur 126. Le réservoir secondaire 130 est conçu en fonction de son utilisation, et a par exemple une capacité comprise entre 50 à 500m3 pour la gestion du BOG en voyage, ou de 1 500 à 10 000m3 pour la gestion du BOG pendant l'ancrage (2 à 5 jours). La pression dans le réservoir secondaire 130 est par exemple comprise entre 0.3bara et 10bara, pour bénéficier d'une souplesse dans la gestion de la pression et du gaz d'évaporation 130b.

Les moyens de refroidissement 170 peuvent être exploités indépendamment de la solution et de son environnement. De préférence, les moyens de refroidissement 170 sont en fonctionnement continu, lorsque de la puissance frigorifique est immédiatement nécessaire ou non.

Lorsque cela est nécessaire, du GNLs peut être envoyé au réservoir 114 au moyen de la conduite 132 et du plongeur 134, par exemple pour contrôler la pression ou la température du GNL contenu dans le réservoir 114.

Typiquement, la pression dans le réservoir 114 est contrôlée en prélevant du NBOG du réservoir 114 par aspiration du NBOG au moyen du compresseur 126 à travers la sortie 145 de NBOG du réservoir 114. Ensuite, le NBOG provenant du compresseur 126 est utilisé pour alimenter l'installation 112. Si la charge de l'installation 112 n'est pas suffisante pour consommer tout le NBOG, alors il existe du NBOG en excès qui doit être géré. Dans ce cas, il est préférable d'agir uniquement sur le NBOG excédentaire plutôt que sur le GNL ou la totalité du NBOG contenu dans le réservoir 114, comme décrit précédemment. Grâce à la solution, le NBOG excédentaire provenant du compresseur 126 à la pression d'utilisation de l'installation 112 (par exemple 6-7bars ou 15-17bars ou 300-315bars selon le type d'installation du navire) est envoyé à l'échangeur de chaleur 142 à travers lequel il sera refroidi par échange thermique avec du NBOG prélevé par la sortie de NBOG 145 dans le réservoir 114. Ensuite, le NBOG en excès est envoyé au circuit 140 d'échange thermique du réservoir 130, à travers lequel il sera refroidi par échange de chaleur le GNLs contenu dans ce réservoir 130. Ensuite, le NBOG en excès est dépressurisé par la vanne JT 152 à la pression de fonctionnement du ballon 150, avant d'alimenter ce ballon 150. Le ballon 150 est régulé à une pression

proche de la pression de stockage dans le réservoir 114. Grâce à l'agencement de la ligne de condensation de BOG (qui comporte l'échangeur de chaleur 142, le circuit 140, la vanne JT 152 et le ballon 150), une partie du NBOG excédentaire est condensée. Enfin, le NBOG condensé récupéré dans le ballon 5 150 est réinjecté dans le réservoir 114, par l'intermédiaire du plongeur 134. En (re)condensant ainsi le NBOG, on permet de faire baisser la pression du NBOG dans le réservoir 114.

Les avantages de ce dispositif sont nombreux et par exemple :

- Les moyens de refroidissement 170 peuvent traiter tout le NBOG excédentaire et fonctionner en continu à une capacité moyenne. Typiquement, les moyens 10 de refroidissement 170 sont dimensionnés soit pour gérer l'excès maximum de NBOG, puis fonctionnent à des capacités inférieures pour gérer les variations réelles de NBOG excédentaire, soit à une capacité équilibrée et l'excès de NBOG au-delà de cette capacité est perdu. Grâce au dispositif 110, les moyens 15 de refroidissement 170 peuvent être dimensionnés en fonction de la capacité d'excès moyenne de NBOG tout en étant capables de gérer tout l'excédent de NBOG. Pour un navire classique, le NBOG en excès moyen se situe dans la plage de 25 à 50% d'excès maximum de NBOG. Cette flexibilité pour absorber les variations, d'une part, de la production de puissance frigorifique, et d'autre 20 part, des besoins en puissance frigorifique, est accordée grâce au réservoir secondaire 130 qui est capable de stocker du GNLs plus froid que le GNL stocké dans le réservoir 114. En faisant ainsi, la puissance froide est concentrée dans le GNLs et prête à être utilisée lorsqu'elle est nécessaire, alors qu'elle est diluée à l'intérieur du volume conséquent du réservoir 114 dans l'art 25 antérieur.

- Typiquement, la puissance froide est employée pour pulvériser du GNLs dans le réservoir 114. Ce faisant, la phase vapeur dans le réservoir 114 est refroidie et partiellement condensée. En termes d'énergie, ce n'est pas idéal car une partie de l'excès de NBOG peut être utilisée pour alimenter l'installation 112. 30 Grâce au dispositif 110, une partie du NBOG est utilisée pour alimenter l'installation 112 et la puissance froide est utilisée uniquement sur le NBOG

excédentaire. Pour un navire typique, la consommation de gaz pendant l'ancrage se situe dans la plage de 15 à 30% du NBOG.

- Grâce au compresseur 126 qui équipe le navire, le NBOG excédentaire est comprimé à une pression d'entrée de l'installation 112 (typiquement de 6-7bars, de 15-17 bars ou de 300-315bars), puis refroidi par du GNLs et séparé par phases avant de revenir au réservoir principal 114. Ceci est plus efficace que la pulvérisation de GNLs dans la phase vapeur du réservoir principal 114, car il permet de refroidir davantage le NBOG excédentaire et d'en condenser une plus grande proportion grâce à la différence de pression.
- Certains moyens de refroidissement peuvent être utilisés dans des conditions particulières. Par exemple, l'évaporateur sous vide décrit dans ce qui précède peut seulement générer du froid à partir de FBOG supplémentaire nécessaire en complément du NBOG pour alimenter l'installation 112. Grâce au dispositif 110, la puissance froide générée peut être utilisée quand et où elle est nécessaire.

Les figures 9 et 10 illustrent des phases de fonctionnement du dispositif de la figure 9, qui sont naturellement applicables au dispositif de la figure 8, et qui peuvent correspondre à des phases de régime du navire équipé de ce dispositif.

1. Contrôle des conditions du réservoir (pression et température) – figure 9 ;
2. Gestion du NBOG en excès – figure 10.

1. Contrôle des conditions du réservoir (pression et température) – figure 9.

Dans le cas où le réservoir secondaire 130 n'a pas besoin d'être alimenté en GNL provenant du réservoir 114 (par exemple, les besoins en énergie sont fournis par une autre source d'énergie) et les conditions du réservoir 114 doivent être contrôlées (par exemple pression au mouillage ou température avant chargement), alors du GNLs contenu dans le réservoir secondaire 130 peut être utilisé pour refroidir le GNL contenu dans le réservoir 114, en l'acheminant par la conduite 132 puis le plongeur 134.

2. Gestion du NBOG en excès – figure 10.

Comme décrit précédemment, le NBOG en excès peut être géré en le faisant circuler par la ligne de condensation formée par l'échangeur 142, le circuit 140 d'échange de chaleur, la vanne JT 152 et le ballon 150.

La figure 11 représente une alternative.

Comme l'installation requiert une alimentation en gaz typiquement à une pression d'entrée supérieure à la pression de stockage dans le réservoir 114, le compresseur 126 permet d'acheminer le NBOG à une pression admissible par l'installation 112. Le NBOG est réchauffé lors de cette compression. De préférence, l'échangeur 142 est utilisé pour récupérer une partie du froid venant du réservoir 114. C'est une possibilité pour une meilleure performance, mais n'est pas fondamental et donc pas indispensable. Il est donc retiré dans le mode de réalisation de la figure 11. Une sortie de la vanne trois voies 146 est donc directement reliée à l'entrée du circuit 140, et la sortie de NBOG 145 du réservoir est directement reliée à l'entrée du compresseur 126.

La figure 12 représente une variante de réalisation du dispositif qui diffère de celui de la figure 9 en ce qu'il comprend un autre échangeur de chaleur 180. L'échangeur de chaleur 180 comprend deux circuits, respectivement primaire 180a et secondaire 180b.

Le circuit secondaire 180b comprend une entrée reliée à une pompe 182 immergée dans le GNLS contenu dans le réservoir secondaire 130, et une sortie reliée à une entrée de GNLS dans le réservoir 130, en vue de la réinjection de GNLS dans le réservoir après que celui-ci ait échangé des calories avec le fluide circulant dans le circuit primaire de l'échangeur 180. Le circuit primaire 180 est assimilable au circuit 140 d'échange de chaleur décrit dans ce qui précède.

Le circuit primaire 180a est un circuit chaud, le fluide circulant dans ce circuit et en l'occurrence le BOG comprimé, étant destiné à être refroidi par circulation dans ce circuit. Le circuit secondaire 180b est un circuit froid, le

fluide circulant dans ce circuit et en l'occurrence le GNLs provenant du réservoir 330, étant destiné à être refroidi par circulation dans ce circuit.

La figure 13 représente une variante de réalisation du dispositif 10 qui diffère de celui de la figure 1 en ce que le ballon 24 et le réservoir secondaire 30 sont communalisés pour former et définir une seule même cuve 90 de vaporisation forcée de GNL provenant du réservoir 14 et de stockage de GNLs ainsi produit.

Le premier tableau ci-dessous donne des exemples de valeurs pour différents paramètres de fonctionnement du dispositif selon l'invention, pour diverses gammes (large, médiane et optimale).

	Gamme large		Gamme médiane		Gamme optimale	
Pression (mbara)	120	950	300	800	500	600
Fraction de gaz évaporé après dépressurisation (moyens de dépressurisation 19) (%)	14,86 à 15,18	0,94 à 1,97	9,58 à 10,2	2,38 à 3,37	6,06 à 6,87	4,68 à 5,57
Débit de gaz refroidi fourni par la pompe 35 (t/h)	15,35 à 31,08	138 à 371,6	24,23 à 51,42	79,32 à 197,7	37,37 à 84,69	46,81 à 109,9
Débit de gaz fourni par la pompe 16a (t/h)	18,09 à 34,95	140,8 à 374,7	26,99 à 55,48	82,11 à 202,6	40,14 à 89	49,58 à 114,4
Taille du réservoir secondaire 30	1907 à 2120	20021 à 86037	2964 à 3483	10476 à 16799	4595 à 5810	5810 à 7611

s'il est relié directement à la rampe 22 (m3)						
Taille du réservoir secondaire 30 en vue de la recondensation de BOG (m3)	1312 à 1778	3506 à 32049	1714 à 2915	2989 à 12136	2160 à 5164	2405 à 7224
Température du BOG refroidi par le circuit 40 (°C)	-178,2 à -180,4	-160,6 à -159	-172,6 à -170,5	-162,5 à -161	-167,6 à -165,7	-165,7 à -164
Fraction de BOG recondensé après détente par la vanne 52 (%)	93,16 à 100	81,63 à 98,86	87,94 à 100	82,49 à 100	85 à 100	84 à 100

Le second tableau renseigne les mêmes types de paramètres mais ciblés sur des compositions plus courantes de gaz liquéfié et en particulier de gaz naturel liquéfié, tel que du méthane ou un mélange de gaz contenant du

5 méthane.

	Gamme large		Gamme médiane		Gamme optimale	
Pression (mbara)	120	950	300	800	500	600
Fraction de gaz évaporé après dépressurisation (moyens de dépressurisation 19) (%)	14,86 à 15,18	0,94 à 1,97	9,58 à 10,2	2,38 à 3,37	6,06 à 6,87	4,68 à 5,57

Débit de gaz refroidi fourni par la pompe 35 (t/h)	15,35 à 19,88	138 à 261,1	24,23 à 32,59	19,32 à 142,9	37,37 à 53,56	46,81 à 70,44
Débit de gaz fourni par la pompe 16a (t/h)	18,09 à 22,86	140,8 à 264	26,99 à 35,59	82,11 à 2146	40,14 à 56,59	49,58 à 73,48
Taille du réservoir secondaire 30 s'il est relié directement à la rampe 22 (m3)	1907 à 2028	20021 à 42375	2964 à 3317	10476 à 14470	4595 à 5504	5810 à 6750
Taille du réservoir secondaire 30 en vue de la recondensation de BOG (m3)	1312 à 1523	3506 à 5944	1714 à 2090	2989 à 4482	2160 à 2811	2405 à 3268
Température du BOG refroidi par le circuit 40 (°C)	-179,1 à -180	-160,6 à -159,5	-172,6 à -171,1	-162,5 à -161,4	-167,6 à -166,1	-165,7 à -164,7
Fraction de BOG recondensé après détente par la vanne 52 (%)	100	92,47 à 98,86	98,69 à 100	93,59 à 100	96,26 à 100	95,24 à 100

En fonction du niveau de remplissage du réservoir principal, la pression hydrostatique varie à l'extrémité inférieure de la conduite 18 (la pompe étant en général à une profondeur stable).

La température du gaz liquéfié dans le ballon 24 est égale à la « Température du BOG refroidi par le circuit 40 (°C) » moins 2 °C par exemple, ce qui correspond au « pincement » de l'échangeur.

La fraction de gaz évaporé après dépressurisation est donnée par la
5 formule :

$$X = (H_{l,u} - H_{l,d}) / (H_{v,d} - H_{l,d})$$

dans laquelle :

X est le pourcentage massique de liquide vaporisé,

$H_{l,d}$ (J/Kg) est l'enthalpie du liquide en amont à la température et à la pression
10 en amont,

$H_{v,d}$ (J/Kg) est l'enthalpie du gaz vaporisé à la pression en aval et correspondant à la température de saturation, et

$H_{l,d}$ (J/Kg) est l'enthalpie du liquide résiduel à la pression en aval et correspondant à la température de saturation.

15

REVENDEICATIONS

1. Dispositif (10, 110) de refroidissement de gaz d'évaporation naturelle pour une installation (12, 112) de production d'énergie, en particulier
5 embarquée sur un navire,
caractérisé en ce qu'il comprend :
- un réservoir principal (14, 114) de stockage de gaz liquéfié et comportant une première sortie (45, 145) de gaz d'évaporation naturelle,
 - des moyens (170) de prélèvement de gaz liquéfié dans ledit réservoir principal
10 et de refroidissement de ce gaz liquéfié,
 - un réservoir secondaire (30, 130) de gaz liquéfié refroidi configuré pour stocker du gaz liquéfié refroidi par lesdits moyens de refroidissement, et
 - un premier circuit (40, 140) d'échange de chaleur comportant une entrée reliée à ladite première sortie dudit réservoir principal en vue de la circulation de
15 gaz d'évaporation naturelle dans ledit circuit, ledit premier circuit étant configuré pour coopérer avec ledit réservoir secondaire afin que ledit gaz d'évaporation naturelle traversant ledit premier circuit soit refroidi par du gaz liquéfié refroidi stocké dans ledit réservoir secondaire ou provenant dudit réservoir secondaire.
2. Dispositif (10, 110) selon la revendication précédente, dans lequel il
20 comprend en outre :
- un premier ballon (50, 150) de séparation dont une entrée est reliée à une sortie dudit premier circuit (40, 140) en vue de l'alimentation dudit premier ballon en gaz d'évaporation naturelle refroidi et en gaz d'évaporation naturelle recondensé formant du gaz liquéfié refroidi, ledit premier ballon comportant une
25 première sortie de gaz d'évaporation naturelle et une seconde sortie de gaz liquéfié refroidi reliée audit réservoir principal en vue de l'injection de gaz liquéfié refroidi dans ledit réservoir principal.
3. Dispositif (10, 110) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel il comprend au moins un premier compresseur (26, 126) dont une entrée
30 est reliée à ladite première sortie de gaz d'évaporation naturelle dudit réservoir principal (14, 114) et/ou à ladite première sortie de gaz d'évaporation naturelle dudit premier ballon (50, 150).

4. Dispositif (10, 110) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel lesdits moyens de refroidissement comprennent un second circuit (172) d'échange de chaleur qui est destiné à coopérer par échange de chaleur avec du gaz liquéfié dudit réservoir secondaire (30, 130) ou provenant dudit réservoir
5 secondaire (30, 130), et dans lequel circule un fluide de refroidissement en vue du refroidissement dudit gaz liquéfié et la génération de gaz liquéfié refroidi.

5. Dispositif (10, 110) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel lesdits moyens de refroidissement comprennent :

- un second ballon (24) dont une entrée est reliée à une première extrémité
10 d'une première conduite (18, 118) dont une seconde extrémité est destinée à être immergée dans le gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal (14, 114), ladite première conduite étant apte à alimenter ledit second ballon en gaz liquéfié, et

- une seconde conduite (31) dont une première extrémité est reliée à une
15 première sortie de gaz liquéfié refroidi dudit second ballon, et dont une seconde extrémité est reliée audit réservoir secondaire en vue de l'alimentation en gaz liquéfié refroidi dudit réservoir secondaire (30, 130).

6. Dispositif (10, 110) selon la revendication précédente, dans lequel il comprend un premier échangeur de chaleur (60) dont un circuit primaire (60a) a
20 une entrée reliée à une sortie de gaz liquéfié dudit réservoir principal (14), et une sortie est reliée à une entrée dudit réservoir secondaire (30), en vue de l'alimentation en gaz liquéfié dudit réservoir secondaire, et un circuit secondaire (60b) a une entrée reliée à ladite première conduite (18) et une sortie reliée à l'entrée dudit second ballon (24).

25 7. Dispositif (10, 110) selon la revendication 5 ou 6, dans lequel il comprend :

- une première pompe (16a, 116a) reliée à ladite seconde extrémité de ladite première conduite (18, 118), et destinée à être immergée dans ledit gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal (14, 114), de façon à forcer la circulation
30 de gaz liquéfié à travers ladite première conduite depuis ledit réservoir principal jusqu'audit second ballon (24), et

- une seconde pompe (35) reliée à ladite seconde conduite (31) de façon à forcer la circulation de gaz liquéfié refroidi depuis ledit second ballon (24) jusqu'audit réservoir secondaire (30, 130).

8. Dispositif (10, 110) selon l'une des revendications 5 à 7, dans lequel
5 ladite première conduite (18, 118) inclut des moyens de vaporisation (19).

9. Dispositif (10, 110) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel il comprend au moins un second compresseur (28, 128) dont une entrée est reliée à ladite première sortie (45, 145) de gaz d'évaporation naturelle dudit réservoir principal (14, 114), ledit second compresseur comportant une sortie
10 reliée à ladite entrée dudit premier circuit (40, 140).

10. Dispositif (10, 110) selon la revendication précédente, en dépendance de l'une des revendications 5 à 8, dans lequel ladite entrée dudit second compresseur (28, 128) est en outre reliée à une seconde sortie de gaz dudit second ballon (24) et/ou à une seconde sortie de gaz dudit premier ballon (50,
15 150).

11. Dispositif (10, 110) selon la revendication 9 ou 10, en dépendance de la revendication 3, dans lequel ladite entrée dudit second compresseur (28) est reliée à la sortie dudit premier compresseur (26).

12. Dispositif (10, 110) selon l'une des revendications 9 à 11, dans lequel
20 ledit premier ou second compresseur (26, 28, 126) comporte une sortie apte à fournir du gaz combustible, en particulier à ladite installation (12, 112).

13. Dispositif (10, 110) selon l'une des revendications 9 à 12, dans lequel ladite entrée dudit premier circuit (40, 140) est reliée à ladite sortie dudit premier ou second compresseur (26, 28, 126) par un circuit primaire (42b,
25 142b) d'un second échangeur de chaleur (42, 142), ledit second échangeur de chaleur comportant un circuit secondaire (42a, 142a) dont une entrée est reliée à ladite première sortie (45, 145) de gaz d'évaporation naturelle dudit réservoir principal (14, 114), et dont une sortie est reliée à ladite entrée dudit premier ou second compresseur.

30 14. Dispositif (10, 110) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ledit réservoir secondaire (30, 130) est reliée à une première extrémité d'une troisième conduite (32, 132) de gaz liquéfié refroidi dont une seconde

extrémité est reliée audit réservoir principal (14, 114), ladite troisième conduite étant apte à acheminer au moins une partie dudit gaz liquéfié refroidi depuis ledit réservoir secondaire jusqu'audit réservoir principal.

15. Dispositif (10, 110) selon la revendication précédente, dans lequel ladite troisième conduite comprend un plongeur (34, 134) destiné à être immergé dans le gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal (14, 114), et/ou une rampe de pulvérisation (22, 122) située dans ledit réservoir principal, en vue de l'injection de gaz liquéfié refroidi dans ledit réservoir principal.

16. Navire, en particulier de transport de gaz liquéfié, comportant au moins un dispositif (10, 110) selon l'une des revendications précédentes.

17. Procédé d'alimentation en gaz combustible d'une installation (12, 112) de production d'énergie, en particulier embarquée sur un navire, au moyen d'un dispositif (10, 110) selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce qu'il comprend la surveillance d'au moins un paramètre de consommation de gaz par ladite installation, et

- lorsque la valeur dudit paramètre est supérieure à un seuil prédéterminé, une étape de préparation et de stockage de gaz liquéfié refroidi, par exemple dans ledit réservoir secondaire,
- lorsque la valeur dudit paramètre est inférieure à un seuil prédéterminé, une étape de recondensation de gaz d'évaporation naturelle produit en excès dans ledit réservoir principal.

18. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel du gaz liquéfié refroidi est préparé lorsque la production de gaz d'évaporation naturelle est insuffisante pour répondre à la consommation de gaz par ladite installation.

19. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel du gaz liquéfié est refroidi par prélèvement, détente, et séparation de phases de gaz liquéfié contenu dans ledit réservoir principal.

20. Procédé selon l'une des revendications 17 à 19, dans lequel ledit gaz liquéfié refroidi est stocké dans le réservoir principal afin de condenser du gaz d'évaporation naturelle dans ce réservoir, en particulier lorsque la quantité disponible de gaz d'évaporation naturelle dans ce réservoir est supérieure au besoin de ladite installation.

21. Procédé selon l'une des revendications 17 à 20, dans lequel ledit gaz d'évaporation naturelle est condensé par échange de chaleur avec ledit gaz liquéfié refroidi.
22. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel ledit gaz d'évaporation naturelle est compressé avant ledit échange de chaleur.
23. Procédé selon la revendication 21 ou 22, dans lequel ledit gaz d'évaporation naturelle est décompressé après ledit échange de chaleur.
24. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel ledit gaz d'évaporation naturelle subit une séparation de phases après ladite décompression.