

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 087 532**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **18 59619**

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 F 22/00** (2019.01), F 25 J 1/00, B 63 H 21/38,
F 02 M 21/02

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE DE CONTROLE D'UN INDICE DE METHANE D'UN GAZ NATUREL LIQUEFIE ET
SYSTEME DE CONTROLE CORRESPONDANT.

②② Date de dépôt : 17.10.18.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 24.04.20 Bulletin 20/17.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 09.10.20 Bulletin 20/41.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ
Société par actions simplifiée — FR.

⑦② Inventeur(s) : DIOUF ABDOULAYE.

⑦③ Titulaire(s) : GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ
Société par actions simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : EX MATERIA.

FR 3 087 532 - B1



Procédé de contrôle d'un indice de méthane d'un gaz naturel liquéfié et système de contrôle correspondant.

Le domaine de la présente invention est celui des systèmes de contrôle d'un indice de méthane d'un gaz naturel liquéfié, notamment afin de pouvoir utiliser ledit gaz naturel liquéfié
5 comme carburant d'un moteur.

Le gaz naturel liquéfié, communément connu sous l'acronyme « GNL », ou encore sous l'acronyme anglais « LNG » pour « Liquefied Natural Gas », est une source d'énergie importante, composée d'environ 90% de méthane. Plus particulièrement, le GNL est stocké à l'état liquide dans une cuve isolée thermiquement à une température proche de -160°C, le GNL
10 occupant alors 1/600 du volume qu'il occuperait à l'état gazeux, permettant de faciliter le transport entre un site d'extraction et un site de destination du GNL.

Le GNL peut aussi être utilisé comme carburant pour un véhicule, et notamment pour un navire, tel qu'un navire de transport de marchandises, par exemple un navire pétrolier, un navire méthanier, ou un porte-conteneurs. Pour des raisons écologiques et économiques,
15 l'utilisation du GNL comme carburant présente ainsi un avantage par rapport aux carburants classiques, notamment dérivés du pétrole.

Afin d'être utilisé comme carburant du moteur, le GNL doit présenter un indice de méthane compris entre une valeur cible minimale et une valeur cible maximale tolérées par le moteur. L'indice de méthane est une valeur correspondant au taux de méthane présent de le
20 GNL, traduisant la qualité du GNL et en particulier sa capacité de résistance à l'auto-allumage du moteur. L'utilisation d'un GNL possédant un indice de méthane qui ne serait pas compris entre la valeur cible minimale et la valeur cible maximale tolérées par le moteur risquerait de provoquer une diminution des performances du moteur, voire une dégradation mécanique du moteur, notamment du fait de l'apparition d'un phénomène dit de « cliquetis », résultant d'une
25 combustion anormale.

De plus, l'indice de méthane d'un gaz naturel liquéfié est dépendant de plusieurs paramètres, tels que la composition initiale du GNL, la durée de stockage ou les conditions de

stockage. Plus particulièrement, du fait de l'évaporation préférentielle de composants du GNL possédant un indice de méthane élevé, notamment le méthane, et malgré l'isolation thermique de la cuve dans lequel le GNL est stocké, l'indice de méthane a tendance à diminuer avec le temps, imposant ainsi des contraintes sur le suivi de l'indice de méthane, ainsi que sur
5 l'approvisionnement en carburant du moteur. Ainsi, il est connu des navires intégrant des systèmes permettant de mesurer l'indice de méthane du GNL et de l'ajuster si besoin à l'aide d'un séparateur de phase séparant des hydrocarbures légers du GNL d'une part, tels que le méthane et l'éthane, possédant un indice de méthane élevé, et les hydrocarbures lourds du GNL d'autre part, tels que le butane et le propane, qui affectent négativement l'indice de méthane de
10 la cargaison. Ainsi, par un système connu, un moteur assurant la propulsion du navire peut utiliser le GNL comme carburant.

De tels systèmes connus présentent l'inconvénient de nécessiter des moyens techniques lourds. D'autre part, ces systèmes connus ne permettent pas de ralentir voire d'éviter l'évaporation préférentielle du GNL stocké dans la cuve, et ainsi n'évitent pas la diminution de
15 l'indice de méthane du GNL au cours du temps.

La présente invention a pour but de répondre au moins en partie aux inconvénients énoncés précédemment et de conduire en outre à d'autres avantages. Ainsi, l'invention a pour but de maintenir l'indice de méthane d'un gaz naturel liquéfié au-dessus d'un seuil déterminé. La présente invention a également pour but de ralentir la diminution de l'indice de méthane du
20 GNL au cours du temps, afin que le GNL puisse être utilisé comme carburant du moteur tout au long de son transport.

L'invention y parvient, selon un premier aspect, grâce à un procédé de contrôle d'un indice de méthane d'un gaz naturel liquéfié stocké dans une cuve, le procédé de contrôle comprenant :

- une étape d'estimation de l'indice de méthane du gaz naturel liquéfié ;
- 25 - une étape de comparaison entre l'indice de méthane estimé à l'étape d'estimation et un indice de méthane cible ;

- une étape d'ajustement actif de la pression d'un ciel de cuve en fonction de la comparaison entre l'indice de méthane estimé et l'indice de méthane cible.

Cette configuration selon l'invention permet d'éviter, ou au moins de réduire, les variations de l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve. En effet, lorsque l'indice de méthane évolue, la pression dans le ciel de cuve est ajustée afin de maintenir l'indice de méthane estimé au niveau requis. La pression dans le ciel de cuve peut être entendue comme une valeur stable au cours d'une période de temps ou encore comme une valeur, mesurée en millibars par heure, qui évolue au cours du temps, par exemple de 10 millibars par heure, notamment du fait de l'évaporation du GNL stocké dans la cuve, celui-ci passant alors de l'état liquide à l'état gazeux.

L'ajustement de pression opéré par l'étape d'ajustement actif est compris entre 20 millibars et 400 millibars, plus particulièrement entre 20 millibars et 100 millibars, et encore plus particulièrement entre 20 millibars à 50 millibars, de manière à ce que cet ajustement reste compatible avec les propriétés mécaniques de la cuve, notamment dans le cas d'une cuve à membrane primaire isolée et membrane secondaire isolée. Plus particulièrement, lorsque le GNL s'évapore, passant de l'état liquide à l'état gazeux, la pression à l'intérieur de la cuve augmente, le GNL à l'état gazeux occupant un volume plus important qu'à l'état liquide. Le gaz ainsi formé occupe alors un volume, dit ciel de cuve, situé entre le GNL à l'état liquide et un plafond de la cuve.

Le composant du GNL qui s'évapore en premier lieu est l'azote, ce composant présentant une température d'évaporation plus basse que les autres composants constitutifs du GNL, comme le méthane par exemple. L'azote représentant généralement moins de 1% du volume du GNL, son évaporation est très rapide. L'évaporation préférentielle de l'azote entraîne une augmentation de l'indice de méthane du GNL, et plus particulièrement du GNL présent à l'état liquide dans la cuve. L'évaporation de l'azote est suivie par une évaporation du méthane, présentant une température d'ébullition d'environ -161°C à pression atmosphérique, le méthane représentant environ 90% du volume du GNL. L'évaporation du méthane a pour conséquence de provoquer la baisse de l'indice de méthane du GNL, et plus particulièrement du GNL présent

à l'état liquide dans la cuve. Autrement dit, l'indice de méthane du GNL diminue au cours du temps à l'intérieur de la cuve selon une cinétique particulière. Ainsi, l'étape d'estimation de l'indice de méthane permet d'évaluer, de manière directe ou indirecte, l'indice de méthane du GNL à un instant donné.

5 L'étape de comparaison permet de comparer l'indice de méthane ainsi estimé à un indice de méthane cible, qui représente une valeur minimale à respecter afin d'assurer le fonctionnement optimal d'un moteur destiné à utiliser le GNL comme carburant, le moteur étant notamment destiné à assurer la propulsion du navire. Ainsi, l'indice de méthane cible peut être une valeur cible minimale tolérée par le moteur, l'indice de méthane estimé devant alors
10 être supérieur à ladite valeur cible minimale afin d'éviter l'endommagement du moteur. L'indice de méthane cible peut également être une plage de valeurs entre lesquelles l'indice de méthane doit être maintenu, définissant ainsi une valeur cible minimale et une valeur cible maximale, l'indice de méthane cible étant alors compris entre la valeur cible minimale et la valeur cible maximale. Ainsi, lorsque l'indice de méthane estimé est inférieur à la valeur cible minimale de
15 l'indice de méthane cible, le procédé de contrôle vise à augmenter l'indice de méthane estimé de sorte que ce dernier devienne supérieur à la valeur cible minimale. De manière analogue, lorsque l'indice de méthane estimé est supérieur à la valeur cible maximale de l'indice de méthane cible, le procédé de contrôle peut viser à réduire l'indice du méthane de sorte que ce dernier devienne inférieur à la valeur cible maximale.

20 Enfin, l'étape d'ajustement actif de la pression dans le ciel de cuve en fonction de la comparaison entre l'indice de méthane estimé et l'indice de méthane cible permet de modifier l'indice de méthane estimé, en agissant sur la pression présente dans le ciel de cuve. Comme évoqué plus haut, une fois l'azote évaporé, l'évaporation du GNL entraîne une diminution de l'indice de méthane du GNL, au fil du temps. L'étape d'ajustement actif comprend notamment
25 une étape d'ajustement de la pression dans le ciel de cuve, permettant d'augmenter ou de diminuer, si nécessaire, la pression dans le ciel de cuve. Ainsi, l'augmentation de la pression dans le ciel de cuve lors de l'étape d'ajustement actif ralentit ou interrompt le processus d'évaporation naturelle du GNL stocké dans la cuve, ce qui se traduit par un blocage de l'évolution du l'indice de méthane du GNL. A contrario, la diminution de la pression dans le ciel de cuve lors de l'étape

d'ajustement actif, accélérant le processus d'évaporation naturelle du GNL stocké dans la cuve, permet de diminuer l'indice de méthane du GNL.

Il est entendu que l'étape d'ajustement actif de la pression dans le ciel de cuve diffère de l'évolution passive de la pression dans le ciel de cuve, notamment due à l'évaporation naturelle du GNL à l'état liquide, passant alors à l'état gazeux. Ainsi, l'étape d'ajustement actif de la pression dans le ciel de cuve est notamment réalisée à l'aide d'un dispositif d'ajustement de la pression dans le ciel de cuve permettant, si nécessaire, de provoquer une augmentation ou une diminution de la pression dans ce ciel de cuve.

Ainsi, le procédé de contrôle conforme au premier aspect de l'invention permet de contrôler l'indice de méthane d'un GNL stocké dans une cuve et destiné à être utilisé comme carburant par un moteur, utilisant principalement le GNL liquide comme carburant, le contrôle de l'indice de méthane du GNL s'effectuant par l'ajustement actif de la pression dans le ciel de cuve.

Le procédé de contrôle conforme au premier aspect de l'invention comprend avantagement au moins un des perfectionnements ci-dessous, les caractéristiques techniques formant ces perfectionnements pouvant être prises seules ou en combinaison :

- l'étape d'estimation de l'indice de méthane comprend une étape de détermination directe de l'indice de méthane par analyse de la composition du gaz naturel liquéfié présent dans la cuve. Par exemple, l'étape de détermination directe fait intervenir une analyse par chromatographie, ou une analyse par spectrométrie, permettant de connaître de manière précise la composition du GNL in situ et à un instant donné. Ainsi, l'étape de détermination directe, en permettant de connaître de manière précise la composition du GNL stocké dans la cuve, permet de calculer l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve, in situ et à un moment précis, l'analyse de la composition du GNL pouvant être réalisée, de manière avantageuse, au niveau d'une conduite d'alimentation du moteur en GNL, le GNL étant utilisé comme carburant du moteur, permettant ainsi la détermination de la composition du GNL, et donc la détermination directe de l'indice de méthane du GNL, directement avant son utilisation en tant que carburant du moteur. En effet, l'indice de méthane est fonction de la composition du GNL,

est plus particulièrement des proportions respectives des composants du GNL, et notamment de l'azote, du méthane, de l'éthane, du butane, du propane et du dioxyde de carbone composants le GNL. Ainsi, cette étape de détermination directe de l'indice de méthane permet, en conjonction avec d'autres étapes, telles que des étapes de mesure de la pression dans le ciel de cuve et de la température du GNL stocké dans la cuve, de déterminer la pression de saturation du GNL, la pression de saturation du GNL étant la pression minimale à partir de laquelle le passage du GNL de la phase liquide à la phase gazeuse est stoppé. Ainsi, en connaissant la pression de saturation du GNL stocké dans la cuve, l'étape d'ajustement actif de la pression dans le ciel de cuve permet d'augmenter la pression de la phase gazeuse du GNL de sorte que cette dernière soit supérieure à la pression de saturation du GNL, stoppant alors le processus d'évaporation du GNL et inhibant ainsi la diminution de l'indice de méthane du GNL présent à l'état liquide stocké dans la cuve. L'étape d'ajustement actif augmente la pression dans le ciel de cuve au-dessus de la pression de saturation du GNL stocké dans la cuve, notamment d'une valeur comprise entre 20 millibars et 400 millibars, et plus particulièrement entre 20 millibars à 100 millibars.

- l'étape d'estimation de l'indice de méthane comprend une étape de détermination indirecte de l'indice de méthane. Plus particulièrement, et selon une première alternative, l'indice de méthane est déterminé, lors de l'étape de détermination indirecte, à partir de la composition du gaz naturel liquéfié au moment du chargement de la cuve. En effet, la composition initiale du GNL dépend notamment de son site d'extraction. Ainsi, la composition initiale du GNL extrait d'un site d'extraction particulier est connue. L'indice de méthane évoluant selon une cinétique connue faisant intervenir divers paramètres, tels que la composition initiale du GNL ou encore le volume de GNL stocké dans la cuve, il est possible de déterminer de manière indirecte la composition du GNL, et donc l'indice de méthane, à un instant donné, en fonction de la composition initiale du GNL. Selon une deuxième alternative, l'indice de méthane est déterminé, lors de l'étape de détermination indirecte, au moins en partie, à partir d'indications provenant d'un capteur de pression dans le ciel de cuve. En effet, une augmentation de la pression dans le ciel de cuve, détectée par le capteur de pression, indique que le processus d'évaporation du GNL à l'état liquide a lieu, et donc que la pression dans le ciel de

cuve est inférieure à la pression de saturation du GNL stocké dans la cuve, entraînant une diminution de l'indice de méthane au cours du temps. De manière analogue, lorsque la pression dans le ciel de cuve reste constante, la pression dans le ciel de cuve est supérieure ou égale à la pression de saturation du GNL, l'indice de méthane restant alors stable au cours du temps.

5 - l'étape d'ajustement actif est une étape d'augmentation de la pression dans le ciel de cuve lorsqu'est détectée une diminution de l'indice de méthane estimé. Ainsi, l'augmentation de la pression dans le ciel de cuve permet de ralentir, voire de stopper, l'évaporation du GNL stocké dans la cuve, et donc de ralentir, voire de stopper, la diminution de l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve. L'augmentation de la pression peut par exemple être réalisée en prélevant à
10 l'aide d'une pompe du GNL en phase liquide et en l'injectant dans la cuve de stockage ou bien encore en stoppant ou en ralentissant la sortie du GNL en phase gazeuse vers l'extérieur de la cuve de stockage. L'arrêt ou le ralentissement de la sortie du GNL en phase gazeuse vers l'extérieur de la cuve de stockage peut être obtenu, premièrement, par l'arrêt ou le ralentissement du fonctionnement d'un compresseur qui aspire dans le ciel de cuve, et/ou, deuxièmement, par
15 la fermeture, totale ou partielle, d'une vanne qui met en communication le ciel de cuve avec une conduite externe à la cuve.

- l'étape d'ajustement actif comprend une étape de détermination de la pression de saturation du gaz naturel liquéfié, une étape de mesure de la pression dans le ciel de cuve, une étape de comparaison entre la pression dans le ciel de cuve et la pression de saturation
20 déterminée, et une étape d'ajustement de la pression dans le ciel de cuve. Ainsi, cette configuration permet notamment de pouvoir ajuster la pression dans le ciel de cuve de sorte que cette dernière soit supérieure à la pression de saturation du GNL, empêchant ainsi l'évaporation de la phase liquide du GNL afin de stopper la diminution de l'indice de méthane du GNL au cours du temps, quand il a été déterminé que l'indice de méthane s'apprête à passer en-dessous
25 de la valeur cible minimale.

- l'étape d'ajustement actif comprend une pluralité d'ajustements intermédiaires de la pression dans le ciel de cuve. Ainsi, les ajustements de la pression dans le ciel de cuve sont effectués les uns à la suite des autres, c'est-à-dire par palier. L'étape d'ajustement actif s'effectue

ainsi pas à pas, de manière progressive, au cours du temps. Autrement dit, la pression dans le ciel de cuve est ajustée en plusieurs étapes entre une pression initiale et une pression terminale. Cette configuration permet notamment d'ajuster la pression dans le ciel de cuve, en plusieurs étapes, chaque étape étant mise en œuvre dès qu'il est déterminé une baisse de l'indice de méthane. De manière avantageuse, les ajustements intermédiaires sont des augmentations par palier de la pression dans le ciel de cuve, de sorte qu'à chaque étape la pression dans le ciel de cuve soit légèrement supérieure à la pression de saturation du GNL stocké dans la cuve. Cette configuration permet de contrôler la pression dans le ciel de cuve, et donc de maintenir l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve, tout en limitant l'échauffement du GNL stocké dans la cuve, en comparaison d'une configuration dans laquelle la pression du ciel de cuve serait modifiée par un unique ajustement entre la pression initiale et la pression terminale. Cette configuration permet également de conserver une marge de sécurité par rapport à une pression maximale supportée par la cuve, ou encore par rapport à une pression de sécurité opérationnelle, le processus d'évaporation naturelle du GNL stocké dans la cuve produisant une augmentation de la pression dans le ciel de cuve. De manière avantageuse, la pluralité d'ajustements intermédiaires comprend entre deux et cinquante ajustements réalisés chacun par palier. Ces ajustements intermédiaires forment des pas de l'étape de contrôle de la pression.

- on notera que l'étape d'estimation de l'indice de méthane du gaz naturel liquéfié, l'étape de comparaison entre l'indice de méthane estimé l'indice de méthane cible, et l'étape d'ajustement actif sont des étapes qui peuvent être opérées de manière itérative, notamment dans le cas d'un ajustement de la pression par palier.

- le procédé de contrôle comprend, à la suite de l'étape de détermination de la pression de saturation du gaz naturel liquéfié, une étape d'information d'un opérateur lorsque la pression de saturation déterminée est supérieure à la pression dans le ciel de cuve. Ainsi, l'opérateur est informé que le processus d'évaporation du GNL stocké dans la cuve est susceptible de se produire, pouvant alors potentiellement entraîner une diminution de l'indice de méthane, notamment en dessous de la valeur cible minimale tolérée par le moteur, l'opérateur pouvant alors, par exemple, prendre les mesures nécessaires afin d'augmenter l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve, ou encore de procéder à la diminution de la charge, et notamment de

sa vitesse de rotation, du moteur utilisant le GNL comme carburant afin de réduire le risque de détérioration dudit moteur.

- dans un mode de réalisation, le procédé est mis en œuvre pendant une période finale du trajet du navire, une telle période correspondant par exemple à une seconde moitié du trajet du navire. En effet, la phase liquide du GNL diminuant au cours du temps, notamment du fait de la consommation du GNL par le moteur du navire pendant le trajet, la diminution de l'indice de méthane du GNL s'accélère au cours du temps de trajet du navire. Cette configuration de l'invention permet ainsi de ralentir, voire de stopper, la diminution de l'indice de méthane du GNL liquide stocké dans la cuve, lorsque cette diminution tend à être la plus rapide. De manière similaire, le procédé peut être mis en œuvre en fonction de la quantité de GNL à l'état liquide dans la cuve. Ainsi, le procédé peut être mis en œuvre lorsque le GNL à l'état liquide représente moins de cinquante pour cent du volume de la cuve, ou encore moins de soixante pour cent, ou encore moins de soixante-dix pour cent, ou moins de quatre-vingt pour cent, ou moins de quatre-vingt-dix pour cent du volume de la cuve.

- le procédé objet de l'invention peut être mise en œuvre durant une période comprise entre 7 jours et 15 jours, permettant ainsi la conservation, ou au moins le ralentissement de la diminution de l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve au cours du temps.

- quel que soit le cas de mise en œuvre du procédé objet de l'invention, il est estimé que l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve peut être maintenu de l'ordre de un à cinq points, en comparaison d'une configuration dans laquelle le procédé objet de l'invention ne serait pas mis en œuvre.

Selon un deuxième aspect, l'invention a également pour objet un système de contrôle d'un indice de méthane d'un gaz naturel liquéfié, le système de contrôle comprenant au moins un calculateur et un moyen d'estimation de la composition du gaz naturel liquéfié (GNL) communiquant avec le calculateur, le calculateur pilotant un dispositif d'ajustement de la pression dans le ciel de cuve en fonction des informations transmises par le moyen d'estimation.

Ainsi, le système de contrôle permet de moduler l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve pour maintenir l'indice de méthane du GNL, destiné à être utilisé comme carburant du moteur, au-dessus de la valeur cible minimale de l'indice de méthane tolérées par ledit moteur, et optionnellement en-dessous de la valeur cible maximale de cet indice de méthane.

5 D'autre part, cette configuration présente l'avantage de pouvoir être mise en œuvre facilement sur des navires existants, cette configuration ne nécessitant pas de modifications structurelles importantes.

Le système de contrôle conforme au deuxième aspect de l'invention comprend avantageusement au moins un des perfectionnements ci-dessous, les caractéristiques techniques
10 formant ces perfectionnements pouvant être prises seules ou en combinaison :

- le dispositif d'ajustement de la pression comprend au moins un compresseur et/ou une vanne et/ou une pompe. Plus particulièrement, une entrée du compresseur communique avec le ciel de cuve tandis qu'une sortie du compresseur communique avec le moteur assurant la propulsion du navire. Ainsi, le compresseur permet d'ajuster la pression dans le ciel de cuve. En
15 effet, la vitesse de rotation du compresseur, ou encore la modification de sa cylindrée, par exemple, agit directement sur la pression dans le ciel de cuve, l'augmentation de la vitesse de rotation du compresseur favorisant la diminution de la pression dans le ciel de cuve, tandis que la diminution de la vitesse de rotation du compresseur, entraîne une augmentation de la pression dans le ciel de cuve, l'augmentation de la pression dans le ciel de cuve étant alors due à
20 l'évaporation du GNL stocké dans la cuve jusqu'à atteindre la pression de saturation. De plus, le compresseur permet de réchauffer le GNL à l'état gazeux compris dans le ciel de cuve, favorisant sa combustion au sein du moteur. De préférence, le compresseur est un compresseur à six étages, permettant ainsi un taux de compression élevé du gaz entre l'entrée du compresseur et la sortie compresseur. Lorsque le dispositif d'ajustement de la pression comprend une vanne,
25 cette dernière est reliée à un conduit communiquant avec le ciel de cuve, la vanne étant également reliée à une mise à l'air libre ou encore à un système de combustion, tel qu'une chaudière. Ainsi, la vanne permet d'évacuer le gaz compris dans le ciel de cuve, permettant ainsi de diminuer la pression régnant dans la cuve de stockage. Le gaz ainsi évacué est alors

avantageusement dirigé vers une chaudière, permettant de brûler le gaz occupant le ciel de cuve, ledit gaz étant notamment du méthane, afin de produire de l'énergie du fait de sa combustion. De manière optionnelle, avant d'être acheminé à la chaudière, le gaz peut circuler à travers un échangeur de chaleur afin d'être réchauffé pour favoriser sa combustion. De manière alternative ou cumulative, le gaz présent dans le ciel de cuve est dirigé, après circulation au travers de la vanne, vers un circuit de ventilation afin d'être relargué dans l'atmosphère au niveau d'un mât de ventilation. Ainsi, la fermeture, totale ou partielle, de la vanne, permet l'augmentation de la pression dans le ciel de cuve. Lorsque le dispositif d'ajustement de la pression comprend une pompe, la pompe communique fluidiquement avec le GNL à l'état liquide stocké dans la cuve de stockage. De manière alternative, la pompe peut fonctionner de sorte à pomper du GNL à l'état liquide afin de le réinjecter à l'état liquide dans le ciel de cuve, provoquant alors une augmentation de la pression dans le ciel de cuve. En effet, lors du pompage du GNL liquide, celui-ci subit un échauffement, notamment du fait de sa circulation à travers la pompe, ou encore à travers des conduites reliant une partie de la cuve communiquant avec le GNL liquide au ciel de cuve, ou encore du fait d'une mise en pression du GNL nécessaire à la circulation du GNL dans lesdites conduites. Ainsi, la pression de saturation du GNL qui est pompé par la pompe est supérieure à la pression de saturation du GNL stocké dans la cuve. Ainsi, la réinjection du GNL pompé par la pompe dans la cuve provoque une augmentation de la pression dans le ciel de cuve.

20 - le moyen d'estimation comprend un capteur de pression dans le ciel de cuve et/ou un chromatographe et/ou un spectromètre configuré pour analyser le GNL à l'état liquide, le moyen d'estimation comprenant et un organe de calcul analysant les données du capteur de pression, du chromatographe et/ou du spectromètre. Ainsi, cette configuration permet au calculateur, pilotant le dispositif d'ajustement, d'ajuster la pression dans le ciel de cuve en fonction des données en provenance du capteur de pression, du chromatographe et/ou du spectromètre, afin de moduler l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve. En effet, la composition initiale du GNL étant connue, notamment en fonction du site d'extraction du GNL, et la cinétique d'évaporation au cours du temps du GNL stocké dans la cuve étant également connue, en fonction notamment des conditions de stockage, les données de pression dans le ciel de cuve

fournies par le capteur de pression permettent d'estimer, de manière indirecte, l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve. Alternativement, le chromatographe et/ou le spectromètre permettent de déterminer la composition in situ du GNL à un instant donné, permettant ainsi d'estimer, de manière directe, l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve.

5 Selon un troisième aspect, l'invention a pour objet un système de propulsion d'un navire comprenant un système de contrôle conforme au deuxième aspect de l'invention, le système de propulsion comprenant un moteur à combustion interne utilisant comme carburant le gaz naturel liquéfié stocké dans la cuve pour assurer, au moins partiellement, la propulsion du navire.

Ainsi, le système de propulsion assure la propulsion du navire. Plus particulièrement, le
10 moteur à combustion interne assure la propulsion du navire, le système de contrôle permettant d'ajuster l'indice de méthane du GNL utilisé comme carburant par le moteur à combustion interne au-dessus de la valeur cible minimale tolérée par le moteur à combustion interne, permettant ainsi au moteur de fonctionner de manière optimale, et avec un risque de détériorations mécaniques réduit.

15 Selon un quatrième aspect, l'invention a pour objet un navire comprenant un système de contrôle conforme au deuxième aspect de l'invention et/ou un système de propulsion conforme au troisième aspect de l'invention.

Ainsi, cette configuration permet d'assurer la propulsion du navire à l'aide du système de
20 contrôle et/ou du système de propulsion, le navire utilisant le GNL, dont l'indice de méthane estimé est supérieur à la valeur cible minimale tolérée par le moteur, comme carburant. De manière avantageuse, le navire est un méthanier, dont la cargaison principale est du GNL. De manière alternative, le navire est un pétrolier, dont la cargaison principale est un produit dérivé du pétrole, tel que du gaz de pétrole liquéfié, connu sous l'acronyme « GPL », un porte-conteneurs ou tout autre type de navire.

25 D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront plus clairement à la lecture 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 :

- la figure 1 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation d'un procédé de contrôle conforme au premier aspect de l'invention ;
- la figure 2 est une représentation d'une cinétique d'évolution de la pression dans le ciel
5 de cuve en fonction du temps lors de la mise en œuvre d'un exemple de réalisation d'un procédé de contrôle conforme à l'invention ;
- la figure 3 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation d'un système de propulsion conforme au troisième aspect de l'invention et comprenant un système de contrôle conforme au deuxième aspect de l'invention ;
- 10 - la figure 4 est une représentation schématique d'un premier mode de fonctionnement d'un exemple de réalisation d'un système de propulsion conforme au troisième aspect de l'invention ;
- la figure 5 est une représentation schématique d'un deuxième mode de fonctionnement d'un exemple de réalisation d'un système de propulsion conforme au troisième aspect de
15 l'invention ;
- la figure 6 est une représentation schématique d'un troisième mode de fonctionnement d'un exemple de réalisation d'un système de propulsion conforme au troisième aspect de l'invention ;
- la figure 7 illustre schématiquement un exemple de réalisation d'un navire conforme
20 au quatrième aspect de l'invention.

Les caractéristiques, les variantes et les différentes formes de réalisation de l'invention peuvent être associées les unes avec les autres, selon diverses combinaisons, dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres. On pourra notamment imaginer des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites par la
25 suite de manière isolée des autres caractéristiques décrites, si cette sélection de caractéristiques

est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour différencier l'invention par rapport à l'état de la technique antérieur.

En particulier, toutes les variantes et tous les modes de réalisation décrits sont combinables entre eux si rien ne s'oppose à cette combinaison sur le plan technique.

5 La figure 1 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation d'un procédé de contrôle 1 d'un indice de méthane d'un gaz naturel liquéfié (ci-après GNL) stocké dans une cuve, le procédé de contrôle étant conforme au premier aspect de l'invention.

Ainsi, le procédé de contrôle 1 représenté schématiquement comprend une étape d'estimation 10 de l'indice de méthane du GNL, suivie d'une étape de comparaison 20 entre
10 l'indice de méthane estimé à l'étape d'estimation 10 et un indice de méthane cible. Le procédé de contrôle 1 comprend, à la suite de l'étape de comparaison 20, une étape d'ajustement actif 30 de la pression d'un ciel de cuve en fonction de la comparaison entre l'indice de méthane estimé et l'indice de méthane cible, effectuée lors de l'étape de comparaison 20. Enfin, le procédé de contrôle peut comprendre une étape d'information 40 d'un opérateur.

15 Plus particulièrement, l'étape d'estimation 10 comprend une étape de détermination directe 12 ou une étape de détermination indirecte 14 de l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve. Ainsi, l'étape de détermination directe 12 permet de connaître la composition du GNL stocké dans la cuve à un instant déterminé. L'étape de détermination directe 12 fait
20 notamment intervenir une étape d'analyse par chromatographie ou encore par spectrométrie. La composition du GNL, mesurée à un instant donné et in situ, permet de déterminer, de manière directe, l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve. Ainsi, l'indice de méthane du GNL peut être calculé à partir de la formule suivante :

$$MN = 1,445 \times (\text{MON}) - 103,42$$

Où MON est l'indice d'octane moteur, traduit de l'anglais « Motor Octane Number », le
25 MON étant calculé par la formule :

$$\text{MON} = (137,78x_{\text{méthane}}) + (29,948x_{\text{éthane}}) + (-18,193x_{\text{propane}}) + (-167,062x_{\text{butane}}) +$$

$$(181,233x_{CO_2}) + (26,994x_{N_2})$$

Où x est la fraction molaire des composants correspondants du méthane, de l'éthane, du propane, du butane, du dioxyde de carbone et du diazote, ces composants entrants généralement, à des taux divers, dans la composition d'un GNL.

5 L'étape de détermination indirecte permet quant à elle d'estimer, de manière indirecte, l'indice de méthane du GNL, notamment à partir de la composition initiale du GNL, par exemple connue en fonction du site d'extraction du GNL.

10 L'étape de comparaison 20 permet de comparer l'indice de méthane estimé, de manière directe ou indirecte, à l'étape d'estimation 10, à un indice de méthane cible. L'indice de méthane cible correspond à une valeur de l'indice de méthane minimale afin que le GNL soit utilisable, de manière sûre, comme carburant par le moteur. Ainsi, l'indice de méthane cible est notamment supérieur à une valeur cible minimale tolérée par ledit moteur afin d'assurer un fonctionnement optimal du moteur, c'est-à-dire sans risque d'endommagement du moteur et/ou sans nécessité de diminuer les performances du moteur.

15 L'étape d'ajustement actif 30 permet d'ajuster la pression dans le ciel de cuve en fonction de la comparaison entre l'indice de méthane estimé lors de l'étape d'estimation 10 et l'indice de méthane cible. Le GNL, stocké dans la cuve, est présent à l'état liquide ainsi qu'à l'état gazeux. Le GNL en phase gazeuse, présentant une densité plus faible que la phase liquide, est situé en surface du GNL en phase liquide, la phase gazeuse occupant ainsi un volume appelé ciel de cuve
20 et délimité d'une part par la phase liquide du GNL, et d'autre part par des parois de la cuve.

En effet, la cuve est délimitée par des parois, chaque paroi comprenant par exemple une membrane primaire et une membrane secondaire étanches entre lesquelles est intercalé un isolant favorisant l'isolation thermique de la cuve. Ainsi, l'augmentation de la pression régnant dans le ciel de cuve doit être particulièrement surveillée, c'est-à-dire de l'ordre de quelques
25 millibars au-dessus de la pression atmosphérique, afin d'assurer l'intégrité de la structure de la membrane primaire et/ou de la membrane secondaire.

De manière avantageuse dans l'exemple illustré, l'étape d'ajustement actif 30 comprend

une étape de détermination de la pression de saturation 32 du GNL stocké dans la cuve selon les conditions de pression, de température et de composition du GNL au moment de la mise en œuvre de cette étape, puis une étape de mesure 34 de la pression dans le ciel de cuve, puis une étape de comparaison 36 entre la pression de saturation et la pression dans le ciel de cuve. La pression de saturation du GNL correspond à la pression au-dessus de laquelle l'évaporation du GNL est stoppée. L'étape de mesure de la pression dans le ciel de cuve est réalisée notamment à l'aide d'un capteur de pression. L'étape de comparaison 36 entre la pression de saturation et la pression dans le ciel de cuve permet ainsi d'ordonner une étape de correction 38, si nécessaire, notamment dans le cas où l'indice de méthane estimé serait différent de l'indice de méthane cible. Plus particulièrement, lorsque la pression de saturation est supérieure à la pression dans le ciel de cuve, le processus d'évaporation du GNL a lieu, entraînant la diminution de l'indice de méthane. Ainsi, l'augmentation de la pression dans le ciel de cuve, de manière à ce que cette dernière soit supérieure à la pression de saturation, permet de stopper l'évaporation du GNL, entraînant l'arrêt de la diminution de l'indice de méthane, la pression dans le ciel de cuve étant notamment supérieure de 20 millibars à 400 millibars à la pression de saturation.

Enfin, l'exemple de procédé de contrôle 1 illustré à la figure 1 comprend une étape d'information 40 d'un opérateur, notamment lorsque la pression de saturation, déterminée lors de l'étape de détermination 32 de la pression de saturation, est supérieure à la pression dans le ciel de cuve, indiquant que le processus d'évaporation du GNL se produit à l'intérieur de la cuve, entraînant potentiellement une diminution de l'indice de méthane du GNL. L'opérateur ainsi informé peut alors prendre les mesures nécessaires afin de stopper le processus d'évaporation, par exemple en procédant à l'augmentation de la pression dans le ciel de cuve de sorte que cette dernière soit supérieure à la pression de saturation du GNL stocké dans la cuve, stoppant ainsi la diminution de l'indice de méthane.

Ainsi, le procédé de contrôle 1 permet de contrôler l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve en agissant sur la pression dans le ciel de cuve, et plus particulièrement en autorisant l'évaporation du GNL lorsque l'indice de méthane estimé est supérieur à l'indice de méthane cible ou encore tant que l'indice de méthane estimé augmente, notamment du fait de

l'évaporation préférentielle de l'azote. Selon une alternative, le procédé de contrôle permet d'interdire l'évaporation du GNL lorsque l'indice de méthane estimé est inférieur à l'indice de méthane cible.

La figure 2 est une représentation d'une cinétique d'évolution de la pression P_a dans le ciel de cuve en fonction du temps lors de la mise en œuvre d'un exemple de réalisation d'un
5 procédé de contrôle conforme à l'invention.

Ainsi, on voit que la cinétique d'évolution de la pression P_a dans le ciel de cuve se fait, dans l'exemple de réalisation illustré, selon plusieurs augmentations intermédiaires, autrement dit pas à pas, entre une pression initiale P_i dans le ciel de cuve, par exemple au début d'une phase
10 de transport du GNL stocké dans la cuve entre un site d'extraction et un site d'utilisation, et une pression finale P_f dans le ciel de cuve à la fin de la phase de transport. Ainsi, l'augmentation pas à pas de la pression dans le ciel de cuve est réalisée par l'intermédiaire d'une pluralité d'augmentations intermédiaires P_a de la pression dans le ciel de cuve. Plus particulièrement, la figure 2 illustre une première pression P_1 correspondant à la pression maximale que peut
15 supporter la cuve stockant le GNL, et au-delà de laquelle ladite cuve pourrait subir des dommages mettant en péril son intégrité structurelle. Ainsi, la cuve coopère avantageusement avec une valve d'échappement dont le tarage est égal à la première pression P_1 , la valve d'échappement permettant ainsi à la pression dans le ciel de cuve de ne pas dépasser la première pression P_1 .

La figure 2 illustre également une deuxième pression P_2 , inférieure à la première pression
20 P_1 , et qui correspond à une pression de sécurité opérationnelle, également connue sous l'acronyme anglais « MOP » pour « Maximum Operating Pressure », correspondant par exemple à quatre-vingt-dix pour cent de la première pression P_1 . En effet, du fait de l'évaporation du GNL stocké dans la cuve au cours du temps, la pression dans le ciel de cuve a tendance à
25 augmenter naturellement au cours du temps, rendant nécessaire l'utilisation d'une deuxième pression P_2 dont la valeur est inférieure à la première pression P_1 afin d'éviter des pertes du GNL par actionnements trop fréquents de la valve d'échappement. Dans un mode de réalisation, la première pression P_1 est par exemple égale à 2 bars, la deuxième pression P_2 étant égale à 1,8

bars. L'augmentation pas à pas de la pression dans le ciel de cuve au cours du temps permet de stopper le processus d'évaporation naturelle du GNL stocké dans la cuve tout en limitant l'échauffement dudit GNL du fait de l'augmentation de la pression dans le ciel de cuve.

On remarque une première période de temps T1 au cours de laquelle la pression Pa dans le ciel de cuve n'est pas impactée par le procédé objet de l'invention, la première période de temps T1 se déroulant au début de la période d'évolution de la pression dans le ciel de cuve illustrée à la figure 2. Autrement dit, le procédé conforme au premier aspect de l'invention n'est pas mis en œuvre au cours de la première période T1, notamment en raison du fait qu'il s'agit d'une période où l'azote s'évapore, ce qui contribue à augmenter l'indice de méthane.

Le procédé de contrôle conforme au premier aspect de l'invention est mis en œuvre à un instant Ta, l'instant Ta permettant la définition d'une deuxième période de temps T2 au cours de laquelle le procédé de contrôle est mis en œuvre. La période de temps T2 comprend une pluralité d'étapes d'augmentation de la pression Pa dans le ciel de cuve au cours du temps, permettant que la pression dans le ciel de cuve soit légèrement supérieure à la pression de saturation du GNL stocké dans la cuve, afin de stopper l'évaporation de la phase liquide du GNL.

On peut imaginer d'autres cinétiques, notamment une cinétique au cours de laquelle une phase de pression constante dans le ciel de cuve intervient après une période au cours de laquelle la pression dans le ciel de cuve a été augmentée au moyen de l'invention, ou encore une cinétique dépourvue d'une période spécifique au cours de laquelle la pression dans le ciel de cuve reste constante.

Dans la cinétique illustrée à la figure 2, on remarque qu'au cours de la deuxième période T2 lors de laquelle le procédé de contrôle est mis en œuvre, l'augmentation de la pression au cours du temps est faite de sorte qu'une première augmentation A1, par exemple de l'ordre de 400 millibars, de la pression dans le ciel de cuve au début de la deuxième période T2 est plus importante qu'une deuxième augmentation A2, par exemple 20 millibars, de la pression dans le ciel de cuve à la fin de la deuxième période T2. Autrement dit, le pas d'augmentation de la pression dans le ciel de cuve diminue au fur et à mesure de la mise en œuvre du procédé de

contrôle conforme à l'invention. Cette configuration permet de ralentir l'augmentation de la pression P dans le ciel de cuve à mesure que cette dernière se rapproche de la deuxième pression P2 correspondant à une pression de sécurité opérationnelle de la cuve, permettant ainsi la mise en œuvre du procédé de contrôle conforme au premier aspect de l'invention pendant une

5 période de temps plus importante. Sans sortir du cadre de l'invention, l'augmentation de la pression dans le ciel de cuve au cours du temps peut être constante, dès lors qu'elle est opérée par le procédé objet de l'invention.

La figure 3 est une représentation schématique d'un exemple de réalisation d'un système de propulsion 55 conforme au troisième aspect de l'invention et comprenant un système de

10 contrôle 50 conforme au deuxième aspect de l'invention. Le système de contrôle 50 permet le contrôle d'un indice de méthane d'un gaz naturel stocké dans une cuve 80.

Le système de propulsion 55 comprend également un moteur à combustion interne 52 pouvant notamment assurer la propulsion d'un navire comprenant le système de propulsion 55, le moteur à combustion interne 52 utilisant le GNL stocké dans la cuve 80 comme carburant.

15 De manière alternative ou cumulative, le moteur à combustion interne 52 peut également être couplé à un dispositif de stockage d'énergie électrique, le moteur à combustion interne 52 fonctionnant alors comme générateur d'une machine électrique. Ainsi, le système de contrôle 50 permet de fournir au moteur à combustion interne 52 un GNL comme carburant, ledit GNL ayant un indice de méthane compris entre une valeur cible minimale et une valeur cible

20 maximale tolérées par le moteur à combustion interne 52.

Le système de contrôle 50 comprend un calculateur 60 et un moyen d'estimation 70 de la pression d'un ciel de cuve 82 d'une cuve 80 de stockage de GNL. Le ciel de cuve correspond au volume occupé par une phase gazeuse 83 du GNL, ladite phase gazeuse étant située en surface d'une phase liquide 84 du GNL stocké dans la cuve 80. Le moyen d'estimation 70 comprend

25 un capteur de pression 72 dans le ciel de cuve, le capteur de pression 72 transmettant des données relatives à la pression dans le ciel de cuve à un organe de calcul 74 communiquant avec le calculateur 60 afin que ce dernier pilote le dispositif d'ajustement 90 de la pression dans le ciel de cuve 82 en fonction des données du capteur de pression 72.

Le système de contrôle 50 comprend également le dispositif d'ajustement 90 de la pression dans le ciel de cuve 82 piloté par le calculateur 60, le dispositif d'ajustement 90 de la pression dans le ciel de cuve comprenant, dans le mode de réalisation illustré, un compresseur 92, une pompe 94 et/ou une vanne 96. Le dispositif d'ajustement 90 permet d'agir sur la pression dans le ciel de cuve, en augmentant ou en diminuant ladite pression, afin de moduler l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve, et plus particulièrement de stopper la diminution de l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve, afin d'alimenter en GNL le moteur à combustion interne 52 assurant la propulsion du navire et utilisant le GNL stocké dans la cuve 80 comme carburant.

En effet, du fait de l'évaporation préférentielle de certains composés du GNL stocké dans la cuve, l'indice de méthane du GNL évolue au cours du temps. Ainsi, lors de l'évaporation de l'azote, l'indice de méthane augmente au cours du temps. Puis lors de l'évaporation du méthane, l'indice de méthane diminue au cours du temps. Il est ainsi nécessaire de contrôler l'indice de méthane du GNL, afin d'assurer que celui-ci soit compris entre une valeur cible minimale et une valeur cible maximale tolérées par le moteur à combustion interne 52.

Ainsi, le moyen d'estimation 70 permet d'estimer ou de mesurer, de manière directe ou de manière indirecte, l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve 80. Le capteur de pression 72 permet de détecter des modifications de la pression dans le ciel de cuve 82, le capteur de pression transmettant alors des informations relatives à la pression dans le ciel de cuve à l'organe de calcul 74, permettant ainsi de savoir si le GNL stocké dans la cuve subit ou non un processus d'évaporation entraînant potentiellement une modification de l'indice de méthane dudit GNL.

En fonction des informations reçues par le capteur de pression 72, le moyen d'estimation 70 pilote le dispositif d'ajustement 90 pour que celui-ci modifie, si nécessaire, la pression dans le ciel de cuve, afin que le GNL stocké dans la cuve possède un indice de méthane toléré par le moteur à combustion interne 52. Plus particulièrement, l'augmentation de la pression dans le ciel de cuve 82, de sorte que celle-ci soit supérieure à une pression de saturation du GNL, permet de stopper le processus d'évaporation du GNL, permettant ainsi d'éviter la diminution de l'indice de méthane du GNL au cours du temps.

Des modes de fonctionnement du système de contrôle 50, permettant de moduler la pression dans le ciel de cuve 82 afin de modifier si nécessaire l'indice de méthane du GNL, sont détaillés aux figures 4, 5 et 6. Afin de faciliter la compréhension, dans ces figures, seuls sont représentés les éléments nécessaires à chaque mode de fonctionnement illustré. Ces modes de
5 fonctionnement sont notamment utilisables de manière indépendante les uns des autres, ou peuvent être combinés entre eux selon diverses associations, comme illustré par la figure 3.

La figure 4 est une représentation schématique d'un premier mode de fonctionnement d'un exemple de réalisation d'un système de propulsion 55 conforme au troisième aspect de l'invention.

10 Ainsi, la figure 4 illustre le fonctionnement du compresseur 92 du dispositif d'ajustement 90 de la pression dans le ciel de cuve 82.

Le compresseur 92 communique avec le ciel de cuve 82. Plus particulièrement, une entrée du compresseur communique avec le ciel de cuve, tandis qu'une sortie du compresseur communique avec le moteur à combustion interne 52. Le GNL à l'état gazeux, entrant dans le
15 compresseur, est comprimé entre l'entrée du compresseur et la sortie du compresseur. Ainsi, l'augmentation de la vitesse de rotation ou de la cylindrée du compresseur provoque une diminution de la pression dans le ciel de cuve, tandis que la diminution de la vitesse de rotation ou de la cylindrée du compresseur provoque une augmentation de la pression dans le ciel de cuve, entraînant notamment une baisse de l'indice de méthane ou une stabilisation de l'indice
20 de méthane du GNL stocké dans la cuve, respectivement, permettant ainsi une alimentation en un carburant moteur à combustion interne 52 compatible avec le minimum requis par le moteur à combustion interne 52. Plus particulièrement, le compresseur 92 permet notamment d'ajuster la pression dans le ciel de cuve 82 par rapport à la pression de saturation du GNL, afin d'autoriser ou d'interdire l'évaporation du GNL, et donc
25 d'adapter l'indice de méthane en fonction des indications du moyen d'estimation 70. D'autre part, le compresseur 92 permet de réchauffer le GNL destiné à être utilisé comme carburant par le moteur à combustion interne 52, favorisant ainsi sa combustion.

De manière avantageuse, le moteur à combustion interne 52 peut être couplé à un

dispositif de stockage d'énergie électrique 87, tel qu'une batterie électrique, par l'intermédiaire d'un dispositif de conversion d'énergie mécanique en énergie électrique non représenté, tel qu'un alternateur, permettant ainsi au moteur à combustion interne 52 d'assurer l'alimentation électrique d'au moins un périphérique du navire nécessitant de l'énergie électrique pour
5 fonctionner. Le moteur à combustion interne 52 peut donc être un moteur de propulsion du navire, mais l'invention couvre également le cas où le moteur à combustion interne 52 est dédié aux accessoires du navire, notamment pour former une génératrice électrique.

La figure 5 est une représentation schématique d'un deuxième mode de fonctionnement d'un exemple de réalisation d'un système de propulsion 55 conforme au troisième aspect de
10 l'invention.

Ainsi, la figure 5 illustre le fonctionnement de la pompe 94 du dispositif d'ajustement 90 de la pression dans le ciel de cuve. La pompe 94 communique d'une part avec la phase liquide 84 du GNL stocké dans la cuve 80, et d'autre part avec le ciel de cuve 82, un dispositif d'arrêt 85 étant situé entre la pompe 94 et le ciel de cuve 82 et permettant d'autoriser ou d'interdire la
15 circulation du GNL entre la pompe et le ciel de cuve. Le dispositif d'arrêt 85 peut notamment être une vanne deux voies. Ainsi, l'activation de la pompe 94 provoque le pompage de la phase liquide du GNL qui est alors réinjectée dans la phase gazeuse présente dans le ciel de cuve 82, entraînant ainsi une augmentation de la pression dans le ciel de cuve, notamment du fait de l'augmentation de la pression de saturation du GNL consécutive à son échauffement suite à son
20 pompage par la pompe 94, la pression de saturation du GNL pompé étant ainsi supérieure à la pression de saturation du GNL stocké dans la cuve. La réinjection du GNL pompé dans le ciel de cuve 82 induit alors une augmentation de la pression dans le ciel de cuve, comme recherché par le procédé selon l'invention. L'augmentation de la pression dans le ciel de cuve 82 ainsi provoquée permet donc une stabilisation de l'indice de méthane en stoppant ou en ralentissant
25 le processus d'évaporation du GNL stocké dans la cuve, en ajustant la pression dans le ciel de cuve comme proposé par l'invention.

D'autre part, la pompe 94 communique également avec le moteur à combustion interne 52. Ainsi la pompe permet d'alimenter le moteur à combustion interne 52 en GNL, le GNL

étant alors utilisé comme carburant du moteur à combustion interne 52. De manière avantageuse, un dispositif d'évaporation 99 est intercalé entre la pompe 94 et le moteur à combustion interne 52, permettant de faire passer le GNL, à l'état liquide, pompé par la pompe 94, à l'état gazeux en vue de son transfert vers le moteur à combustion interne 52.

5 Le système de propulsion 55 peut comprendre également une chaudière 86 configurée pour utiliser le GNL stocké dans la cuve comme combustible, afin de produire de l'énergie. Dans l'exemple de réalisation illustré, le dispositif d'évaporation 99 est intercalé entre la pompe 94 et la chaudière 86, permettant ainsi à la chaudière d'utiliser le GNL, à l'état gazeux, comme combustible.

10 Le moteur à combustion interne 52 et la chaudière 86 peuvent être couplés à un dispositif de stockage d'énergie électrique 87, permettant ainsi, par exemple, d'alimenter électriquement un périphérique du navire. De manière avantageuse, le moteur à combustion interne 52 et la chaudière 86 sont agencés en parallèle, chacun pouvant ainsi alimenter le dispositif de stockage d'énergie électrique 87 de manière indépendante.

15 La figure 6 est une représentation schématique d'un troisième mode de fonctionnement d'un exemple de réalisation d'un système de propulsion 55 conforme au troisième aspect de l'invention.

20 Ainsi, la figure 6 illustre le fonctionnement de la vanne 96 qui forme un exemple de réalisation du dispositif d'ajustement 90 de la pression dans le ciel de cuve 82. La vanne communique avec le ciel de cuve 82. Ainsi, l'ouverture de la vanne 96, ou l'augmentation de l'ouverture de la vanne 96, permet de favoriser la sortie de la phase gazeuse du GNL dans le ciel de cuve 82, entraînant une diminution de la pression régnant dans le ciel de cuve 82. Ainsi, la vanne 96 permet l'ajustement de la pression dans le ciel de cuve 82 en fonction de l'indice de méthane estimé par le moyen d'estimation 70. La vanne 96 permet également de diminuer la
25 pression dans le ciel de cuve 82 dans le cas où ladite pression dans le ciel de cuve est supérieure à une pression de sécurité dans le ciel de cuve supportée par la cuve, permettant ainsi de préserver l'intégrité structurelle de la cuve 80.

La vanne 96 peut communiquer avec le moteur à combustion interne 52 assurant la propulsion du navire, permettant ainsi l'alimentation dudit moteur en GNL, le GNL étant utilisé comme carburant par ce moteur. La vanne 96 permet ainsi, en agissant sur la pression dans le ciel de cuve, de contrôler l'indice de méthane du GNL destiné à être utilisé comme carburant par le moteur à combustion interne 52.

Dans l'exemple de réalisation illustré, la vanne 96 peut communiquer avec une chaudière 86. Ainsi, la vanne 96 permet l'alimentation en GNL de la chaudière, celle-ci étant utilisée pour brûler le GNL afin de produire de l'énergie, par exemple afin de produire de l'énergie électrique, notamment destinée à être stockée dans un dispositif de stockage d'énergie électrique 87, alimentant électriquement un périphérique du navire. Un dispositif d'évaporation 99 est avantageusement intercalé entre la vanne et la chaudière, le dispositif d'évaporation 99 permettant le réchauffement du GNL en provenance de la cuve 80 et à destination de la chaudière 86, afin de favoriser la combustion du GNL par la chaudière, le GNL étant stocké à environ -160°C dans la cuve.

Selon l'exemple illustré sur la figure 6, la vanne, dite première vanne 96, est reliée à un mât de ventilation 98 communiquant avec l'environnement extérieur à la cuve 80. Une vanne, dite deuxième vanne 97, est intercalée entre la première vanne 96 et le mât de ventilation 98. Ainsi, le mât de ventilation 98 permet l'évacuation de la phase gazeuse du GNL compris dans le ciel de cuve 82, afin de réduire la pression dans le ciel de cuve, par exemple en cas de surpression risquant d'endommager la cuve 80, ou encore afin de diminuer la pression dans le ciel de cuve 82, autorisant ainsi le processus d'évaporation de la phase liquide du GNL à se produire, dans le cas où l'indice de méthane du GNL est supérieure à la valeur cible maximale tolérée par le moteur. La deuxième vanne 97 permet d'autoriser ou d'interdire la circulation du GNL depuis la première vanne 96 en direction du mât de ventilation 98.

La figure 7 illustre schématiquement un exemple de réalisation d'un navire 100 conforme au quatrième aspect de l'invention.

Le navire 100 comprend ainsi une cuve 80 stockant du GNL, un système de propulsion 55 comprenant un système de contrôle 50 de l'indice de méthane du GNL stocké dans la cuve

80, le système de propulsion 55 comprenant également un moteur à combustion interne 52 assurant la propulsion du navire, le moteur à combustion interne 52 étant couplé à au moins une hélice 53 par un arbre de transmission, la mise en rotation de l'hélice 53 par le moteur à combustion interne 52 étant responsable de la propulsion du navire 100.

5 Dans l'exemple de réalisation illustré, le navire 100 est un méthanier, c'est-à-dire que la cargaison principale du navire est le GNL stocké dans la cuve 80, ledit GNL étant ainsi destiné, d'une part, à être acheminé jusqu'à un site de destination, et d'autre part, à être utilisé comme carburant pour assurer, au moins partiellement, la propulsion du navire 100. Dans un autre exemple de réalisation, le navire pourrait être notamment, sans sortir du cadre de l'invention,
10 un porte-conteneurs, ou tout autre type de navire, le navire comprenant une cuve stockant du GNL, à titre de cargaison principale, secondaire ou en tant que réservoir, et un système de propulsion 55 comprenant un système de contrôle et un moteur utilisant le GNL stocké dans la cuve comme carburant, le système de contrôle permettant de moduler l'indice de méthane du GNL afin de permettre une utilisation sans risque, par le moteur, du GNL comme carburant.

15 De manière alternative ou cumulative, et sans sortir du cadre de l'invention, le moteur à combustion interne 52 peut être un moteur dédié à un dispositif de stockage d'énergie électrique, le moteur à combustion interne fonctionnant alors comme générateur d'une machine électrique afin d'alimenter électriquement un périphérique du navire.

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

L'invention, telle qu'elle vient d'être décrite, atteint bien les buts qu'elle s'était fixés, et permet de proposer un procédé de contrôle, ainsi qu'un système de contrôle, d'un indice de méthane permettant de contrôler l'indice de méthane d'un GNL destiné à être utilisé comme
25 carburant d'un moteur, en ajustant la pression dans le ciel de cuve de la cuve stockant le GNL. L'invention permet également de ralentir voire d'éviter la diminution de l'indice de méthane du GNL au cours du temps, notamment lors du transport du GNL, par un contrôle de la pression dans le ciel de cuve. 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 de contrôle conforme au premier aspect de l'invention et/ou un système de contrôle conforme au deuxième aspect de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de contrôle (1) d'un indice de méthane d'un gaz naturel liquéfié stocké dans une cuve (80), le procédé de contrôle (1) comprenant :

- 5 - une étape d'estimation (10) de l'indice de méthane du gaz naturel liquéfié ;
- une étape de comparaison (20) entre l'indice de méthane estimé à l'étape d'estimation (10) et un indice de méthane cible ;
- une étape d'ajustement actif (30) de la pression d'un ciel de cuve (82) en fonction de la comparaison entre l'indice de méthane estimé et l'indice de méthane cible.

10 2. Procédé de contrôle (1) selon la revendication précédente, dans lequel l'étape d'estimation (10) de l'indice de méthane comprend une étape de détermination directe (12) de l'indice de méthane par analyse de la composition du gaz naturel liquéfié présent dans la cuve (80).

15 3. Procédé de contrôle (1) selon la revendication 1, dans lequel l'étape d'estimation (12) de l'indice de méthane comprend une étape de détermination indirecte (14) de l'indice de méthane.

 4. Procédé de contrôle (1) selon la revendication précédente, dans lequel l'indice de méthane est déterminé, lors de l'étape de détermination indirecte (14), à partir de la composition du gaz naturel liquéfié au moment du chargement de la cuve.

20 5. Procédé de contrôle (1) selon la revendication 3, dans lequel l'indice de méthane est déterminé, lors de l'étape de détermination indirecte (14), au moins en partie à partir d'indications provenant d'un capteur de pression (72) dans le ciel de cuve (82).

25 6. Procédé de contrôle (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape d'ajustement actif (30) est une étape d'augmentation de la pression dans le ciel de cuve (82) lorsqu'est détectée une diminution de l'indice de méthane estimé.

7. Procédé de contrôle (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape d'ajustement actif (30) comprend une étape de détermination (32) de la pression de saturation du gaz naturel liquéfié, une étape de mesure (34) de la pression dans le ciel de cuve (82), une étape de comparaison (36) entre la pression dans le ciel de cuve (82) et la pression de saturation déterminée, et une étape de correction (38) de la pression dans le ciel de cuve (82).

8. Procédé de contrôle (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape d'ajustement actif (30) comprend une pluralité d'ajustements intermédiaires (Pa) de la pression dans le ciel de cuve (82).

9. Procédé de contrôle (1) selon l'une quelconque des revendications 7 ou 8, comprenant, à la suite de l'étape de détermination (32) de la pression de saturation du gaz naturel liquéfié, une étape d'information (40) d'un opérateur lorsque la pression de saturation déterminée est supérieure à la pression dans le ciel de cuve (82).

10. Système de contrôle (50) d'un indice de méthane d'un gaz naturel liquéfié, le système de contrôle (50) comprenant au moins un calculateur (60) et un moyen d'estimation (70) de la composition du gaz naturel liquéfié communiquant avec le calculateur (60), caractérisé en ce que le calculateur (60) pilote un dispositif d'ajustement (90) de la pression dans le ciel de cuve (82) en fonction des informations transmises par le moyen d'estimation (70).

11. Système de contrôle (50) selon la revendication précédente, dans lequel le dispositif d'ajustement (90) de la pression dans le ciel de cuve (82) comprend au moins un compresseur (92) et/ou une vanne (96) et/ou une pompe (94).

12. Système de contrôle (50) selon l'une quelconque des revendications 10 ou 11, dans lequel le moyen d'estimation (70) comprend un capteur de pression (72) dans le ciel de cuve (82), et/ou un chromatographe (73) et/ou un spectromètre (75) configuré pour analyser le GNL à l'état liquide, le moyen d'estimation (70) comprenant un organe de calcul (74) analysant les données du capteur de pression (72), du chromatographe (73) et/ou du spectromètre (75).

13. Système de propulsion (55) d'un navire (100) comprenant un système de contrôle (50) selon l'une des revendications 10 à 12, le système de propulsion (55) comprenant un

moteur à combustion interne (52) utilisant comme carburant le GNL stocké dans la cuve (80) pour assurer, au moins partiellement, la propulsion du navire (100).

14. Navire (100) comprenant un système de contrôle (50) selon l'une quelconque des revendications 10 à 12 et/ou un système de propulsion (55) selon la revendication 13.

1/7

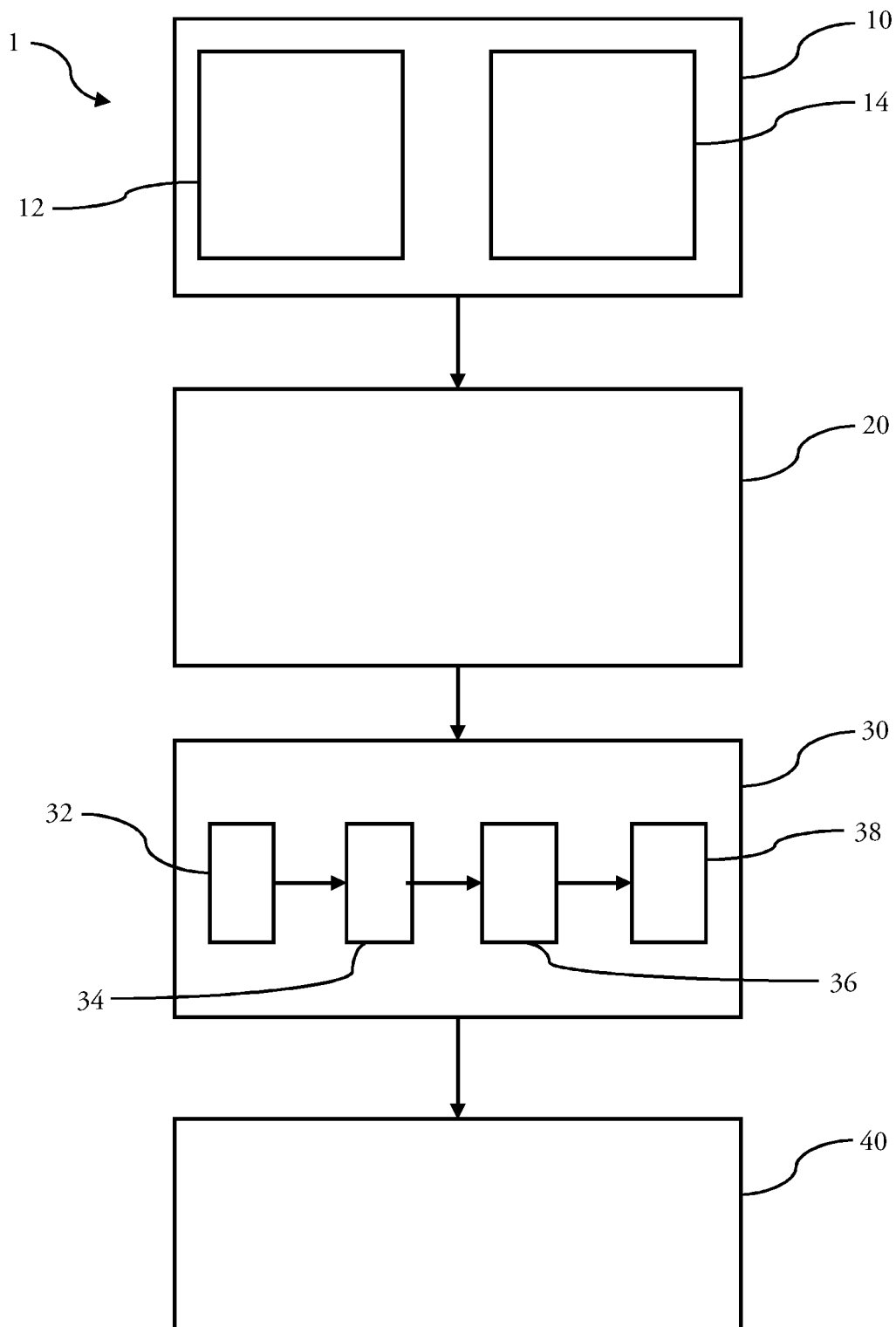


Fig. 1

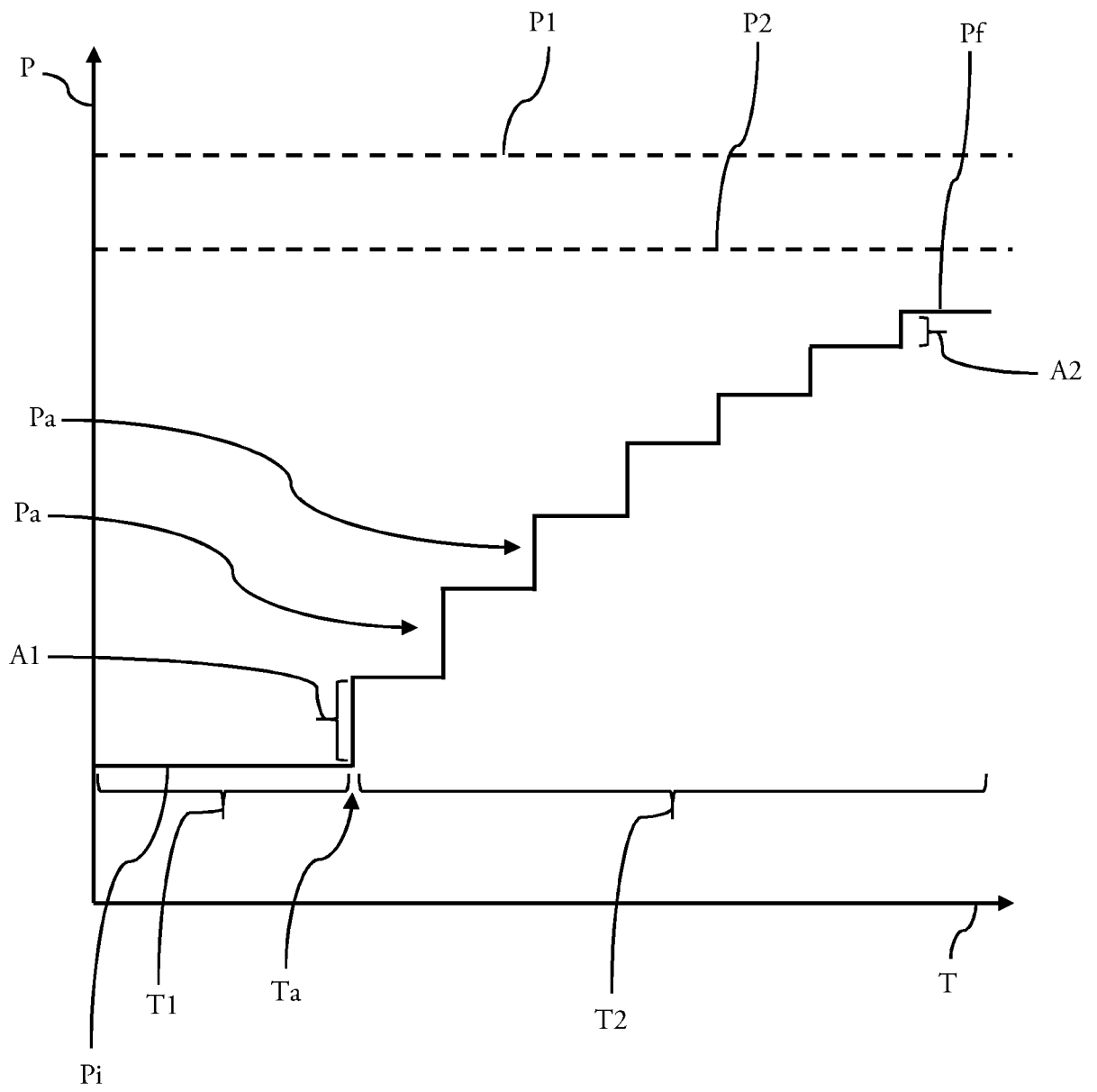


Fig. 2

3/7

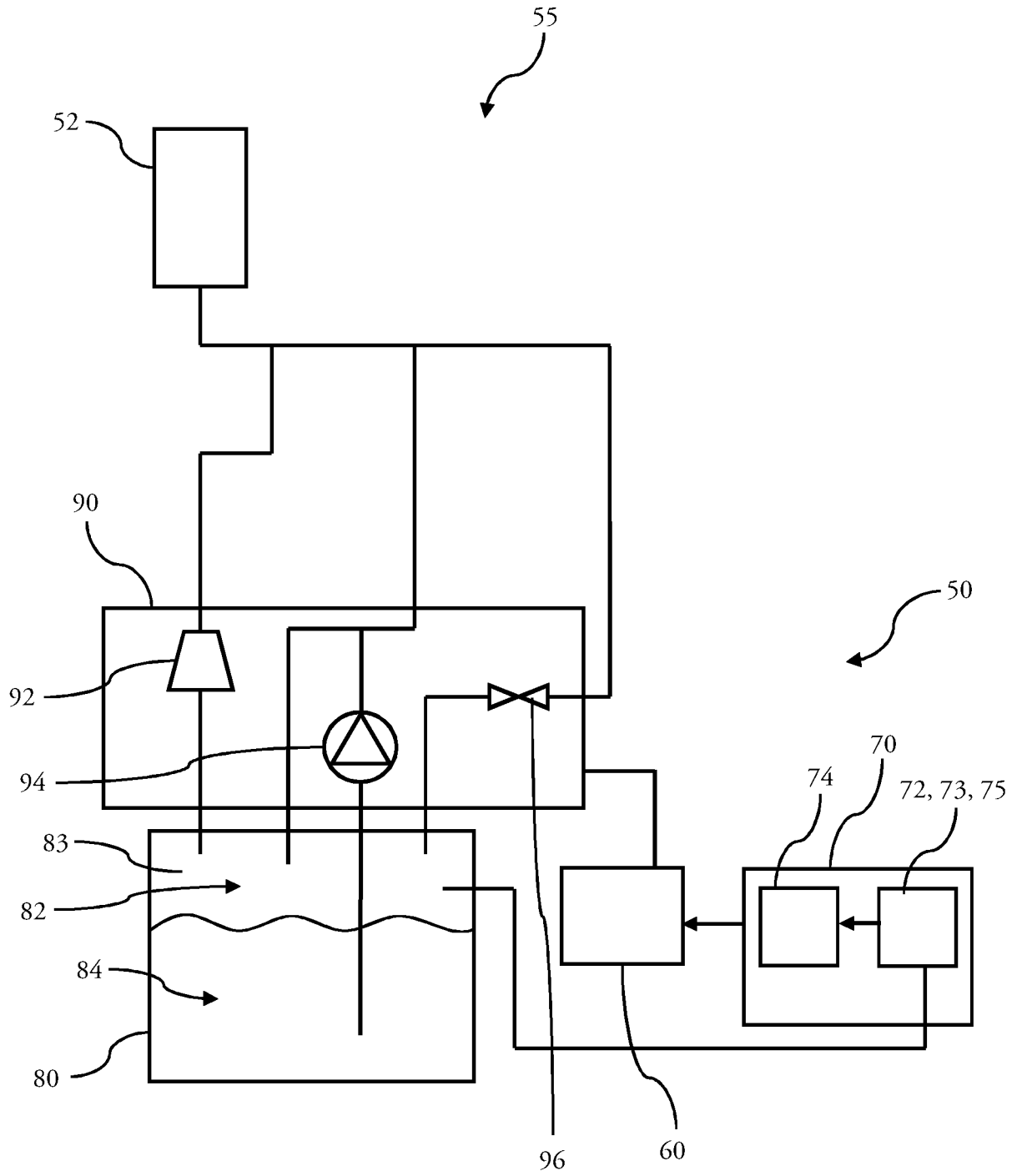


Fig. 3

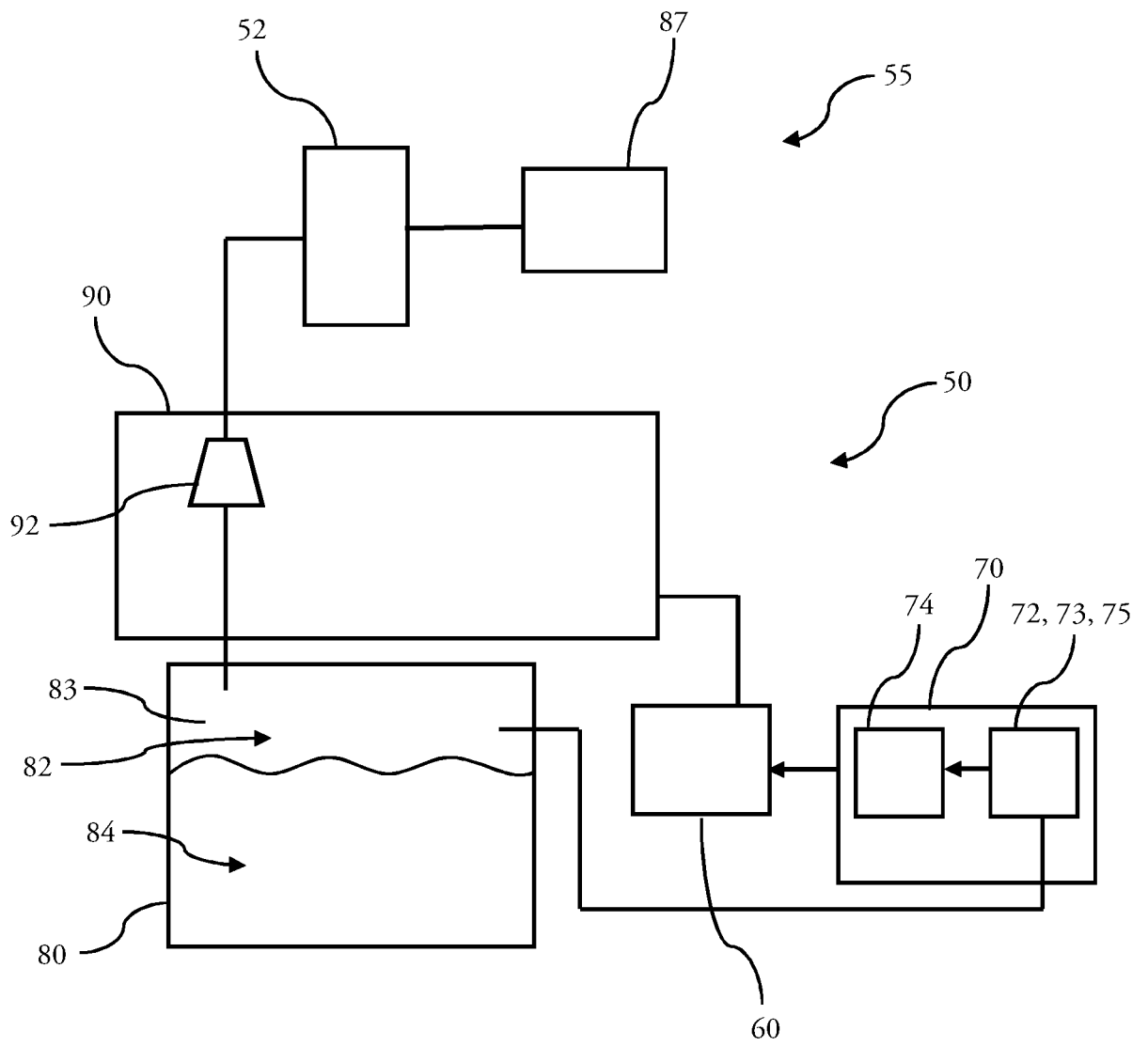


Fig. 4

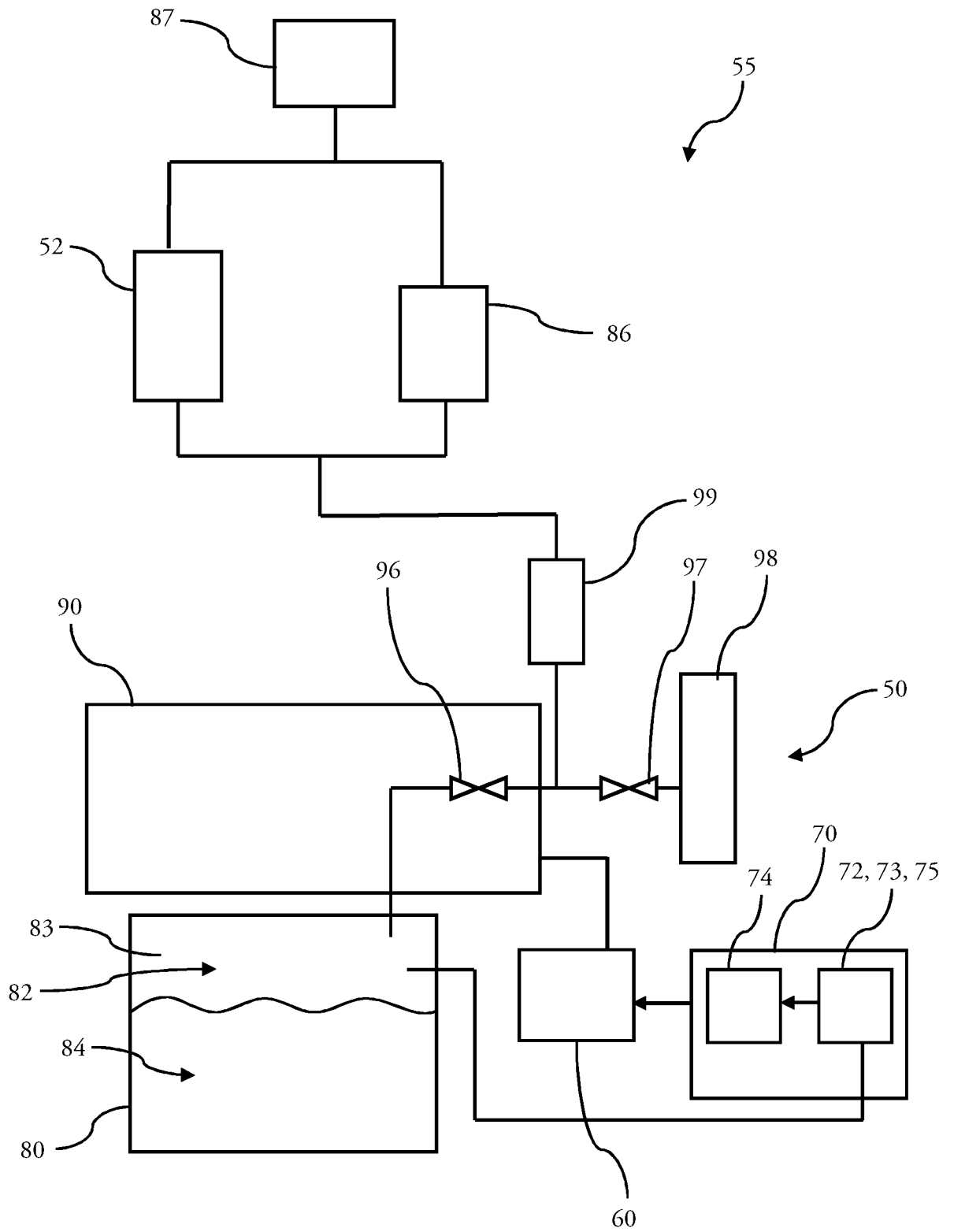


Fig. 6

7/7

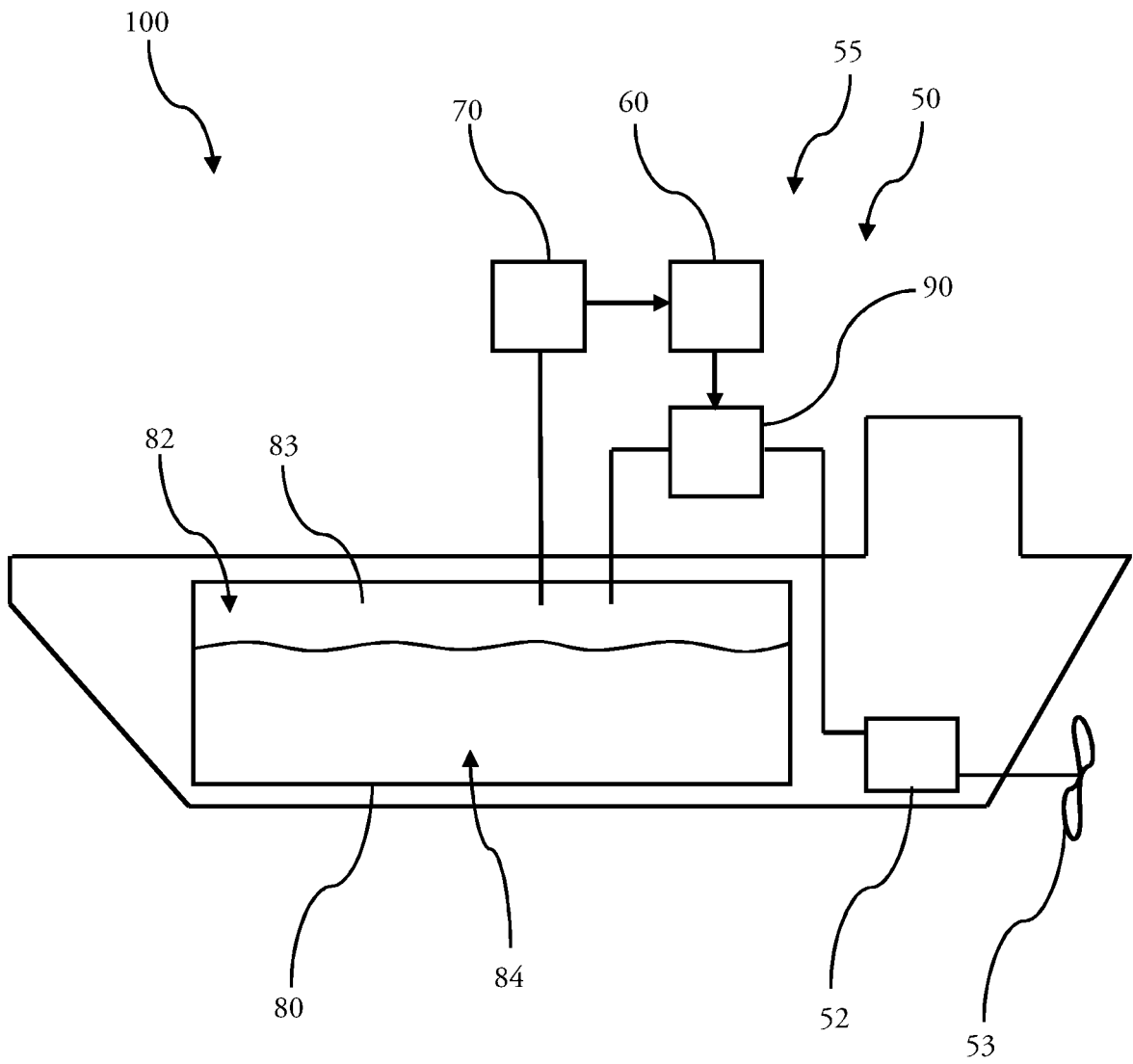


Fig. 7

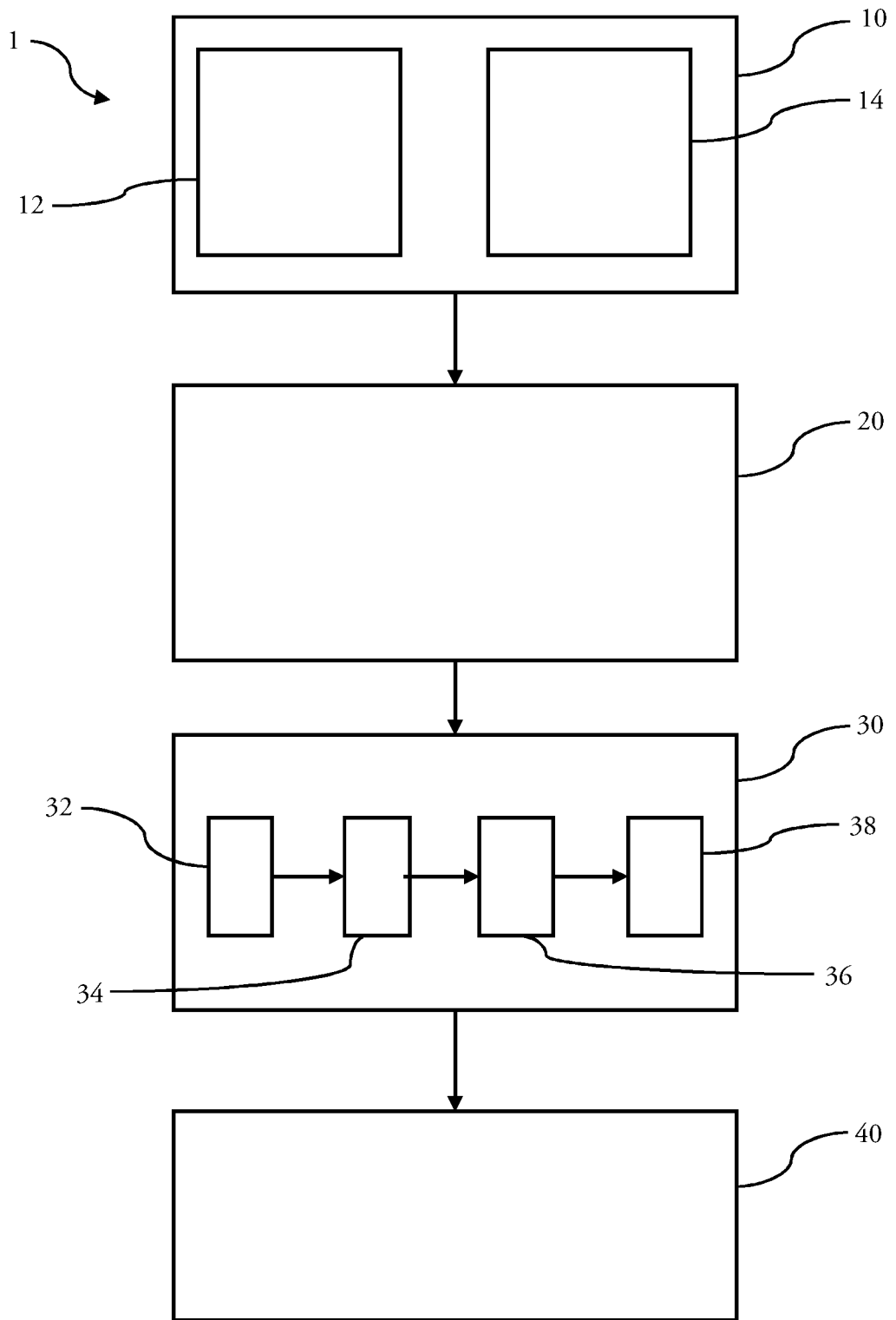


Fig. de l'abrégé

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

WO 2016/097651 A1 (ENGIE [FR])
23 juin 2016 (2016-06-23)

WO 2017/114815 A1 (SHELL INT RESEARCH
[NL]; SHELL OIL CO [US])
6 juillet 2017 (2017-07-06)

WO 2005/022027 A1 (CRYOSTAR FRANCE SA
[FR]; POZIVIL JOSEF [FR])
10 mars 2005 (2005-03-10)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT