

Description

Titre de l'invention : Procédé d'estimation et d'ajustement d'un bilan énergie d'un gaz sous forme liquide contenu dans une cuve

La présente invention se rapporte au domaine du transport de gaz naturel, et plus particulièrement au domaine de la régulation de température dudit gaz naturel au cours d'un tel transport.

Afin de transporter et/ou de stocker plus facilement du gaz sous forme liquide, tel que du gaz naturel sous forme liquide, sur de longues distances, le gaz est généralement liquéfié en le refroidissant à des températures cryogéniques, par exemple -163°C à la pression atmosphérique, afin d'obtenir du gaz naturel liquéfié, communément connu sous l'acronyme « GNL », ou encore « LNG » pour « Liquefied Natural Gas ». Ce gaz naturel liquéfié est ensuite chargé dans des cuves de stockages spécialisées de l'ouvrage flottant.

De telles cuves ne sont néanmoins jamais parfaitement isolées thermiquement de sorte qu'une évaporation naturelle du gaz est inévitable, ce phénomène étant appelé BOG, acronyme de l'anglais Boil-Off Gas. Les cuves de stockage de l'ouvrage flottant comprennent ainsi à la fois du gaz naturel sous une forme liquide et du gaz naturel sous forme gazeuse, la phase gazeuse du gaz naturel formant le ciel de cuve.

De façon connue, au moins une partie du gaz naturel présent dans la cuve sous forme gazeuse peut être utilisée pour alimenter un moteur prévu pour pourvoir aux besoins énergétiques de fonctionnement de l'ouvrage flottant, notamment pour sa propulsion et/ou sa production d'électricité pour les équipements de bord. A cet effet, il est notamment connu de faire circuler le gaz naturel à l'état gazeux au travers d'au moins un système de traitement du gaz naturel, de manière à permettre son réchauffement et sa compression, ledit système comprenant un échangeur de chaleur utilisé comme surchauffeur et un compresseur, tous deux placés en amont du moteur.

Il est également connu de configurer le système de traitement du gaz naturel de sorte qu'il puisse permettre la condensation d'une partie prélevée du gaz naturel à l'état

gazeux. La condensation du gaz naturel peut notamment être requise lorsque la quantité de gaz naturel évaporé dans la cuve est trop importante par rapport aux besoins énergétiques de fonctionnement de l'ouvrage flottant, le système de traitement du gaz naturel permet alors de condenser le gaz naturel évaporé présent dans la cuve afin de l'y renvoyer à l'état liquide. Un tel système de liquéfaction peut notamment être mis en œuvre lorsque l'ouvrage flottant est à l'arrêt et que la consommation de gaz naturel gazeux par son ou ses moteurs est nulle, ou quasiment nulle.

Une donnée indispensable à prendre en compte pour ce type de transport est l'état du gaz naturel sous forme liquide lorsque l'ouvrage flottant arrive à destination pour décharger sa cargaison. En effet, les stations de réception de gaz naturel sous forme liquide présentent des exigences quant aux caractéristiques du gaz naturel sous forme liquide livré, telles que la température ou la pression de saturation dudit gaz naturel sous forme liquide. Le gestionnaire de l'installation du lieu de destination peut donc refuser le déchargement de la cargaison de gaz naturel sous forme liquide si celle-ci n'est pas conforme aux exigences du lieu de destination. La température étant un facteur variable qui évolue de manière significative au cours du transport, le risque majeur pris lors de ce type de transport est que le gaz naturel à l'état liquide arrive à destination à une pression de saturation et/ou une température qui ne correspond pas aux critères attendus par le gestionnaire de l'installation du lieu de destination, impliquant ainsi un potentiel refus ou un déclassement de la cargaison.

La gestion de la température de la cargaison soulève deux problèmes directement liés à un système d'alimentation en carburant d'un consommateur de l'ouvrage flottant. Le premier problème concerne la fonction de refroidissement du système d'alimentation. L'abaissement de la température et/ou de la pression de saturation du gaz naturel sous forme liquide est superflu si celui-ci conduit à un écart très élevé par rapport aux exigences du lieu de destination. Dans cette situation, la fonction de refroidissement du système d'alimentation est utilisée de manière excessive et entraîne une consommation d'énergie inutile.

Le deuxième problème concerne la fonction de condensation du système d'alimentation. Lorsque la fonction de condensation est active, le surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide repasse en phase liquide et retourne dans la cuve de transport. Toutefois, le gaz sous forme liquide condensé peut présenter une température plus élevée que le gaz sous forme liquide présent dans la cuve. Le retour du gaz sous forme liquide condensé dans la cuve peut entraîner donc une hausse générale de la température du gaz sous forme liquide présent dans la cuve, conduisant ainsi au risque que la cargaison de gaz sous forme liquide ne soit plus conforme aux exigences du lieu de destination et entraînant un refus de la livraison. A contrario, l'inactivité de la fonction de condensation du système d'alimentation entraîne l'élimination du surplus de la phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide, par exemple par combustion ou par relargage dans l'air, et donc un gaspillage de la cargaison.

La problématique générale est donc de trouver un juste milieu entre les fonctions de condensation et de refroidissement du système d'alimentation afin que la cargaison soit conforme aux exigences du lieu de destination, mais tout en limitant la consommation d'énergie dû à l'élimination de la phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide et/ou à la surconsommation de la fonction de refroidissement du système d'alimentation. La présente invention propose donc d'optimiser l'utilisation du système de liquéfaction de manière à garantir que la cargaison à la livraison sera en dessous du critère d'acceptation par le lieu de destination, sans pour autant trop s'écarter de ce critère, de manière à éviter toute surconsommation liée à la fonction de refroidissement du système de d'alimentation.

A ce titre, l'invention consiste en un procédé d'estimation et d'ajustement d'un bilan énergie d'un gaz sous forme liquide contenu dans au moins une cuve d'un ouvrage flottant destiné à livrer ledit gaz sous forme liquide à un lieu de destination donné, l'ouvrage flottant comprenant un système d'alimentation en carburant d'un consommateur de l'ouvrage flottant apte à mettre en œuvre une fonction de condensation d'une phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide et/ou une

fonction de refroidissement du gaz sous forme liquide, caractérisé en ce que le procédé d'estimation et d'ajustement comprend les étapes suivantes :

- 5 - une étape A de calcul de la température maximale autorisée du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée sur le lieu de destination, à partir des exigences de pression de saturation maximale de gaz sous forme liquide du lieu de destination et des caractéristiques du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve,
- 10 - une étape B d'établissement d'un premier plan d'exploitation de la fonction de condensation de la phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide opérée par le système d'alimentation jusqu'à l'arrivée au lieu de destination, ledit premier plan d'exploitation étant établi à partir d'une estimation d'un surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide dans la cuve au cours d'un trajet,
- 15 - une étape C d'établissement d'un deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement du gaz sous forme liquide opérée par le système d'alimentation jusqu'à l'arrivée au lieu de destination, ledit deuxième plan d'exploitation étant établi à partir de l'estimation du surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide au cours du trajet,
- 20 - une étape D de calcul d'un bilan énergie du gaz sous forme liquide à un instant t à partir de la température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve et des propriétés du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve,
- 25 - une étape E de calcul d'un bilan énergie maximal à partir de la température maximale autorisée du gaz sous forme liquide, calculée à l'étape A, et des caractéristiques du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve,
- une étape F d'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet à partir des plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement déterminés aux étapes B et C et du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t , déterminé à l'étape D,
- une étape G d'ajustement du premier plan d'exploitation et/ou du deuxième plan d'exploitation,

- une étape H de mise en œuvre du système d'alimentation selon les plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement du gaz sous forme liquide ajustés à l'étape G.

L'ouvrage flottant peut par exemple être un navire de transport apte à stocker et/ou transporter du gaz sous forme liquide, par exemple du gaz naturel sous forme liquide, ou GNL. Le système d'alimentation en carburant d'un consommateur de l'ouvrage flottant assure la gestion de la phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide se formant dans la cuve en l'utilisant à bon escient pour l'alimentation d'un ou plusieurs consommateurs tels qu'un moteur de propulsion de l'ouvrage flottant, ou un générateur électrique de celui-ci. Parallèlement à cela, le système d'alimentation en carburant d'un consommateur de l'ouvrage flottant est apte à gérer un état du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve, et ce grâce à sa fonction de refroidissement et sa fonction de condensation. Le terme « système d'alimentation en carburant d'un consommateur de l'ouvrage flottant » est par la suite simplifié en « système d'alimentation ».

Le procédé d'estimation et d'ajustement permet de réguler les caractéristiques du gaz sous forme liquide de façon à ce qu'une cargaison de gaz sous forme liquide soit livrée au lieu de destination en présentant une pression de saturation du gaz sous forme liquide conforme aux exigences du lieu de destination, et ce tout en minimisant la consommation d'énergie nécessaire à la régulation de la température. Le terme bilan énergie est employé pour désigner une donnée chiffrée obtenue par un calcul pouvant découler d'une pluralité de constantes physiques du gaz, telles que la pression de saturation du gaz sous forme liquide ou la température du gaz sous forme liquide, ou encore de l'énergie apportée ou prélevée par les fonctions de refroidissement ou de condensation du système d'alimentation. Le procédé d'estimation et d'ajustement peut être initié avant un départ de l'ouvrage flottant et/ou durant le trajet entre un point de départ de l'ouvrage flottant, par exemple un terminal de liquéfaction de gaz, et le lieu de destination où la cargaison de gaz sous forme liquide est livrée. La cuve contenant le gaz sous forme liquide est une cuve conforme et adaptée au transport d'une telle cargaison,

et il peut par exemple s'agir d'une cuve à membranes primaire et secondaire, chacune des membranes étant thermiquement isolée.

Le procédé d'estimation et d'ajustement débute par l'étape A qui consiste d'une manière générale à déterminer les conditions d'acceptation de la cargaison de gaz sous forme liquide par le lieu de destination, plus particulièrement la température maximale autorisée du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée. Il est toutefois possible de raisonner en termes de pression de saturation du gaz sous forme liquide ou une autre valeur liée à la pression et/ou à la température. Le calcul d'une telle valeur cible à ne pas dépasser dépend des exigences en pression de saturation du gaz sous forme liquide et de la température du gaz sous forme liquide du lieu de destination et de caractéristiques constantes du gaz. Ainsi, on comprend bien que l'exigence du terminal recevant le gaz sous forme liquide a pour but d'éviter une vaporisation massive du gaz naturel lors de son transfert entre le bateau et le terminal en imposant des conditions d'acceptation de la cargaison.

La température maximale autorisée du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée dépend des propriétés du gaz sous forme liquide transportée que sont la masse totale de gaz sous forme liquide et la capacité calorifique massique du gaz sous forme liquide. Ces deux données peuvent par exemple être apportés par un quelconque document relatif à la cargaison, tel qu'une fiche technique, et peuvent être prises en compte par le système d'alimentation, par exemple par le biais d'un moniteur de commande.

La température maximale autorisée du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée calculée par le procédé d'estimation et d'ajustement dépend également des exigences de pression de saturation maximale du gaz sous forme liquide déterminées par le gestionnaire de l'installation du lieu de destination. Une telle donnée est également connue par le biais d'une quelconque source d'information fournie par le lieu de destination et peut également être enregistrée dans le système d'alimentation d'une manière identique à ce qui a été décrit précédemment.

- Les étapes B et C consistent en la mise en place d'un plan d'exploitation pour chacune des fonctions du système d'alimentation. Par plan d'exploitation, il faut comprendre un déroulé de l'activité de chacune des fonctions au cours du trajet permettant de parvenir au lieu de destination. Chacune des fonctions, à savoir la fonction de condensation et la
- 5 fonction de refroidissement, est soit active, soit inactive et le système d'alimentation peut passer d'un mode à l'autre. Le plan d'exploitation de chacune des fonctions détermine donc des séquences actives et inactives de chacune des fonctions au cours du trajet, qui se traduisent par un réchauffement ou un refroidissement de la cargaison, selon le cas.
- Lorsque l'on qualifie les fonctions de condensation et de refroidissement comme étant
- 10 actives, cela signifie que le système d'alimentation est autorisé à mettre en œuvre ses fonctions de condensation et/ou de refroidissement. A contrario, lorsque l'on qualifie les fonctions de condensation et de refroidissement comme étant inactives, cela signifie que le système d'alimentation n'est pas autorisé à mettre en œuvre ses fonctions de condensation et/ou de refroidissement. Lorsque la fonction de refroidissement est active,
- 15 le système d'alimentation est autorisé à refroidir le gaz sous forme liquide sous réserve qu'il y ait présence de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide. Lorsque la fonction de condensation est active, le système d'alimentation est apte à condenser le gaz sous forme liquide sous réserve qu'il y ait présence de surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide.
- 20 Lorsque la fonction de condensation est active, la température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve peut avoir tendance à augmenter. Concernant la fonction de refroidissement, celle-ci entraîne un abaissement de la température lorsqu'elle est activée. La température varie différemment lorsque les deux fonctions agissent de manière simultanée, ou peut varier naturellement en fonction des conditions environnementales
- 25 lors du trajet. On comprend toutefois que les variations de température majeures survenant au cours du trajet dépendent de l'activation des plans d'exploitation mis en œuvre lors des étapes B et C du procédé d'estimation et d'ajustement.
- Les plans d'exploitation des fonctions de condensation ou de refroidissement du système d'alimentation sont donc des logigrammes déterminant à quel instant t du trajet

chacune des fonctions doit s'activer ou se désactiver. Il est également possible que le plan d'exploitation consiste en un maintien actif ou inactif de l'une ou l'autre des fonctions et ce durant l'intégralité du trajet.

5 Chacun de ces plans d'exploitation est déterminé à partir de l'estimation du surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide au cours du trajet. La phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide émane de la cuve de transport de manière naturelle ou bien de manière forcée. Cette phase gazeuse peut par la suite être utilisée pour alimenter l'ouvrage flottant, par exemple le moteur permettant la propulsion de l'ouvrage flottant, ou bien un générateur alimentant l'ouvrage flottant en
10 électricité. La phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide non utilisée pour alimenter l'ouvrage flottant représente le surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide. Lorsque la fonction de condensation et la fonction de refroidissement agissent de manière simultanée, cela signifie qu'il y a un surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide circulant au sein du système
15 d'alimentation.

La présence de surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide peut être détectée par un système tiers au système de gestion de l'invention ou directement par le biais du procédé d'estimation et d'ajustement selon l'invention.

L'étape D du procédé d'estimation et d'ajustement consiste à calculer le bilan énergie du
20 gaz sous forme liquide à l'instant t , c'est-à-dire à partir de données mesurées à l'instant t . L'étape D est indépendante des étapes B et C et peut ainsi se dérouler de manière simultanée ou antérieure aux étapes B et C. Le calcul du bilan énergie lors de l'étape D dépend de la masse totale de gaz sous forme liquide et de la capacité calorifique massique du gaz sous forme liquide, constantes utilisées lors de l'étape A, ainsi que de la
25 température moyenne du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'instant t . Plus particulièrement, le bilan d'énergie du gaz sous forme liquide est calculé à partir de la formule suivante :

$$Be = m_{Gaz} \times Cp \times T$$

Be étant le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t , m_{Gaz} étant la masse totale du gaz sous forme liquide, C_p étant la capacité calorifique massique du gaz sous forme liquide et T étant la température du gaz sous forme liquide à l'instant t .

La température du gaz sous forme liquide peut être mesurée par au moins un capteur de température disposé dans la cuve. Ladite température est alors prise en compte lors du calcul de l'étape D. La température peut être adressée sous forme d'une moyenne, par exemple si plusieurs capteurs de température sont mis en place dans la cuve, ou si l'ouvrage flottant comprend plusieurs cuves, chacune étant pourvue d'un ou plusieurs capteurs de température. Le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t calculé lors de cette étape D est utilisé lors de la suite du procédé d'estimation et d'ajustement.

L'étape E consiste en un calcul d'un bilan énergie similaire au bilan énergie calculé à l'étape D, mais le bilan énergie de l'étape E est le bilan énergie maximal, relatif à la température maximale autorisée du gaz sous forme liquide calculé à l'étape A. Le calcul du bilan énergie maximal calculé lors de l'étape E est indépendant du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t calculé à l'étape D. Les étapes D et E peuvent donc être effectuées de manière simultanée ou bien l'une après l'autre dans un ordre quelconque. Le bilan énergie maximal est calculé à partir de la masse totale de gaz sous forme liquide du gaz sous forme liquide, de la capacité calorifique massique du gaz sous forme liquide, et de la température maximale autorisée du gaz sous forme liquide. Ainsi, le calcul effectué à l'étape E est similaire au calcul effectué à l'étape D, avec la température maximale autorisée du gaz sous forme liquide à la place de la température mesurée dans la cuve de l'ouvrage flottant.

Lors de l'étape F, le procédé d'estimation et d'ajustement calcule une estimation d'un bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée. Autrement dit, le procédé d'estimation et d'ajustement permet de prédire les caractéristiques du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée de l'ouvrage flottant sur son lieu de destination, notamment le bilan énergie de celui-ci. Pour estimer le bilan d'énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet, le procédé d'estimation et d'ajustement utilise le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t calculé lors

de l'étape D, ainsi que les plans d'exploitation des fonctions de refroidissement et de condensation du système d'alimentation calculés aux étapes B et C. Le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t calculé lors de l'étape D constitue un point de départ de l'estimation en termes de pression de saturation du gaz sous forme liquide et de température du gaz sous forme liquide. Les plans d'exploitation des fonctions de refroidissement et de condensation calculés aux étapes B et C font également partie de l'estimation, car ils influent sur la température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve comme cela a été mentionné précédemment. A partir de ces trois données, le procédé d'estimation et d'ajustement est capable de déterminer le bilan énergie du gaz sous forme liquide une fois l'ouvrage flottant arrivé au lieu de destination en prenant en compte les plans d'exploitation des fonctions de refroidissement et de condensation établis précédemment. Le bilan énergie du gaz sous forme liquide englobant une pluralité de caractéristiques, il est également possible de raisonner en termes de pression de saturation du gaz sous forme liquide, de température ou de quantité d'échanges thermiques. En estimant ainsi le bilan énergie de la cargaison à l'arrivée, on peut ajuster les plans d'exploitation pour que la pression de saturation du gaz sous forme liquide à l'arrivée le rende admissible.

L'étape G consiste alors en un ajustement des plans d'exploitation en fonction d'un comparatif entre le bilan énergie maximale calculé à l'étape E et l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet calculée à l'étape F. En fonction dudit comparatif, le premier plan d'exploitation de la fonction de condensation et/ou le deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement peuvent être ajustés. L'ajustement peut consister en un arrêt de l'une et/ou l'autre des fonctions, l'arrêt pouvant être instantané ou programmé au bout d'un certain laps de temps. L'une et/ou l'autre des fonctions peuvent également être mises ou remises en fonctionnement, également de manière instantanée ou programmée. Ainsi, le premier plan d'exploitation de la fonction de condensation et/ou le deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement sont modifiés à partir des données calculées ou estimées lors des étapes E et F.

L'étape H consiste en la mise en œuvre des plans d'exploitation ajustés. Autrement dit, le système d'alimentation ne prend plus en compte les plans d'exploitation établis lors des étapes B et C, qui sont remplacés par les plans d'exploitation ajustés lors de l'étape G. Les plans d'exploitation ajustés sont transmis au système d'alimentation à l'issue du
5 déroulé du procédé d'estimation et d'ajustement. Le système d'alimentation peut donc mettre en œuvre le refroidissement et/ou la condensation du gaz sous forme liquide, les maintenir actives ou les désactiver, et ce en fonction des plans d'exploitation ajustés respectifs qui lui ont été transmis.

Selon une caractéristique de l'invention, l'étape G consiste à une activation de la
10 fonction de condensation tant que l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet, calculée à l'étape F, est inférieure au bilan énergie maximal calculé à l'étape E. Lorsque l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet est inférieure au bilan
15 énergie maximal, cela signifie qu'à l'arrivée du trajet, la cargaison de gaz sous forme liquide sera par exemple à une pression de saturation du gaz sous forme liquide inférieure aux prérequis définis par le lieu de destination. Si cette situation survient au cours du trajet, il n'y a pas d'inconvénient à ajuster les plans d'exploitation des fonctions du système d'alimentation de manière à autoriser et maîtriser une hausse de la
température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve. Ainsi, si ce n'est pas déjà le
20 cas, l'ajustement du premier plan d'exploitation de la fonction de condensation peut consister au maintien de cette dernière active tout le long du trajet. Le surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide est donc intégralement condensé au lieu d'être possiblement éliminé. Il n'y a donc pas de pertes de gaz sous forme liquide contenu dans la cuve, si ce n'est la phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide
25 et utilisée pour l'alimentation de l'ouvrage flottant.

Dans cette situation, la fonction de condensation est active. Autrement dit, le système d'alimentation est autorisé à condenser le surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide en cas de présence de celui-ci. La condensation du gaz sous forme liquide peut varier en termes d'activité, et ce en fonction d'un besoin de gestion du

surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide. La condensation du gaz sous forme liquide peut par exemple se faire de manière plus soutenue en cas d'excès de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide dans la cuve, afin de diminuer la pression au sein de cette dernière.

- 5 Selon une caractéristique de l'invention, l'étape G consiste en un arrêt de la fonction de refroidissement à un instant estimé dt qui garantit que l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet, calculée à l'étape F, est inférieure au bilan énergie maximal calculé à l'étape E. Après l'ajustement du premier plan d'exploitation de la fonction de condensation qui consiste au maintien de celle-ci
- 10 tout le long du trajet, il est possible que l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'arrivée soit toujours inférieure aux exigences du lieu de destination. Il est donc envisageable d'ajuster le deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement afin de que cette dernière soit désactivée à l'instant estimé dt . Un tel ajustement permet d'économiser l'énergie consommée par la fonction de refroidissement durant le laps de
- 15 temps où celle-ci est désactivée. Cela entraîne une hausse de température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve, de par le fait que le gaz sous forme liquide n'est plus refroidi par la fonction de refroidissement. C'est pourquoi l'instant estimé dt où la fonction de refroidissement est stoppée est établi de sorte à ce que le gaz sous forme liquide contenu dans la cuve augmente en température mais que cette augmentation
- 20 n'entraîne pas un dépassement des exigences au moment où le gaz sous forme liquide sera livré sur le lieu de destination à l'arrivée du trajet.

- Pour ce faire, le procédé d'estimation et d'ajustement va successivement répéter l'ajustement du deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement et l'étape F, soit l'étape de l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la
- 25 cuve à l'arrivée. L'ajustement du deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement consiste à déterminer l'instant estimé dt , en prenant l'arrivée au lieu de destination comme cible. L'instant estimé dt est alors déterminé comme étant antérieur à un certain laps de temps par rapport à l'arrivée, par exemple plusieurs jours ou heures. Le procédé d'estimation et d'ajustement recalcule ensuite l'estimation du bilan énergie

du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée, cette fois en prenant en compte le nouvel ajustement du deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement, c'est-à-dire l'arrêt de celle-ci par exemple plusieurs jours ou heures avant l'arrivée au lieu de destination. Si l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée n'est plus inférieure au bilan énergie maximal calculé à l'étape E, alors le procédé d'estimation et d'ajustement se poursuit normalement avec l'étape H. Si l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée est toujours inférieure au bilan maximal, le procédé d'estimation et d'ajustement répète alors l'ajustement du deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement en antériorisant encore l'instant estimé dt de par exemple plusieurs jours ou heures avant l'arrivée au lieu de destination. Puis, l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée est à nouveau calculée en prenant en compte le nouvel ajustement. Ainsi, tant que l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée est inférieure au bilan énergie maximal, l'instant estimé dt est repoussé dans le temps. Cette boucle permet de déterminer l'instant estimé dt le plus proche de l'instant t actuel, et ainsi de désactiver la fonction de refroidissement le plus tôt possible afin d'économiser un maximum d'énergie. Une fois l'instant estimé dt définitif déterminé, le procédé d'estimation et d'ajustement se poursuit avec l'étape H.

Selon une caractéristique de l'invention, l'étape G consiste en un arrêt de la fonction de condensation tant que l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet, calculée à l'étape F, est supérieure au bilan énergie maximal calculé à l'étape E. Lorsque l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet est supérieure au bilan énergie maximal, cela signifie que la cargaison de gaz sous forme liquide sera à une pression de saturation du gaz sous forme liquide trop élevée par rapport aux exigences du lieu de destination à l'arrivée de l'ouvrage flottant. Afin d'éviter une telle situation, il convient de limiter toute action entraînant une hausse de température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve. Ainsi, le premier plan d'exploitation de la fonction de condensation est ajusté afin d'entraîner un arrêt de la fonction de condensation du système d'alimentation

à un instant donné d't où le bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve dépasse le bilan énergie maximal. La fonction de condensation peut éventuellement être réactivée si l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet redevient inférieure au bilan énergie maximal par la suite.

- 5 Selon une caractéristique de l'invention, l'étape G consiste à une activation de la fonction de refroidissement tant que l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet, calculée à l'étape F, est supérieure au bilan énergie maximal calculé à l'étape E. Dans cette situation, il est indispensable de faire diminuer la température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve. Ainsi,
- 10 dans le même temps que le premier plan d'exploitation de la fonction de condensation est ajusté afin que celle-ci soit désactivée à l'instant donné d't, le deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement est également ajusté afin que la fonction de refroidissement soit active jusqu'à l'arrivée de l'ouvrage flottant au lieu de destination, et ce dans le but que la pression de saturation du gaz sous forme liquide réponde aux
- 15 exigences du lieu de destination.

Dans cette situation, la fonction de refroidissement est donc active. Autrement dit, le système d'alimentation est autorisé à refroidir le gaz sous forme liquide contenu dans la cuve. Le système d'alimentation refroidit le gaz sous forme liquide selon une activité la plus élevée possible par rapport à une configuration dudit système d'alimentation.

- 20 Selon une caractéristique de l'invention, le procédé d'estimation et d'ajustement est répété par itération à partir de l'étape B et pendant le trajet de l'ouvrage flottant. Le temps de trajet de l'ouvrage flottant entre son point de départ et le lieu de destination est variable selon la livraison, mais le trajet peut durer plusieurs jours, voire plusieurs semaines. L'estimation peut par exemple être faussée sur le moyen ou le long terme par
- 25 des conditions environnementales, telles que la météo ou l'état de la mer pour le transport maritime. Ainsi, afin de parvenir à l'objectif désiré, le procédé d'estimation et d'ajustement doit être répété régulièrement au cours du trajet. De ce fait, le procédé d'estimation et d'ajustement peut par exemple être paramétré pour se lancer à un intervalle de temps régulier, par exemple toutes les six heures.

L'étape A repose sur un calcul dépendant de valeurs fixes. Il n'est donc pas nécessaire de réitérer cette étape après avoir lancé le procédé d'estimation et d'ajustement une première fois. Le procédé d'estimation et d'ajustement est donc répétable par itération à partir de l'étape d'établissement du premier plan d'exploitation de la fonction de condensation du système d'alimentation.

Selon une caractéristique de l'invention, le procédé d'estimation et d'ajustement comprend une étape supplémentaire D', effectuée de manière simultanée à l'étape D, de calcul du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t à partir de l'exécution des fonctions de condensation et de refroidissement depuis le départ de l'ouvrage flottant et jusqu'à l'instant t et à partir d'un bilan énergie du gaz sous forme liquide à un instant t calculé lors d'une itération antérieure. Le calcul du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t effectué à l'étape D' ne prend plus en compte la température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'instant t relevé par exemple par le capteur de température, mais un bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t calculé précédemment. Autrement dit, l'étape D' ne s'exécute que si le procédé d'estimation et d'ajustement a déjà été mis en œuvre une première fois. D'une manière avantageuse, le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t est calculé à partir du bilan énergie du gaz sous forme liquide à un instant t antérieur, soit le bilan énergie du gaz sous forme liquide issu de la précédente itération du procédé d'estimation et d'ajustement, pouvant avoir été calculé lors de l'étape D ou D'.

Le calcul du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t lors de l'étape D' prend également en compte l'exécution des fonctions de condensation et de refroidissement depuis le départ de l'ouvrage flottant et jusqu'à l'instant t . Pour la fonction de condensation, cela correspond à des données relatives à la chaleur transmise à la cuve et entraînant une hausse générale de la température de celle-ci, illustrée par exemple par un différentiel de la température en entrée et en sortie d'un échangeur de chaleur assurant la fonction de condensation. Pour la fonction de refroidissement, cela correspond à des données relatives au froid transmis à la cuve et entraînant une baisse générale de la

température de celle-ci, illustré par exemple par un différentiel de la température en entrée et en sortie d'un échangeur de chaleur assurant la fonction de refroidissement.

Selon une caractéristique de l'invention, le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t conservé pour l'étape F est le plus élevé parmi le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t calculé à l'étape D et le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t calculé à l'étape D'. Autrement dit, lorsque par la suite le procédé d'estimation et d'ajustement parvient à l'étape F, soit l'étape d'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve estimé à l'arrivée, c'est le bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'instant t ayant la valeur la plus élevée parmi le résultat obtenu à l'étape D et le résultat obtenu à l'étape D' qui est utilisé pour l'estimation de l'étape F. Le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t ayant la valeur la plus élevée est considéré comme étant le résultat le plus pessimiste. L'objectif étant de ne pas dépasser le bilan énergie maximal du lieu de destination, il convient de conserver le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t le plus élevé par mesure de sûreté.

Selon une caractéristique de l'invention, le procédé d'estimation et d'ajustement comprend une étape supplémentaire A' de sélection d'une marge de sécurité du bilan énergie maximal du gaz sous forme liquide en fonction des caractéristiques du trajet de l'ouvrage flottant, l'étape E étant effectuée en prenant en compte ladite marge de sécurité. Afin d'être certain que l'ouvrage flottant n'arrive pas au lieu de destination avec une cargaison de gaz sous forme liquide dont le bilan énergie est supérieur aux exigences dudit lieu de destination, il est possible de prendre en compte une marge de sécurité pour diminuer virtuellement la valeur du bilan énergie maximal. Ainsi, lors de l'étape E, le calcul du bilan énergie maximal est toujours calculé en fonction de la température maximale autorisée du gaz sous forme liquide calculé à l'étape A, mais également en prenant en compte la marge de sécurité. On obtient alors un bilan énergie maximal sécurisé, d'une valeur inférieure au bilan énergie maximal réel. Lors de la suite du procédé d'estimation et d'ajustement, le premier plan d'exploitation de la fonction de condensation et le deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement sont

ajustés en fonction du comparatif entre l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet et un bilan énergie maximal virtuel, c'est-à-dire qui prend en compte la marge de sécurité. La marge de sécurité garantit ainsi la certitude de se maintenir sous le bilan énergie maximal réel.

- 5 La marge de sécurité peut être choisie en fonction de différents paramètres. Par exemple, plus le trajet est long, plus il est préférable de sélectionner une marge de sécurité élevée. Une marge de sécurité élevée est également recommandée en cas de manque d'informations concernant les conditions météorologiques au cours du trajet. La marge de sécurité peut par exemple être entrée manuellement par le biais du moniteur de
- 10 commande, ou encore être programmée pour être variable au cours du temps.

La marge de sécurité étant utilisée pour le calcul de l'étape E, l'étape A' est donc antérieure à l'étape E au cours du procédé d'estimation et d'ajustement.

- Selon une caractéristique de l'invention, l'étape A' est répétée par itération au cours du trajet de l'ouvrage flottant. La répétition de l'étape A' peut être indépendante de la
- 15 répétition du procédé d'estimation et d'ajustement, ou bien faire partie de celui-ci. L'étape A' peut également être enclenchée manuellement, par exemple suite à l'apparition d'un phénomène météorologique imprévu. Il peut alors être judicieux d'augmenter manuellement la valeur de la marge de sécurité pour pallier l'incertitude dû audit phénomène météorologique.

- 20 Selon une caractéristique de l'invention, la marge de sécurité diminue au fur et à mesure que l'ouvrage flottant s'approche du lieu de destination. Autrement dit, plus l'ouvrage flottant se rapproche de son lieu de destination, moins la marge de sécurité nécessite d'être élevée. Il est donc possible de programmer une marge de sécurité dégressive au cours du temps.

- 25 Selon une caractéristique de l'invention, l'ouvrage flottant est équipé au moins d'un moteur alimenté au moins partiellement par la phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide, l'estimation du surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide au cours du trajet étant établie à partir d'une valeur image des entrées de chaleur dans la cuve et d'une estimation de la consommation du moteur. Comme cela a été dit

précédemment, l'ouvrage flottant peut être apte à utiliser la phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide, voire à la créer, pour par exemple alimenter son moteur de propulsion et/ou son générateur d'électricité. La phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide non utilisée pour ces différentes fonctions correspond au surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide. Ce dernier nécessite d'être estimé en quantité afin que les étapes B et C du procédé d'estimation et d'ajustement, c'est-à-dire les étapes d'établissement des plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement du système d'alimentation, puissent se dérouler. La valeur image des entrées de chaleur dans la cuve peut par exemple dépendre du modèle de cuve utilisé et donc être disponible comme une caractéristique technique de la cuve. La valeur image des entrées de chaleur dans la cuve peut également être estimée à l'aide de capteurs.

La consommation du moteur peut être estimée si l'ouvrage flottant est équipé d'un module permettant de définir un plan de route pour le trajet vers le lieu de destination. Si ce n'est pas le cas, la consommation du moteur peut être estimée à partir de la vitesse moyenne de l'ouvrage flottant sur le trajet restant, cette dernière dépendant de la distance restante à parcourir et du temps restant pour parvenir au lieu de destination.

Le surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide peut ainsi être estimé par le biais d'une source externe au procédé d'estimation et d'ajustement, et par exemple être entré par le biais du moniteur de commande afin d'être pris en compte lors du déroulement du procédé d'estimation et d'ajustement. Ce surplus peut alors être quantifié en tonnes/heure.

L'invention couvre également un système de gestion d'un bilan énergie d'un gaz sous forme liquide contenu dans au moins une cuve d'un ouvrage flottant, mettant en œuvre le procédé d'estimation et d'ajustement tel que décrit précédemment, ledit système de gestion comprenant au moins un système d'alimentation en carburant d'un consommateur de l'ouvrage flottant et au moins un calculateur ayant pour fonction d'estimer une quantité de surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide au cours d'un trajet de l'ouvrage flottant.

Un tel système de gestion du bilan énergie comprend le système d'alimentation en carburant d'un consommateur de l'ouvrage flottant mettant en œuvre les fonctions de condensation et de refroidissement, et permet le déroulement du procédé d'estimation et d'ajustement.

- 5 Afin d'assurer le bon déroulement du procédé d'estimation et d'ajustement, notamment les étapes B et C établissant respectivement le premier plan d'exploitation de la fonction de condensation de la phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide et le deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement du gaz sous forme liquide opérée par le système d'alimentation, le calculateur peut transmettre l'estimation de la
- 10 quantité de surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide, indispensable pour procéder aux étapes B et C. Le système de gestion du bilan énergie peut également comprendre le moniteur de commande évoqué précédemment.

- L'invention couvre également un ouvrage flottant de transport de gaz sous forme liquide comprenant un système de gestion du bilan énergie dudit gaz tel que décrit
- 15 précédemment.

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

- 20 [fig 1] est une représentation schématique d'un ouvrage flottant chargé en gaz sous forme liquide et effectuant un trajet vers un lieu de destination,
- [fig 2] est une représentation schématique d'un mode de réalisation d'un système de gestion de la température du gaz sous forme liquide selon l'invention,
- [fig 3] est une représentation schématique d'un déroulement d'un procédé d'estimation
- 25 et d'ajustement d'un bilan énergie du gaz sous forme liquide selon l'invention, lorsque celui-ci est lancé pour la première fois,

[fig 4] est une représentation schématique d'un déroulement du procédé d'estimation et d'ajustement du bilan énergie du gaz sous forme liquide selon l'invention, lorsque celui-ci est lancé par itération,

5 [fig 5] est un schéma général illustrant un système d'alimentation en carburant d'un consommateur de l'ouvrage flottant apte à exécuter une pluralité de commande en fonction du procédé d'estimation et d'ajustement,

[fig 6] est un schéma du système d'alimentation selon un premier mode de réalisation spécifique,

10 [fig 7] est un schéma du système d'alimentation selon un deuxième mode de réalisation spécifique,

[fig 8] est une courbe représentant l'évolution du bilan énergie du gaz sous forme liquide en fonction du temps ainsi que des plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement, dans une situation où ledit bilan énergie du gaz sous forme liquide est estimé comme étant trop faible à l'arrivée,

15 [fig 9] est une courbe représentant l'évolution du bilan énergie du gaz sous forme liquide en fonction du temps ainsi que les plans d'exploitation ajustés des fonctions de condensation et de refroidissement, pour pallier la situation évoquée à la figure 8,

[fig 10] est une courbe représentant l'évolution du bilan énergie du gaz sous forme liquide en fonction du temps ainsi que les plans d'exploitation de fonctions de condensation et de refroidissement, dans une situation où ledit bilan énergie du gaz sous
20 forme liquide est estimé comme étant trop élevé à l'arrivée,

[fig 11] est une courbe représentant l'évolution du bilan énergie du gaz sous forme liquide en fonction du temps ainsi que les plans d'exploitation ajustés des fonctions de condensation et de refroidissement, pour pallier situation évoquée à la figure 10,

25 [fig 12] est une courbe représentant un premier exemple de l'évolution d'une valeur d'une marge de sécurité en fonction du temps,

[fig 13] est une courbe représentant un deuxième exemple de l'évolution de la valeur de la marge de sécurité en fonction du temps.

Afin de visualiser le contexte dans lequel s'inscrit l'invention, la figure 1 représente un ouvrage flottant 1 se dirigeant vers un lieu de destination 2 selon un trajet 3. L'ouvrage flottant 1 représenté est ici un navire de transport, par exemple un méthanier. L'ouvrage flottant 1 transporte une cargaison de gaz sous forme liquide dans le but de livrer cette dernière au lieu de destination 2. Afin d'assurer un tel transport, l'ouvrage flottant 1 comprend au moins une cuve 9.

Le lieu de destination 2 est un terminal destiné à recevoir le gaz sous forme liquide contenu dans la cuve 9 de l'ouvrage flottant 1. Lorsque ce dernier atteint le lieu de destination 2, le gaz sous forme liquide est déchargé par exemple dans un réservoir 40. Le lieu de destination 2 impose toutefois des exigences concernant les caractéristiques du gaz sous forme liquide. Les exigences du lieu de destination 2 peuvent varier selon le gestionnaire de l'installation auquel le lieu de destination 2 est rattaché, et concernent principalement des caractéristiques du gaz sous forme liquide, par exemple sa pression de saturation et/ou sa température.

Si le gaz sous forme liquide contenu dans la cuve 9 de l'ouvrage flottant 1 ne répond pas à ces exigences de pression de saturation du gaz sous forme liquide, la cargaison de gaz sous forme liquide peut potentiellement être refusée par le gestionnaire de l'installation du lieu de destination 2.

Afin d'éviter cela, la cargaison de gaz sous forme liquide doit être étroitement surveillée tout au long du trajet 3. Le trajet 3 présente une distance variable et peut durer plusieurs jours, voire plusieurs semaines selon la distance entre un lieu de chargement et le lieu de destination 2 et la vitesse de l'ouvrage flottant 1.

La figure 2 représente schématiquement un système de gestion 4 d'un bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve de l'ouvrage flottant. Le bilan énergie du gaz sous forme liquide correspond à une donnée englobant diverses caractéristiques dudit gaz, tels que sa température, sa pression de saturation, sa masse totale de gaz sous forme liquide ou sa capacité calorifique massique par exemple. Le système de gestion 4

- comprend un boîtier de commande 41 ayant en mémoire un procédé d'estimation et d'ajustement 5 du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve de l'ouvrage flottant. Le boîtier de commande 41 est ainsi apte à initier le procédé d'estimation et d'ajustement 5 de manière régulière et automatisée et/ou suite à une
- 5 commande manuelle exercée par exemple par le biais d'un moniteur de commande 6. Il est également possible d'entrer manuellement des données par le biais du moniteur de commande 6, par exemple des caractéristiques du gaz sous forme liquide transporté, ou toute autre information utile pour le déroulement du procédé d'estimation et d'ajustement 5 tel que cela sera précisé par la suite.
- 10 Le système de gestion 4 comprend également un système d'alimentation 8 en carburant d'un consommateur de l'ouvrage flottant. Le système d'alimentation 8 a pour fonction de condenser et/ou de refroidir le gaz sous forme liquide contenu dans la cuve et est apte à ajuster l'une ou l'autre de ces fonctions par activation ou désactivation de ces dernières. L'ajustement des fonctions de condensation et de refroidissement du système
- 15 d'alimentation 8 dépend du résultat du procédé d'estimation et d'ajustement 5. Ainsi, lorsque ce dernier s'achève, le boîtier de commande 41 envoie un signal au système d'alimentation 8, ledit signal indiquant les ajustements à effectuer par le système d'alimentation 8.
- 20 Le système de gestion 4 comprend également un calculateur 7. Le calculateur 7 a pour fonction d'estimer une quantité de surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide au cours du trajet de l'ouvrage flottant. La phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide se fait naturellement au sein de la cuve de gaz sous forme liquide, ou bien peut être forcée. L'estimation de surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide est calculée grâce à une estimation de la consommation du moteur de
- 25 l'ouvrage flottant et à une valeur image des entrées de chaleur dans la cuve. Le calculateur 7 et le boîtier de commande 41 peuvent faire partie d'une même unité de contrôle ou bien être indépendant l'un de l'autre.
- L'estimation de la consommation du moteur de l'ouvrage flottant peut être faite grâce à l'entrée d'un plan de route dans le moniteur de commande 6 qui transmet l'information

au calculateur 7, ou bien par le calcul d'une vitesse moyenne de l'ouvrage flottant à partir de la distance restante entre une position de l'ouvrage flottant et le lieu de destination et du temps restant pour y parvenir. Le calcul de la vitesse moyenne de l'ouvrage flottant peut également être effectué en rentrant des données dans le moniteur
5 de commande 6 qui transmet l'information au calculateur 7.

La valeur image des entrées de chaleur dans la cuve peut correspondre à une valeur de design des entrées de chaleur dans la cuve, ou également à une estimation des entrées de chaleur dans la cuve. La valeur design des entrées de chaleur dans la cuve dépend du modèle de cuve utilisée pour le transport et peut être donnée au calculateur 7 par le biais
10 du moniteur de commande 6. L'estimation des entrées de chaleur dans la cuve peut également être communiquée par des capteurs inclus dans ladite cuve.

Une fois que le surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide au cours du trajet est estimé par le calculateur 7, ce dernier transmet le résultat au boîtier de commande 41. Le surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide au
15 cours du trajet est une donnée permettant le déroulement du procédé d'estimation et d'ajustement 5 tel que cela sera décrit par la suite.

La figure 3 est une représentation schématique du procédé d'estimation et d'ajustement 5 du bilan énergie du gaz sous forme liquide selon l'invention. Ce schéma représente le déroulé du procédé d'estimation et d'ajustement 5 lorsque celui-ci est lancé pour la
20 première fois lors du trajet vers le lieu de destination. Le procédé d'estimation et d'ajustement 5 peut être lancé une première fois avant le départ ou au départ de l'ouvrage flottant. Sur la figure 3, les flèches pleines représentent le déroulé de chacune des étapes du procédé d'estimation et d'ajustement 5, et les flèches en pointillées correspondent à une transmission de données entre deux étapes du procédé d'estimation et d'ajustement 5 ou entre un élément du système de gestion du bilan énergie du gaz
25 sous forme liquide et une étape du procédé d'estimation et d'ajustement 5.

Lorsque le procédé d'estimation et d'ajustement 5 est lancé une première fois, celui-ci débute par une étape A qui permet de calculer la température maximale autorisée du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée sur le lieu de destination. Le calcul de

l'étape A dépend de certaines caractéristiques constantes du gaz sous forme liquide telles que la masse totale de gaz sous forme liquide et la capacité calorifique massique de celui-ci. De telles caractéristiques dépendent du type de gaz sous forme liquide transporté et sont connues d'une manière ou d'une autre par le personnel de l'ouvrage flottant. Ainsi, 5 la masse totale de gaz sous forme liquide et la capacité calorifique massique du gaz sous forme liquide peuvent être entrées ou être présélectionnées par le biais du moniteur de commande 6 et être transmises pour le calcul de l'étape A du procédé d'estimation et d'ajustement 5. Le calcul de l'étape A dépend également des exigences de pression de saturation maximale du gaz sous forme liquide du lieu de destination. Ces exigences 10 variant en fonction du lieu de destination, la valeur de pression de saturation maximale exigée du gaz sous forme liquide est connue dès lors que le lieu de destination est connu. Les exigences de pression de saturation du gaz sous forme liquide peuvent être entrées par le biais du moniteur de commande 6 ou être connues, par exemple par le biais d'une base de données répertoriant l'ensemble des lieux de destination habilités à la réception 15 et au déchargement de gaz sous forme liquide.

Une fois le calcul de l'étape A effectué, le procédé d'estimation et d'ajustement 5 peut passer directement à une étape B, ou bien passer par une étape intermédiaire A'. L'étape A' consiste en la détermination d'une marge de sécurité afin d'avoir la certitude que le bilan énergie du gaz sous forme liquide est inférieure aux exigences du lieu de 20 destination à l'arrivée. Ainsi, l'étape A' n'est pas indispensable pour le bon déroulement du procédé d'estimation et d'ajustement 5 qui peut se passer de la marge de sécurité pour effectuer l'ensemble des calculs et estimations, mais contribue néanmoins à l'optimisation de l'ajustement du bilan énergie du gaz sous forme liquide. La marge de sécurité peut être déterminée automatiquement à partir du plan de route et/ou des 25 conditions météorologiques, ou bien manuellement par le biais du moniteur de commande 6. La marge de sécurité est utilisée pour un calcul lors d'une étape E. L'étape A' peut donc se dérouler à un instant quelconque antérieur à l'étape E.

L'étape B du procédé d'estimation et d'ajustement 5 survient après l'étape A ou l'étape A'. L'étape B consiste en l'établissement du premier plan d'exploitation de la fonction de

- condensation du système d'alimentation 8. Le premier plan d'exploitation de la fonction de condensation du système d'alimentation 8 indique au cours du temps à quel instant du trajet la fonction de condensation reste active ou inactive et à quel instant cette dernière s'active ou se désactive. L'établissement du premier plan d'exploitation dépend
- 5 de la quantité de surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide au cours du trajet. On comprend en effet que par exemple s'il est déterminé qu'aucun surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide n'est généré au cours du trajet, le système d'alimentation n'a pas de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide à condenser et ne nécessite donc pas d'être actif lors du trajet. Un tel
- 10 surplus peut résulter d'un cas où le consommateur de l'ouvrage flottant est mis à l'arrêt, l'évaporation naturelle du gaz sous forme liquide continuant à se produire. Le surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide est estimé par le calculateur 7 qui transmet donc l'information au boîtier de commande afin que le procédé d'estimation et d'ajustement 5 puisse effectuer l'étape B.
- 15 Une étape C se déroule parallèlement ou successivement à l'étape B. L'étape C repose sur le même principe que l'étape B, puisqu'elle permet l'établissement du deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement du système d'alimentation 8. De même que pour l'étape B, le deuxième plan d'exploitation de la fonction de refroidissement du système d'alimentation 8 indique au cours du temps à quel instant du trajet la fonction
- 20 de refroidissement reste active ou inactive et à quel instant cette dernière s'active ou se désactive. L'établissement du deuxième plan d'exploitation dépend également de la quantité de surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide au cours du trajet, estimée par le calculateur 7. L'estimation de surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide entre donc en compte pour les étapes B et C.
- 25 Le procédé d'estimation et d'ajustement 5 se poursuit ensuite avec une étape D qui calcule un bilan énergie du gaz sous forme liquide à un instant t . La figure 3 représentant le déroulé du procédé d'estimation et d'ajustement 5 lors de son premier lancement, l'instant t correspond ici au moment du départ ou avant le départ de l'ouvrage flottant. Pour le calcul du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t ,

le procédé d'estimation et d'ajustement 5 a besoin des caractéristiques du gaz sous forme liquide, notamment utilisée lors de l'étape A pour le calcul de la température maximale autorisée du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée, telles que la masse totale de gaz sous forme liquide du gaz sous forme liquide, ou la capacité calorifique massique du gaz sous forme liquide. Ces caractéristiques peuvent être fournies par le moniteur de commande 6, tout comme pour l'étape A. Le calcul du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t a également besoin de la température moyenne du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'instant t . La température moyenne du gaz peut être mesurée par exemple grâce à un capteur de température situé dans la cuve.

10 C'est donc le système d'alimentation 8 qui fournit la température moyenne dans la cuve et qui transmet celle-ci au boîtier de commande afin que le procédé d'estimation et d'ajustement 5 puisse effectuer le calcul de l'étape D.

Une fois l'étape D achevée, le procédé d'estimation et d'ajustement 5 poursuit avec une étape E qui consiste à calculer un bilan énergie maximal. Le bilan énergie maximal correspond à la limite des exigences du lieu de destination que le bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve ne doit pas franchir, sous peine que la cargaison soit refusée une fois l'ouvrage flottant arrivé au lieu de destination. Le bilan énergie du gaz sous forme liquide peut toutefois franchir cette limite du bilan énergie maximal au cours du trajet sans conséquences, mais doit impérativement repasser sous ce bilan

15

20

énergie maximal avant que l'ouvrage flottant ne parvienne au lieu de destination. On comprend que le bilan énergie maximal est une cible pour ajuster le bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve au cours du trajet.

Pour ce calcul du bilan énergie maximal lors de l'étape E, le procédé d'estimation et d'ajustement 5 a besoin des caractéristiques du gaz sous forme liquide et de la température maximale autorisée du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée calculée lors de l'étape A. Les données fournies et les calculs effectués lors de l'étape A peuvent donc être transmis pour le calcul de l'étape E. Si le procédé d'estimation et d'ajustement 5 a effectué l'étape A', autrement dit si la marge de sécurité a été déterminée et sélectionnée, ladite marge de sécurité est également transmise pour

25

être prise en compte pour le calcul du bilan énergie maximal. Ainsi, le bilan énergie maximal calculé lors de l'étape E correspond au bilan énergie maximal réel en l'absence de marge de sécurité, ou à un bilan énergie maximal virtuel, inférieur au bilan énergie maximal réel dû à la prise en compte de la marge de sécurité dans le calcul.

- 5 L'étape suivante du procédé d'estimation et d'ajustement 5 est une étape F assurant l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet. L'étape F permet de déterminer, en conservant les plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement établis lors des étapes B et C, quel sera le bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée du trajet. Pour
- 10 effectuer une telle estimation, le calcul est basé sur le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t calculé lors de l'étape D, ainsi que sur les plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement établis lors des étapes B et C. Ces derniers ayant été établis pour l'intégralité du trajet lors des étapes B et C, le procédé d'estimation et d'ajustement 5 peut alors estimer l'évolution du bilan énergie du gaz sous
- 15 forme liquide lors de cette étape F, les fonctions de condensation et de refroidissement étant aptes à faire varier ledit bilan énergie du gaz sous forme liquide selon qu'elles sont actives ou inactives et quand elles s'activent et se désactivent. Le bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée est donc déterminable à partir de ces données.
- 20 Le procédé d'estimation et d'ajustement 5 se poursuit ensuite par une étape G qui assure l'ajustement des plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement du système d'alimentation 8. Ces ajustements sont effectués en fonction d'un comparatif entre le bilan énergie maximal calculé lors de l'étape E et l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenue dans la cuve à l'arrivée, calculée à l'étape F. Pour
- 25 rappel, l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée calculée lors de l'étape F est basé sur les plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement établis lors des étapes B et C. L'étape G permet donc de modifier cette estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la

cuve à l'arrivée en ajustant les plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement.

Si l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée est supérieure au bilan énergie maximal, cela signifie que la cargaison de gaz sous forme liquide sera à l'arrivée à une pression de saturation du gaz sous forme liquide excessive par rapport aux exigences maximales du lieu de destination. Les plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement doivent donc être ajustés afin de faire diminuer la température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve et par analogie le bilan énergie du gaz sous forme liquide.

Si l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée est inférieure au bilan énergie maximal, cela signifie que la cargaison de gaz sous forme liquide sera à l'arrivée dans le respect des exigences du lieu de destination, mais qu'il est néanmoins possible d'effectuer des ajustements autorisant une hausse de température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve si ceux-ci s'avèrent utiles en termes d'économie d'énergie. Les plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement doivent donc être ajustés afin d'autoriser une augmentation de la température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve et par analogie du bilan énergie du gaz sous forme liquide.

L'étape G détermine donc les ajustements optimaux des plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement du système d'alimentation 8 pour répondre au mieux à la situation. Des exemples concernant les ajustements des plans d'exploitation seront présentés par la suite.

Le procédé d'estimation et d'ajustement 5 se termine enfin par une étape H, mettant en œuvre les plans d'exploitation ajustés lors de l'étape G. L'étape H marque la fin du procédé d'estimation et d'ajustement 5 et envoie les plans d'exploitation ajustés des fonctions de condensation et de refroidissement vers le système d'alimentation 8 afin que ce dernier les mette en application. Les détails du fonctionnement du système d'alimentation 8 seront présentés par la suite.

La figure 4 est une représentation schématique du procédé d'estimation et d'ajustement 5 du bilan énergie du gaz sous forme liquide lors de sa répétition par itération, c'est-à-dire lorsque le procédé d'estimation et d'ajustement 5 est lancé au cours du trajet après avoir été lancé une première fois selon la figure 3. La plupart des étapes du procédé d'estimation et d'ajustement 5 sont similaires à ce qui a été décrit précédemment, et on se reportera donc à la description de la figure 3 pour les explications concernant celles-ci. Tout comme pour la figure 3, les flèches pleines représentent le déroulé de chacune des étapes du procédé d'estimation et d'ajustement 5, et les flèches en pointillées correspondent à une transmission de données entre deux étapes du procédé d'estimation et d'ajustement 5 ou entre un élément du système de gestion du bilan énergie du gaz sous forme liquide et une étape du procédé d'estimation et d'ajustement 5.

Lorsque le procédé d'estimation et d'ajustement 5 est répété par itération, il n'est plus utile d'initier l'étape A. En effet, le résultat du calcul de l'étape A, c'est-à-dire celui de la température maximale autorisée du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée, est invariable au cours du temps. Le résultat de l'étape A étant toutefois utilisé pour le calcul de l'étape E, ledit résultat doit toutefois être conservé durant le trajet, par exemple par le biais d'une mémoire du boîtier de commande.

L'étape A' consistant à sélectionner la marge de sécurité n'est également pas répétée. La marge de sécurité peut toutefois être amenée à varier, et ce de manière indépendante au déroulement du procédé d'estimation et d'ajustement 5, soit parce qu'elle a été paramétrée pour varier au cours du temps lorsque le procédé d'estimation et d'ajustement 5 a été lancé la première fois, soit parce qu'elle a été modifiée manuellement par le biais du moniteur de commande 6. La variation de la marge de sécurité est la raison pour laquelle l'étape E est maintenue au sein du procédé d'estimation et d'ajustement 5 puisqu'il s'agit d'un facteur susceptible de varier au cours du temps pour le calcul de l'étape E.

Le procédé d'estimation et d'ajustement 5, lorsque celui-ci est répété par itération, commence donc par l'étape B. Les étapes B et C se déroulent telles que lors du premier lancement du procédé d'estimation et d'ajustement 5, la quantité de surplus de phase

gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide étant toujours calculée et apportée par le calculateur 7.

L'étape D se déroule également de manière identique à ce qui a été décrit précédemment. En revanche, il se déroule une étape D', parallèlement à l'étape D, qui calcule également le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t, mais selon un calcul différent de celui de l'étape D. Le calcul du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t de l'étape D' se fait à partir d'un bilan énergie du gaz sous forme liquide à un instant t antérieur, calculé lors d'une itération précédente du procédé d'estimation et d'ajustement 5, ainsi qu'à partir des exécutions des fonctions de condensation et de refroidissement depuis le départ de l'ouvrage flottant. Le bilan énergie du gaz sous forme liquide à un instant t antérieur peut être récupéré par exemple à partir de la mémoire tampon du boîtier de commande. Les exécutions des fonctions de condensation et de refroidissement sont à l'origine de transfert de chaleur effectué par la fonction de condensation et de transfert de froid effectué par la fonction de refroidissement vers la cargaison de gaz sous forme liquide. Les exécutions des fonctions de condensation et de refroidissement peuvent donc être mesurées par des capteurs situés au niveau des éléments du système d'alimentation 8 assurant la condensation et le refroidissement du gaz sous forme liquide, qui transmet ces données au boîtier de commande pour application lors de l'étape D'.

Après le calcul des bilans énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t des étapes D et D', seul le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t ayant la valeur la plus élevée est conservé. Ce dernier est considéré comme ayant la valeur la plus pessimiste, la priorité étant de se maintenir sous le bilan énergie maximal calculé par la suite.

La suite du procédé d'estimation et d'ajustement 5 se déroule ensuite conformément à ce qui a été décrit à la figure 3. Une fois le procédé d'estimation et d'ajustement 5 achevé, les ajustements des plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement sont transmis au système d'alimentation 8, et le procédé d'estimation et d'ajustement 5 peut à nouveau se répéter directement à partir de l'étape B en fonction du paramétrage du boîtier de commande. D'une manière avantageuse, le boîtier de

commande est configuré pour répéter le procédé d'estimation et d'ajustement 5 à intervalles réguliers tout au long du trajet, selon le déroulé de la figure 4, par exemple une fois par jour ou toutes les six heures.

La figure 5 est une représentation générale du système d'alimentation 8 assurant les
5 fonctions de condensation et de refroidissement du gaz sous forme liquide. D'une manière générale, le système d'alimentation 8 interagit avec la cuve 9 ainsi qu'avec un ensemble de consommateurs.

Le système d'alimentation 8 est apte à assurer la gestion de la température du gaz sous forme liquide de la cuve 9. Pour ce faire, le système d'alimentation 8 comprend une
10 entrée de liquide 81 et une entrée de gaz 82. L'entrée de liquide 81 lie le système d'alimentation 8 à la cuve 9, et est apte à aspirer le gaz sous forme liquide 13, par exemple par le biais d'une pompe de gaz sous forme liquide 26. L'entrée de gaz 82 s'étend d'un ciel de cuve pouvant comporter une certaine quantité de phase gazeuse 14
générée depuis le gaz sous forme liquide jusqu'au système d'alimentation 8. La phase
15 gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide peut être aspirée par exemple par un compresseur 27 afin d'être conduite jusqu'au système d'alimentation 8.

Le système d'alimentation 8 comprend également une sortie de gaz 83 qui s'étend du système d'alimentation 8 jusqu'à l'ensemble de consommateurs. A titre d'exemples les consommateurs peuvent être un moteur 16 de propulsion, un générateur électrique 17,
20 une chambre de combustion 18 ou un mat de dégazage 28. Le moteur 16 de propulsion permet de faire avancer l'ouvrage flottant durant le trajet et est apte à être alimenté par la phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide. Le générateur électrique 17 assure l'alimentation en électricité de l'ouvrage flottant, par exemple l'éclairage ou le réseau de bord de l'ouvrage flottant et plus généralement toute entité nécessitant une
25 alimentation électrique. La phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide sert donc de carburant pour l'un et/ou l'autre de ces consommateurs. Ainsi, par exemple en cas d'excès de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide, le système d'alimentation 8 peut aspirer la phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide au sein de l'entrée de gaz 82. La phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous

forme liquide peut être ensuite traitée par le système d'alimentation 8 puis sortir de ce dernier par la sortie de gaz 83, par exemple dans le but d'alimenter le moteur 16 de propulsion ou le générateur électrique 17.

5 La phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide et non utilisée pour l'alimentation du moteur 16 de propulsion ou du générateur électrique 17 représente le surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide. Ce surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide peut être brûlé par la chambre de combustion 18 ou être relargué dans l'atmosphère par le mat de dégazage 28.

10 Le surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide peut également retourner au système d'alimentation 8 par le biais d'une dérivation 84 afin d'être condensé par celui-ci. Ceci étant fait, le gaz sous forme liquide condensé retourne dans la cuve 9 par le biais d'une sortie de liquide 85 du système d'alimentation 8.

15 En cas de besoin de refroidissement du gaz sous forme liquide 13, ce dernier est aspiré par la pompe de gaz sous forme liquide 26 et circule au sein de l'entrée de liquide 81 jusqu'au système d'alimentation 8 où il y est refroidi. Le gaz sous forme liquide 13 refroidi retourne ensuite au sein de la cuve 9 par le biais de la sortie de liquide 85.

La figure 6 est une représentation schématique d'un premier mode de réalisation du système d'alimentation 8 assurant les fonctions de condensation et de refroidissement du gaz sous forme liquide.

20 Tout comme pour la figure 5, le système d'alimentation 8 assure la gestion de la température de la cuve 9. La cuve 9 est au moins partiellement remplie par une certaine quantité de gaz sous forme liquide 13. Le ciel de cuve peut également comprendre une certaine quantité de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide. La cuve 9 comprend également au moins la pompe de gaz sous forme liquide 26. La cuve 9
25 comprend également un premier capteur de température 10. C'est à partir de ce premier capteur de température 10 que la température moyenne du gaz sous forme liquide 13 est mesurée et transmise au boîtier de commande pour le calcul de l'étape D du procédé d'estimation et d'ajustement. Pour l'exemple de la figure 6, le premier capteur de température 10 de la cuve 9 relève la température du gaz sous forme liquide qui

l'entoure. Si l'ouvrage flottant comprend une pluralité de cuves 9 comprenant chacune un premier capteur de température 10, une moyenne des températures est effectuée puis envoyée au boîtier de commande.

Comme cela a été indiqué précédemment, la fonction de condensation du système d'alimentation 8 permet de condenser le surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide. Pour ce faire, la phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide de la cuve 9 est aspirée par le compresseur 27 situé en dehors de la cuve et constitutif d'un circuit de phase gazeuse 15. Le circuit de phase gazeuse 15 transporte la phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide qui s'étend jusqu'à déboucher au niveau du moteur 16 de propulsion et/ou du générateur électrique 17 dans le but d'être utilisé comme carburant par ces derniers.

La phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide et non utilisée pour l'alimentation du moteur 16 de propulsion ou du générateur électrique 17 représente le surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide et circule au sein d'un circuit de surplus 19. Le circuit de surplus 19 permet la circulation du surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide jusqu'à un premier échangeur de chaleur 11. C'est le premier échangeur de chaleur 11 qui assure la fonction de condensation du surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide, et ce grâce à un échange de chaleur entre une première passe 111 et une deuxième passe 112. La première passe 111 est traversée par le surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide qui est alors refroidi par la deuxième passe 112, et ce afin que le surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide se condense et passe à l'état liquide. On comprend ainsi que lorsque la fonction de condensation du système d'alimentation 8 est active, le surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide est dirigé vers le premier échangeur de chaleur 11 par le biais du circuit de surplus 19. Si la fonction de condensation du système d'alimentation 8 est inactive, alors le surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide est dirigé vers la chambre de combustion 18 pour être brûlé ou bien vers le mat de dégazage 28 pour être libéré dans l'atmosphère. Afin de condenser le surplus de

phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide, un fluide présentant une température plus basse que la température de changement d'état du surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide circule au sein de la deuxième passe 112.

- 5 Une fois le surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide condensé par le premier échangeur de chaleur 11, le gaz condensé circule dans un circuit de gaz condensé 20 jusqu'à un circuit de retour 21 qui dirige le gaz condensé vers la cuve 9.

- Concernant la fonction de refroidissement du système d'alimentation 8, le gaz sous
10 forme liquide 13 contenu dans la cuve 9 est tout d'abord aspiré par la pompe de gaz sous forme liquide 26. Le gaz sous forme liquide 13 aspiré par la pompe de gaz sous forme liquide 26 circule jusqu'à un deuxième échangeur de chaleur 12. C'est le deuxième échangeur de chaleur 12 qui assure la fonction de refroidissement du gaz sous forme liquide 13, et ce grâce à un échange de chaleur entre une troisième passe 121 et une
15 quatrième passe 122. Le gaz sous forme liquide 13 aspiré par la pompe de gaz sous forme liquide 26 circule dans le deuxième échangeur de chaleur 12 par le biais de la quatrième passe 122 et est refroidi. Afin de refroidir le gaz sous forme liquide 13 qui est déjà à une température très faible, un fluide d'une température inférieure au gaz sous forme liquide 13 circule au sein de la troisième passe 121. La troisième passe 121 peut faire partie d'un
20 circuit réfrigérant externe au système d'alimentation 8, et non représenté sur la figure 6. Le circuit réfrigérant externe peut par exemple faire partie d'un système de type évaporateur sous vide.

- Par la suite, après avoir été refroidi par le deuxième échangeur de chaleur 12, le gaz sous forme liquide 13 refroidi retourne dans la cuve 9 par le biais du circuit de retour 21.
25 Ainsi, le gaz sous forme liquide 13 refroidi permet de globalement refroidir la cuve 9, la température du gaz sous forme liquide 13 refroidi étant inférieure à la température du gaz sous forme liquide 13 resté dans la cuve 9.

Les échanges de chaleur du premier échangeur de chaleur 11 et du deuxième échangeur de chaleur 12 sont mesurés par une pluralité de capteurs de température. Ainsi, le

système d'alimentation 8 comprend deux deuxièmes capteurs de température 24, chacun situé à l'entrée et à la sortie du premier échangeur de chaleur 11, et deux troisièmes capteurs de température 25, chacun situé à l'entrée et à la sortie du deuxième échangeur de chaleur 12. Par le biais d'un calcul d'une différence de température entre les sorties et les entrées de chacun des échangeurs de chaleur, il est possible de mesurer l'entrée de chaleur dans la cuve 9 grâce aux deuxièmes capteurs de température 24 et l'entrée de froid dans la cuve 9 grâce aux troisièmes capteurs de température 25. L'entrée de chaleur et l'entrée de froid sont des données utilisées pour le calcul de l'exécution des fonctions de condensation et de refroidissement du système d'alimentation 8, les dites exécutions servant pour le calcul du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t de l'étape D' du procédé d'estimation et d'ajustement. Ces données sont donc envoyées au boîtier de commande par le système d'alimentation 8.

A l'issue du déroulé du procédé d'estimation et d'ajustement, le système d'alimentation 8 reçoit les plans d'exploitation ajustés des fonctions de condensation et de refroidissement. Le système d'alimentation 8 modifie alors son fonctionnement en fonction des plans d'exploitation ajustés en étant apte à programmer l'activation ou la désactivation de l'une et/ou l'autre des fonctions de condensation et de refroidissement.

La figure 7 représente schématiquement un deuxième mode de réalisation du système d'alimentation 8. Par rapport au premier mode de réalisation présenté en figure 6, seule la mise en œuvre de la fonction de refroidissement du système d'alimentation 8 est différente. On se référera donc à la description de la figure 6 pour toute partie du système d'alimentation 8 commune aux deux modes de réalisation.

Dans ce deuxième mode de réalisation du système d'alimentation 8, ce dernier met en œuvre sa fonction de refroidissement en combinaison avec une fonction d'alimentation des consommateurs de l'ouvrage flottant. En effet, lorsque la phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide est aspirée au sein du circuit de phase gazeuse 15, celle-ci traverse le deuxième échangeur 12, en circulant au sein de la troisième passe 121. Le gaz sous forme liquide 13 contenu dans la cuve 9 est quant à lui tout d'abord aspiré par la pompe de gaz sous forme liquide 26 et circule ensuite à travers la quatrième passe 122

- située au sein du deuxième échangeur de chaleur 12. L'échange de chaleur s'effectuant entre la troisième passe 121 et la quatrième passe 122 permet à la fois d'augmenter la température de la phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide afin que celle-ci soit adéquat pour alimenter le moteur 16 de propulsion et/ou le générateur électrique 17, mais également de sous-refroidir le gaz sous forme liquide 13 aspiré par la pompe de gaz sous forme liquide 26. Par la suite, après avoir été refroidi par le deuxième échangeur de chaleur 12, le gaz sous forme liquide 13 refroidi circule dans un circuit de gaz refroidi 23, et ce jusqu'au circuit de retour 21 qui dirige le gaz sous forme liquide 13 refroidi dans la cuve 9.
- Ainsi, le gaz sous forme liquide 13 refroidi retourne dans la cuve 9 et permet de globalement refroidir celle-ci, la température du gaz sous forme liquide 13 refroidi étant inférieure à la température du gaz sous forme liquide 13 resté dans la cuve 9.
- Le gaz sous forme liquide 13 circule de cette manière si la fonction de refroidissement est active. Le système d'alimentation 8 permet donc aux fonctions de condensation et de refroidissement d'être active ou inactive de manière simultanée, dans la mesure où il y a présence de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide pour la fonction de refroidissement et de surplus de phase gazeuse 14 générée depuis le gaz sous forme liquide pour la fonction de condensation.
- Les figures 8 à 11 représentent une courbe de l'évolution du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve en fonction du temps, c'est-à-dire au cours du trajet de l'ouvrage flottant, et en fonction des plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement représentés en partie supérieure de chacune des figures 8 à 11. Les figures 8 et 9 correspondent respectivement à une estimation et un ajustement suite à une situation où l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'arrivée est inférieure au bilan énergie maximal. Les figures 10 et 11 correspondent respectivement à une estimation et un ajustement suite à une situation où l'estimation du bilan énergie du gaz sous forme liquide est supérieure au bilan énergie maximal.

Pour chacune des figures 8 à 11, la situation initiale présentée est le lancement du procédé d'estimation et d'ajustement à un instant t au cours du trajet de l'ouvrage flottant entre le départ 50 et l'arrivée 51.

5 Chacune des courbes du bilan énergie en fonction du temps des figures 8 à 11 comprend un bilan énergie maximal réel 32, et le bilan énergie maximal virtuel 33, c'est-à-dire qui prend en compte la marge de sécurité. Le bilan énergie maximal virtuel 33 est inférieur au bilan énergie maximal réel 32, la différence dépendant de la valeur de la marge de sécurité. Le bilan énergie maximal réel 32 n'est présent qu'à titre indicatif, car pour
10 dans la cuve se fait en fonction du bilan énergie maximal virtuel 33. Le bilan énergie maximal réel 32 est constant au cours du temps. Avantageusement, le bilan énergie maximal virtuel 33 se rapproche progressivement du bilan énergie maximal réel au cours du temps, mais pour des raisons de clarté, le bilan énergie maximal virtuel 33 est également représenté comme étant constant au cours du temps sur les figures 8 à 11.

15 Les figures 8 à 11 représentent également chacune les courbes du premier plan d'exploitation 36 de la fonction de condensation et du deuxième plan d'exploitation 37 de la fonction de refroidissement au cours du temps. Les ordonnées des courbes des plans d'exploitation ne présentent que deux positions : une position 0 et une position 1. Lorsque les plans d'exploitations sont en position 0, cela signifie que les fonctions
20 associées sont inactives. Lorsque les plans d'exploitations sont en position 1, cela signifie que les fonctions associées sont actives, ce qui autorise par conséquent la condensation et/ou le refroidissement du gaz sous forme liquide par le biais du système d'alimentation. Pour chacune des situations, on part du principe que les deux plans d'exploitation sont de base en position 1 durant tout le trajet, c'est-à-dire que les fonctions de condensation
25 et de refroidissement sont autorisées durant tout le trajet.

La figure 8 représente donc une première situation lors du trajet de l'ouvrage flottant. Ainsi, à l'instant t , le procédé d'estimation et d'ajustement se lance, et le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t 38 est obtenu lors de l'étape D ou D' du procédé d'estimation et d'ajustement, soit à partir de la température du gaz sous forme liquide

contenu dans la cuve, soit à partir de l'exécution des fonctions de condensation et de refroidissement depuis le départ 50. Il est possible d'observer l'évolution du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve depuis le départ 50 et jusqu'à l'instant t, l'évolution correspondant à un bilan énergie mesuré 34. Le bilan énergie mesuré 34 est
5 représenté en traits pleins car il a déjà été mesuré en temps réel depuis le départ 50, la première mesure correspondant à un bilan énergie de départ 30, déterminée lorsque le procédé d'estimation et d'ajustement a été lancé une première fois. L'évolution du bilan énergie du gaz sous forme liquide postérieure à l'instant t est en pointillés et représente un bilan énergie prévisionnel 35 qui est donc évalué par le procédé d'estimation et
10 d'ajustement, plus précisément lors de l'étape F et à partir du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t 38. L'estimation du bilan énergie 31 du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée 51 correspond donc à une estimation de la valeur du bilan énergie lorsque l'ouvrage flottant parviendra à l'arrivée 51 si les plans d'exploitation tel que présentés sur la figure 8 sont maintenus jusqu'à cette arrivée 51.

15 Il est constaté sur la figure 8 que sans ajustement des plans d'exploitation du procédé d'estimation et d'ajustement selon l'invention, l'estimation du bilan énergie 31 du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée 51 est inférieure au bilan énergie maximal virtuel 33, calculé lors de l'étape E du procédé d'estimation et d'ajustement. Le gaz sous forme liquide contenu dans la cuve satisfait donc les exigences du lieu de
20 destination. Il est néanmoins possible d'ajuster les plans d'exploitation afin de limiter la consommation énergétique du système d'alimentation.

La figure 9 représente une courbe mettant en œuvre l'étape G du procédé d'estimation et d'ajustement selon l'invention, avec des plans d'exploitation ajustés par rapport à ceux présentés en figure 8. Le procédé d'estimation et d'ajustement se déroule toujours à
25 l'instant t et après la constatation que l'estimation du bilan énergie 31 du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée 51 était inférieure au bilan énergie maximal virtuel 33. Le procédé d'estimation et d'ajustement ajuste donc les plans d'exploitation afin de garantir une économie d'énergie. Ainsi, bien que cela soit déjà le cas dans l'exemple présenté, le premier plan d'exploitation 36 de la fonction de condensation est

ajusté pour être maintenu actif, soit en position 1, jusqu'à l'arrivée 51 du trajet. Le surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide est donc intégralement condensé, ce qui n'entraîne pas de pertes de la cargaison.

Par ailleurs, l'estimation du bilan énergie 31 du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée 51 étant inférieure au bilan énergie maximal virtuel 33, il est également possible de désactiver la fonction de refroidissement à un instant estimé dt au cours du trajet. Pour déterminer l'instant estimé dt , le procédé d'estimation et d'ajustement met en œuvre une ou des itérations où s'alternent successivement l'ajustement du deuxième plan d'exploitation 37 de la fonction de refroidissement et le recalcul de l'estimation du bilan énergie 31 du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée 51. Ici, l'ajustement du deuxième plan d'exploitation 37 de la fonction de refroidissement consiste à sélectionner un instant où la fonction de refroidissement est désactivée en prenant l'arrivée 51 comme cible. Les itérations se poursuivent tant que l'estimation du bilan énergie 31 du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée 51 est inférieure au bilan énergie maximal virtuel 33, l'instant sélectionné où la fonction de refroidissement est désactivée étant à chaque nouvelle occurrence de plus en plus antérieure à la précédente, et le calcul de l'estimation du bilan énergie 31 du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée 51 étant effectué chaque fois avec le nouvel ajustement du deuxième plan d'exploitation 37 de la fonction de refroidissement déterminé précédemment. Ces itérations permettent ainsi de déterminer l'instant estimé dt optimal pour que l'estimation du bilan énergie 31 du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée 51 ne dépasse pas le bilan énergie maximal virtuel 33, mais tout en désactivant la fonction de refroidissement le plus tôt possible afin d'économiser un maximum d'énergie.

Une fois l'instant estimé dt obtenu, le procédé d'estimation et d'ajustement ajuste le deuxième plan d'exploitation 37 de la fonction de refroidissement et le transmet au système d'alimentation. Le deuxième plan d'exploitation 37 ajusté de la fonction de refroidissement est visible sur la figure 9, où l'on peut voir que la fonction de refroidissement passe en position 0 suite à l'ajustement, entraînant sa désactivation à

l'instant estimé dt. Ainsi, entre l'instant estimé dt et l'arrivée 51, la fonction de refroidissement est maintenue désactivée. Sachant cela, et étant donné que la fonction de condensation est toujours active, la température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve, et par analogie le bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve, présente une augmentation plus significative entre l'instant estimé dt et l'arrivée 51 que sur la courbe de la figure 8. L'instant estimé dt, grâce aux itérations du procédé d'estimation et d'ajustement évoquées précédemment, est toutefois calculé de sorte à entraîner une augmentation de l'estimation du bilan énergie 31 du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée 51 mais sans que cette dernière ne dépasse le bilan énergie maximal virtuel 33 lors de l'arrivée 51 au lieu de destination.

Le gaz sous forme liquide contenu dans la cuve respecte donc toujours les exigences du lieu de destination, mais des économies d'énergie sont faites entre l'instant estimé dt et l'arrivée 51 étant donné que la fonction de refroidissement est désactivée durant ce laps de temps et ne nécessite donc pas d'être alimentée en énergie. Le procédé d'estimation et d'ajustement a donc permis de limiter le gaspillage d'énergie tout en maintenant le gaz sous forme liquide conforme aux exigences du lieu de destination.

La figure 10 représente toujours la courbe d'évolution du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve au cours du temps mais cette fois dans la situation inverse aux figures 8 et 9. En effet, selon le procédé d'estimation et d'ajustement, durant l'instant t du trajet, le bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t 38 est calculé, puis le procédé d'estimation et d'ajustement calcule l'estimation du bilan énergie 31 du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée 51 à partir du bilan énergie du gaz sous forme liquide à l'instant t 38. Comme cela est visible sur la figure 10, l'estimation du bilan énergie 31 du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée 51 est supérieure au bilan énergie maximal virtuel 33, et même au bilan énergie maximal réel 32, et ce malgré l'activation constante de la fonction de refroidissement tout le long du trajet comme en témoigne le deuxième plan d'exploitation 37 de la fonction de refroidissement visible sur la figure 10.

Dans cette situation, lors de l'arrivée 51, et si les plans d'exploitation des fonctions de condensation et de refroidissement ne sont pas ajustés, le gaz sous forme liquide contenu dans la cuve ne répondra pas aux exigences du lieu de destination, entraînant le refus de la cargaison par celui-ci. Pour éviter cela, il est indispensable de faire baisser la pression de saturation du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve, entraînant une baisse du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve également, afin de répondre aux exigences du lieu de destination lors de l'arrivée 51. Un instant donné t est indiqué sur la figure 10 et correspond à l'instant où le bilan énergie prévisionnel 35 dépasse le bilan énergie maximal virtuel 33, soit l'instant à partir duquel le bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve n'est plus conforme aux exigences du lieu de destination.

Les ajustements nécessaires pour pallier la situation évoquée en figure 10 sont représentés en figure 11. Ainsi, si ce n'est pas déjà le cas, le procédé d'estimation et d'ajustement ajuste le deuxième plan d'exploitation 37 de la fonction de refroidissement afin que cette dernière soit active jusqu'à l'arrivée 51 du trajet.

Comme cela a été évoqué précédemment, le principal facteur entraînant une hausse de la température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve ainsi que du bilan énergie de celui-ci est dû à la condensation du surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide. En effet, bien que ce dernier soit condensé afin de passer sous forme liquide, la température du gaz condensé est plus élevée que la température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve. Le retour du gaz condensé dans la cuve entraîne donc à la longue une hausse de la température du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve. Le meilleur moyen de stopper une telle hausse de température est donc de mettre en œuvre le premier plan d'exploitation 36 ajusté de la fonction de condensation afin que cette dernière se désactive.

Ainsi le procédé d'estimation et d'ajustement ajuste le premier plan d'exploitation 36 de la fonction de condensation. La fonction de condensation est donc programmée pour être désactivée à l'instant donné t , c'est-à-dire au moment où le bilan énergie estimé 34 atteint le bilan énergie maximal virtuel 33. Le procédé d'estimation et d'ajustement

permet ainsi de maintenir la fonction de condensation active le plus longtemps possible. Arrivé à l'instant donné d't, la fonction de condensation se désactive. La hausse du bilan énergie du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve est alors stoppée, grâce à la désactivation de la fonction de condensation, mais également grâce au maintien de la fonction de refroidissement en activité. L'estimation du bilan énergie 31 du gaz sous forme liquide contenu dans la cuve à l'arrivée 51 est donc maintenue au niveau du bilan énergie maximal virtuel 33, ce qui correspond aux exigences du lieu de destination. Dans cette configuration, entre l'instant donné d't et l'arrivée 51, le surplus de phase gazeuse générée depuis le gaz sous forme liquide n'est plus condensé par le système d'alimentation.

La figure 12 représente un premier exemple d'une courbe de l'évolution de la marge de sécurité 60 en fonction du temps, du départ 50 à l'arrivée 51. Ce premier exemple présente une marge de sécurité 60 dégressive au cours du temps. Autrement dit, plus l'ouvrage flottant se rapproche du lieu de destination, plus la marge de sécurité 60 diminue et par conséquent plus le bilan énergie maximal virtuel se rapproche du bilan énergie maximal réel, étant donné que le bilan énergie maximal virtuel est recalculé à chaque étape E par des itérations du procédé d'estimation et d'ajustement avec la marge de sécurité 60 qui diminue au fur et à mesure que l'ouvrage flottant se rapproche de sa destination.

La valeur de la marge de sécurité peut également dépendre de la quantité d'informations que détient le personnel de l'ouvrage flottant concernant le trajet, par exemple les conditions météorologiques au cours de celui-ci ou encore les conditions de mer. Ainsi une marge de sécurité 60 plus élevée peut être indiquée s'il n'y a aucune information concernant les conditions du trajet.

La figure 13 représente un deuxième exemple de l'évolution de la marge de sécurité 60 au cours du temps. Lors du début de ce trajet, la marge de sécurité 60 diminue au cours du temps, tout comme sur la figure précédente. Il est cependant possible qu'un événement 61 imprévu survienne. L'événement 61 peut être un phénomène naturel, par exemple un phénomène météorologique comme une tempête ou du brouillard,

susceptibles de ralentir l'allure de l'ouvrage flottant. L'évènement 61 peut également être un incident mécanique, par exemple une panne de l'ouvrage flottant, susceptible d'immobiliser ce dernier durant un laps de temps non négligeable. Un tel évènement 61 rallonge donc le temps de trajet jusqu'au lieu de destination. Dans cette situation, la

5 marge de sécurité 60 telle qu'elle a été programmée au départ 50 n'est plus adéquate au trajet. Il est donc possible de reprogrammer la marge de sécurité 60 afin d'adapter celle-ci aux conséquences de l'évènement 61, c'est-à-dire le ralentissement ou l'immobilisation de l'ouvrage flottant dans les exemples suscités. Sur la figure 13, la marge de sécurité 60 est réhaussée au moment où l'évènement 61 est survenu, puis diminue à nouveau au

10 cours du temps. Cette modification garantit une sécurité concernant le bilan énergie maximal virtuel et permet d'éviter des erreurs pouvant potentiellement entraîner le refus de la cargaison de gaz sous forme liquide lors de l'arrivée au lieu de destination.

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

15 l'invention.

L'invention, telle qu'elle vient d'être décrite, atteint bien le but qu'elle s'était fixée, et permet de proposer un procédé d'estimation et d'ajustement d'un bilan énergie d'un gaz sous forme liquide contenu dans une cuve d'un ouvrage flottant afin que ledit bilan énergie du gaz sous forme liquide soit conforme aux exigences d'un lieu de destination

20 où est destinée la livraison du gaz sous forme liquide, et ce tout en ajustant au mieux la consommation d'énergie du système d'alimentation. Des variantes non décrites ici pourraient être mises en œuvre sans sortir du contexte de l'invention, dès lors que, conformément à l'invention, elles comprennent un procédé d'estimation de d'ajustement conforme à l'invention.