

DESCRIPTION

Titre de l'invention : Détermination de pertes opérationnelles d'énergie dans un navire de transport de gaz liquéfié

La présente invention se rapporte au domaine des navires de transport de gaz liquéfié, notamment des méthaniers, et au domaine des équipements de supervision de la consommation énergétique dans ces navires. Plus précisément, l'invention concerne un procédé de détermination de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie dans un tel navire.

Un tel navire a une cale aménagée pour contenir une à plusieurs cuves de transport de gaz à l'état liquide, ces cuves ayant une capacité de plusieurs milliers voire plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes. Lorsqu'il s'agit de gaz naturel, celui-ci est maintenu dans les cuves à -163°C (degrés Celsius) environ, à la pression atmosphérique. Les cuves sont donc étanches et thermiquement isolées par une double couche d'isolation. Le gaz naturel liquéfié (GNL) ayant cependant tendance à s'évaporer, du fait par exemple d'une diminution de la pression du gaz dans les cuves ou d'un flux de chaleur passant à travers les parois de cuve malgré la double isolation, la partie supérieure de chaque cuve, appelée ciel gazeux de cuve, est remplie de gaz à l'état de vapeur. Celui-ci est généralement utilisé comme carburant pour un ou plusieurs moteurs du navire. Le gaz à l'état de vapeur non utilisé et ne pouvant être maintenu dans les cuves, est brûlé via une torchère puis rejeté dans l'atmosphère, ou plus rarement rejeté tel quel, ou reliquéfié par un système de (re)liquéfaction du navire, appelé système de liquéfaction dans cette demande, et renvoyé à -163°C à l'état liquide dans les cuves. Ce système de liquéfaction permet donc d'économiser du gaz, donc de l'énergie, qui sans ce système serait perdue, tout en étant lui-même consommateur d'énergie pour fonctionner.

Le bilan énergétique des pertes opérationnelles de gaz évaporé lors d'un trajet du navire, aussi appelé BOR (pour l'anglais « Boil-Off Rate ») opérationnel d'un navire, est difficile à estimer. Il dépend notamment de la consommation des moteurs du navire, qui font diminuer la pression dans au moins une des cuves, des conditions météorologiques (température, houle), de la résistance thermique des cuves, et de l'efficacité du système

de liquéfaction. Des conditions météorologiques difficiles peuvent être à l'origine de mouvements importants du navire et donc du gaz liquéfié dans les cuves, ce qui génère une évaporation du gaz liquéfié plus importante que lorsque le navire navigue en eaux calmes.

- 5 Or, les armateurs de tels navires sont désireux de connaître la performance précise de leurs navires en termes de pertes opérationnelles d'énergie, notamment pour des raisons de garanties contractuelles.

Actuellement, les armateurs utilisent la diminution de volume de gaz liquéfié dans les cuves pour apprécier cette performance opérationnelle, mais cette méthode n'est pas
10 précise du fait notamment des variations des mouvements de liquide dans les cuves dus au mouvement du navire lui-même. De plus cette diminution ne distingue pas les pertes d'énergie due à la consommation de gaz par les moteurs du navire, des autres pertes.

Par ailleurs, la performance opérationnelle intéressant les armateurs devrait prendre en compte les meilleures conditions d'utilisation du navire, et notamment du système de
15 liquéfaction du navire. Or, ce système de liquéfaction, lui-même consommateur d'énergie, n'est pas toujours activé sur le trajet du navire, et de ce fait la performance opérationnelle mesurée par la méthode de la variation de volume n'est souvent pas représentative de la performance opérationnelle permise par le navire.

Des méthodes prédictives, utilisant une consommation d'énergie estimée du navire sur
20 un trajet en fonction de différents contextes d'utilisation, peuvent fournir une performance opérationnelle tenant compte des meilleures conditions d'utilisation du navire. Cependant, ces méthodes prédictives s'avèrent complexes et *in fine* peu précises, et résultent en une mauvaise perception de la performance opérationnelle que permet le navire, se traduisant en un manque d'intérêt et de confiance sur les données fournies par
25 ces méthodes.

Il existe donc un besoin de fournir une performance opérationnelle précise d'un navire de transport de gaz liquéfié équipé d'un système de liquéfaction, de manière à permettre une compréhension des différences de performance opérationnelle en fonction des conditions d'utilisation du navire.

- La présente invention vise à remédier au moins en partie aux inconvénients de la technique antérieure en fournissant un procédé de détermination de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie sur un intervalle de temps, dans un navire de transport de gaz liquéfié, un dispositif et un système de détermination
- 5 correspondants, ainsi qu'un programme d'ordinateur, qui permettent de comparer de manière précise une performance opérationnelle active correspondant à un mode d'utilisation du navire dans lequel le système de liquéfaction est actif, avec une performance opérationnelle passive correspondant à un mode d'utilisation du navire dans lequel le système de liquéfaction est désactivé.
- 10 A cette fin, l'invention propose un procédé de détermination de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie sur un intervalle de temps, d'un navire de transport de gaz liquéfié, cette énergie étant initialement stockée sous forme de gaz liquéfié et de gaz évaporé dans au moins une cuve du navire, le navire étant équipé d'un système de liquéfaction du gaz évaporé, le procédé de détermination comportant des étapes de :
- 15 - calcul d'une première donnée représentative d'une quantité d'énergie consommée sur l'intervalle de temps, en fonction d'au moins une mesure relative à l'activité d'au moins un consommateur d'énergie du navire,
- calcul d'une deuxième donnée représentative d'une variation d'énergie du gaz liquéfié présent dans la cuve, en fonction d'une variation de température du gaz liquéfié dans la
- 20 cuve sur l'intervalle de temps,
- ajout de la deuxième donnée à la première donnée résultant en une donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective dans le navire,
- le procédé de détermination étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre, lorsque le système de liquéfaction est activé sur l'intervalle de temps :
- 25 - une étape de calcul d'une troisième donnée représentative d'une quantité d'énergie économisée par le système de liquéfaction sur l'intervalle de temps, et
- une étape d'addition de la troisième donnée à la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective, résultant en une donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée qui aurait été constatée sans l'activation du système de
- 30 liquéfaction.

Dans ce procédé de détermination selon l'invention, la première donnée est fonction d'une ou plusieurs mesures liées chacune à un ou plusieurs consommateurs du navire, par exemple plusieurs moteurs, de sorte à calculer la totalité de l'énergie consommée par les consommateurs du navire. Les mesures sont fournies par un ou plusieurs capteurs, par exemple un débitmètre dans une conduite d'alimentation d'un moteur du navire.

De plus, lorsque le navire comporte plusieurs cuves, la deuxième donnée correspond à une variation d'énergie liée à une variation de température du gaz liquéfié sur toutes les cuves, qui peut être positive ou négative. En effet, lorsque le navire consomme beaucoup de gaz évaporé, la pression du gaz liquéfié est susceptible de baisser, faisant chuter la température du GNL. Dans ce cas le GNL a fourni de l'énergie, ce qui correspond à une deuxième donnée négative. Au contraire, lorsqu'on consomme peu de gaz évaporé, la pression du gaz liquéfié est susceptible d'augmenter et donc de faire monter la température du gaz liquéfié, résultant en une absorption d'énergie par le GNL, ce qui correspond à une deuxième donnée positive. Enfin, la troisième donnée correspond à l'énergie économisée sur toutes les cuves par le système de liquéfaction.

L'intervalle de temps pour lequel sont calculées les première, deuxième et troisième données correspondent par exemple à une journée, ou une heure, cet intervalle pouvant être adapté en fonction du plus petit intervalle de temps sur lequel le système de liquéfaction est activé ou désactivé. Il est à noter en effet que les calculs de la troisième donnée et de la perte opérationnelle d'énergie estimée peuvent être effectués également quand le système de liquéfaction est désactivé, simplement la troisième donnée aura la valeur nulle et la perte opérationnelle d'énergie estimée vaudra la perte opérationnelle d'énergie effective.

Grâce au procédé de détermination selon l'invention, les données représentatives des pertes opérationnelles d'énergie sont plus précises que dans l'art antérieur. Notamment, le calcul de la première donnée représentative de l'énergie consommée par des consommateurs du navire, utilise des mesures dont l'intégration sur l'intervalle de temps permet de connaître une masse réelle de gaz échappé de la cuve, contrairement à une estimation de perte massique de l'art antérieur, calculée grâce à une variation de volume,

cette estimation étant très imprécise à cause des mouvements de liquide qui biaisent les données de volume et de densité estimées mathématiquement.

De plus, le procédé de détermination permet de comparer une perte opérationnelle d'énergie effective correspondant à une performance opérationnelle active et à un mode d'utilisation où le système de liquéfaction est activé, à une perte opérationnelle d'énergie estimée correspondant à une performance opérationnelle passive et à un mode d'utilisation où le système de liquéfaction est désactivé. Cette comparaison est basée sur la quantité d'énergie économisée par le système de liquéfaction, dont la valeur n'est pas estimée mais calculée précisément à partir d'une masse mesurée, et donc est très précise.

Ainsi la performance opérationnelle passive est estimée de manière très fiable, ce qui incite un utilisateur du procédé de détermination selon l'invention, à apprécier la performance opérationnelle réellement permise par le navire, et à activer plus fréquemment le système de liquéfaction donc à économiser de l'énergie sur le trajet du navire. Cette approche se distingue de l'art antérieur dans lequel la performance opérationnelle dans des conditions d'utilisation non remplies, est prédite à partir d'économies d'énergie ou de pertes d'énergie estimées, donc beaucoup moins fiables. Notamment les estimations de pertes volumiques à partir de hauteurs de liquide dans les cuves du navire sont très peu fiables notamment du fait des mouvements du navire.

Dans un mode de réalisation, le navire étant équipé d'un dispositif de vaporisation du gaz liquéfié, le procédé de détermination de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie comporte en outre une étape de calcul d'une cinquième donnée représentative d'une quantité d'énergie du gaz liquéfié pompé de la cuve et destiné à traverser le dispositif de vaporisation sur l'intervalle de temps et une étape de soustraction de la cinquième donnée à la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective.

Dans un autre mode de réalisation, le procédé de détermination de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie comporte en outre une étape de calcul d'une sixième donnée représentative d'une variation d'énergie de la phase gazeuse du gaz liquéfié présent dans la cuve, en fonction d'une variation de pression et température

dans la cuve sur l'intervalle de temps, et une étape d'addition de la sixième donnée à la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective. Dans un mode de réalisation de l'invention, les première, deuxième et troisième, cinquième et sixième données ainsi que la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective et la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée correspondent chacune à un ratio entre d'une part une quantité d'énergie perdue sur l'intervalle de temps et d'autre part une quantité d'énergie de référence choisie parmi :

- une quantité d'énergie calculée au début d'une période d'utilisation du procédé de détermination, ou
- 10 - une quantité d'énergie chargée par le navire.

La quantité d'énergie chargée par le navire correspond à une énergie contenue dans la ou les cuves du navire immédiatement après leur remplissage. D'autres quantités d'énergie de référence sont bien sûr utilisables, par exemple la quantité d'énergie de référence choisie est la quantité d'énergie que représenterait le gaz liquéfié chargé par le navire si celui-ci était chargé à un pourcentage prédéterminé de sa cargaison totale, par exemple 15 100%, 95%, ou 90%.

L'utilisation de ce ratio permet à un utilisateur du procédé de détermination selon l'invention, de mieux percevoir les pertes opérationnelles d'énergie sur l'intervalle de temps.

20 De préférence, le procédé de détermination selon l'invention comporte une étape supplémentaire de restitution des première, deuxième et troisième données ainsi que de la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective et de la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée, sur une interface homme-machine. Une telle restitution consiste par exemple en un affichage sur un écran de ladite interface.

25

L'invention concerne aussi un procédé de supervision de données opérationnelles liées à au moins une cuve d'un navire de transport de gaz liquéfié, caractérisé en ce qu'il met en œuvre le procédé de détermination de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie selon l'invention, et en ce qu'il comporte une étape de calcul d'une quatrième

donnée représentative d'une variation de volume de gaz liquéfié dans la cuve sur l'intervalle de temps.

Ce dernier calcul permet à un utilisateur du procédé de supervision selon l'invention, de comparer l'estimation fournie par l'art antérieur, à la perte opérationnelle d'énergie estimée selon l'invention. Il montre la variabilité de cette estimation de l'art antérieur en comparaison avec la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie estimée.

L'invention concerne aussi un dispositif de détermination de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie, comportant des moyens pour mettre en œuvre le procédé de détermination selon l'invention. Le dispositif de détermination met en œuvre le procédé de détermination selon l'invention de manière matérielle et/ou logicielle. Il est apte à récupérer des données de mesure de capteurs lui permettant de mettre en œuvre les différentes étapes du procédé de détermination selon l'invention. Il s'agit donc par exemple d'un ordinateur de bord du navire, ou d'un ordinateur branché à celui-ci, ou encore d'un serveur distant apte à recevoir ces données.

L'invention concerne également un système de détermination de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie sur un intervalle de temps, d'un navire de transport de gaz liquéfié, cette énergie étant initialement stockée sous forme de gaz liquéfié et de gaz évaporé dans au moins une cuve du navire, le navire étant équipé d'un système de liquéfaction du gaz évaporé, le système de détermination comportant :

- des premiers moyens de calcul d'une première donnée représentative d'une quantité d'énergie consommée sur l'intervalle de temps, en fonction d'au moins une mesure relative à l'activité d'au moins un consommateur d'énergie du navire,
 - des deuxièmes moyens de calcul d'une deuxième donnée représentative d'une variation d'énergie du gaz liquéfié présent dans la cuve, en fonction d'une variation de température du gaz liquéfié dans la cuve sur l'intervalle de temps,
 - des moyens d'ajout de la deuxième donnée à la première donnée, délivrant une donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective dans le navire,
- le système de détermination étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre :
- des troisièmes moyens de calcul d'une troisième donnée représentative d'une quantité

d'énergie économisée par le système de liquéfaction sur l'intervalle de temps, lorsque le système de liquéfaction est activé sur l'intervalle de temps, et

- des moyens d'addition de la troisième donnée à la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective, délivrant, lorsque le système de liquéfaction est activé sur l'intervalle de temps, une donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée, qui aurait été constatée sans l'activation du système de liquéfaction.

Le système de détermination selon l'invention est implémenté de manière matérielle et/ou logicielle. Les moyens du système de détermination selon l'invention lui permettent d'implémenter le procédé de détermination selon l'invention. Le système de détermination selon l'invention est donc par exemple identique au dispositif de détermination selon l'invention, ou bien comporte plusieurs entités physiques distantes, par exemple il est formé de l'ordinateur de bord du navire et d'un serveur distant apte à recevoir des données de l'ordinateur de bord du navire, et éventuellement d'un terminal connecté à ce serveur distant. Le serveur distant est éventuellement formé de plusieurs ordinateurs connectés entre eux par un ou plusieurs réseaux de communication. Dans un autre exemple le système de détermination selon l'invention comprend uniquement l'ordinateur de bord et un terminal connecté à cet ordinateur de bord. Le système de détermination selon l'invention peut comporter en outre des capteurs tels que des capteurs de température du gaz liquéfié ou des débitmètres permettant de mesurer une consommation de gaz d'un ou plusieurs consommateurs du navire.

Dans un mode de réalisation de l'invention, le navire étant équipé d'un dispositif de vaporisation du gaz liquéfié, le système de détermination comporte en outre des cinquièmes moyens de calcul d'une cinquième donnée représentative d'une quantité d'énergie du gaz liquéfié pompé de la cuve et destiné à traverser le dispositif de vaporisation sur l'intervalle de temps et des moyens additionnels de soustraction de la cinquième donnée à la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective.

Dans un autre mode de réalisation de l'invention, le système de détermination peut comporter en outre des sixièmes moyens de calcul d'une sixième donnée représentative

d'une variation d'énergie de la phase gazeuse du gaz liquéfié présent dans la cuve, en fonction d'une variation de pression et température dans la cuve sur l'intervalle de temps, et des moyens additionnels d'ajout de la sixième donnée à la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective.

- 5 Selon une caractéristique préférée du système de détermination selon l'invention, celui-ci comporte une interface homme-machine comportant des moyens d'affichage aptes à fournir une représentation des première, deuxième, troisième, cinquième et sixième données, ainsi que des données représentatives des pertes opérationnelles d'énergie effective et estimée, dans laquelle la donnée représentative d'une perte opérationnelle
- 10 d'énergie effective est visualisée sous forme d'une somme entre au moins deux parmi les première, deuxième, cinquième et sixième données et, lorsque le système de liquéfaction est activé sur l'intervalle de temps, la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée est visualisée sous forme d'un cumul de la troisième donnée et de la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective. Autrement dit, cette
- 15 interface homme-machine est apte à mettre en œuvre l'étape supplémentaire de restitution du procédé de détermination selon l'invention, sous forme visuelle.

Dans un mode de réalisation de l'invention, ladite représentation est un graphique en cascade. Un tel graphique est bien adapté à restituer de manière immédiatement compréhensible les relations mathématiques entre les données restituées. Bien sûr en

20 variante de réalisation, d'autres moyens graphiques tels que des tableaux de valeurs, des histogrammes classiques ou des camemberts sont utilisables.

Dans ce mode de réalisation de l'invention, les moyens d'affichage sont aptes à représenter la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective en un premier emplacement du graphique en cascade lorsque le système de liquéfaction est

25 activé sur l'intervalle de temps, ou en un deuxième emplacement du graphique en cascade, distinct du premier emplacement, lorsque le système de liquéfaction est désactivé sur l'intervalle de temps, la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée étant représentée par les moyens d'affichage au deuxième emplacement lorsque le système de liquéfaction est activé sur l'intervalle de temps.

Cette réalisation permet de toujours réserver le premier emplacement sur le graphique à la performance opérationnelle active, et le deuxième emplacement à la performance opérationnelle passive. Autrement dit cela permet à un utilisateur du système de détermination selon l'invention de corréler facilement les pertes opérationnelles d'énergie effective à un contexte d'activation du système de liquéfaction ou à un contexte de désactivation du système de liquéfaction.

Dans ce mode de réalisation, la restitution des données est liée à un intervalle de temps ou à une moyenne sur des intervalles de temps. Notamment dans ce mode de réalisation, l'interface homme-machine du système de détermination selon l'invention comporte en outre des moyens de sélection d'au moins une portion d'un trajet effectué par le navire, et des moyens de sélection de premiers intervalles de temps pendant lesquels le système de liquéfaction était activé sur cette portion de trajet, les moyens d'affichage étant aptes à représenter lorsque les premiers intervalles de temps sont sélectionnés par un utilisateur du système de détermination :

- une moyenne de chaque donnée parmi les première, deuxième, cinquième et sixième données délivrée par les moyens de calcul de ladite donnée pour chacun des premiers intervalles de temps,
- une moyenne de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie effective délivrées par les moyens d'ajout, pour chacun des premiers intervalles de temps,
- une moyenne de troisièmes données délivrées par les troisièmes moyens de calcul pour chacun des premiers intervalles de temps, et
- une moyenne de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie estimées délivrées par les moyens d'addition pour chacun des premiers intervalles de temps.

Dans ce mode de réalisation de l'invention, l'interface homme-machine du système de détermination selon l'invention comporte en outre des moyens de sélection de deuxièmes intervalles de temps pendant lesquels le système de liquéfaction était désactivé sur cette portion de trajet, les moyens d'affichage étant aptes à représenter lorsque les deuxièmes intervalles de temps sont sélectionnés par un utilisateur du système de détermination :

- une moyenne de chaque donnée parmi les première, deuxième, cinquième et sixième données délivrée par les moyens de calcul de ladite donnée pour chacun des deuxièmes intervalles de temps, et
 - une moyenne de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie effective
- 5 délivrées par les moyens d'ajout pour chacun des deuxièmes intervalles de temps. Les moyens de sélection des premiers ou deuxièmes intervalles sont par exemple des boutons ou des onglets graphiques sur l'interface graphique restituée par les moyens d'affichage.
- Des données complémentaires de supervision sont restituées dans ce mode de réalisation, permettant à un utilisateur du système de détermination selon l'invention de corrélérer
- 10 plus de données afin de mieux appréhender encore l'évolution des pertes opérationnelles d'énergie restituées par l'interface homme-machine. Ainsi dans ce mode de réalisation, l'interface homme-machine comporte en outre des moyens de sélection d'au moins un onglet lié à une donnée opérationnelle relative au gaz liquéfié, évaporé, reliquéfié ou consommé dans les cuves, aptes à faire afficher par les moyens d'affichage, un graphique
- 15 de valeurs correspondant à l'onglet sélectionné, les valeurs étant celles de la donnée opérationnelle sur un ou plusieurs intervalles de temps et étant enregistrées dans une mémoire du système de détermination. La donnée opérationnelle est prise par exemple parmi :
- un débit de gaz évaporé envoyé au système de liquéfaction au cours du temps,
 - 20 - une masse cumulée de gaz perdue au cours du temps,
 - une masse de gaz non cumulée perdue au cours du temps,
 - une densité du gaz liquéfié dans la cuve au cours du temps,
 - une température du gaz liquéfié dans la cuve au cours du temps,
 - une pression du gaz évaporé dans la cuve au cours du temps,
 - 25 - un volume de gaz liquéfié au cours du temps,
 - une vitesse du navire au cours du temps.

Ces données peuvent être instantanées ou liées à un intervalle de temps prédéfini.

L'invention concerne également un système de supervision de données opérationnelles liées à au moins une cuve d'un navire de transport de gaz liquéfié, caractérisé en ce qu'il

comporte le système de détermination de données représentatives de pertes
opérationnelles d'énergie selon l'invention, et en ce qu'il comporte des moyens de calcul
d'une quatrième donnée représentative d'une variation de volume de gaz liquéfié dans la
cuve sur l'intervalle de temps. Les moyens d'affichage du système de détermination selon
5 l'invention sont de préférence identiques à des moyens d'affichage du système de
supervision selon l'invention, et restituent donc également la quatrième donnée
représentative d'une perte d'énergie dans la cuve sur l'intervalle de temps considéré.

L'invention concerne enfin un programme d'ordinateur comprenant des instructions de
code de programme pour l'exécution des étapes du procédé de détermination selon
10 l'invention, lorsque ledit programme est exécuté sur un ou plusieurs processeurs.

Le programme d'ordinateur est exécuté sur un seul processeur par exemple lorsqu'il est
exécuté dans le dispositif de détermination selon l'invention, équipé de ce processeur. Il
est exécuté sur plusieurs processeurs par exemple dans le système de détermination selon
l'invention lorsque celui-ci comporte plusieurs entités physiques distantes équipées
15 chacune d'un de ces processeurs, notamment les étapes de calcul du procédé de
détermination selon l'invention sont mises en œuvre par exemple dans un serveur
distant ou dans l'ordinateur de bord du navire, et l'étape de restitution est mise en
œuvre dans un terminal connecté au serveur distant ou à l'ordinateur de bord.

Il est à noter de plus que le procédé de détermination selon l'invention est mis en œuvre
20 de manière dynamique pendant le trajet du navire, ou de manière statique une fois le
navire arrivé à sa destination. Lorsque les étapes de calcul du procédé de détermination
selon l'invention sont mises en œuvre dans un serveur distant du système de
détermination selon l'invention, le serveur distant comporte donc des moyens de
communication sans fil avec l'ordinateur de bord du navire, par exemple des moyens de
25 communication internet par satellite, pour restituer en dynamique les données
représentatives des pertes opérationnelles d'énergie du navire. Ces moyens de
communication sans fil peuvent être remplacés par un transfert de données via un
support physique, tel qu'une clef de stockage de données, lorsque la restitution s'effectue
uniquement une fois le navire arrivé à destination.

Le dispositif de détermination selon l'invention, le système de détermination selon l'invention, le système de supervision selon l'invention et le programme d'ordinateur selon l'invention, comportent des avantages analogues à ceux du procédé de détermination selon l'invention et du procédé de supervision selon l'invention.

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

[fig 1] représente des étapes d'un procédé de détermination selon l'invention, de
10 données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie dans un navire de transport de gaz liquéfié, sur un intervalle de temps, dans un mode de réalisation de l'invention, et des étapes d'un procédé de supervision mettant en œuvre ce procédé de détermination, dans ce mode de réalisation de l'invention,

[fig 2] représente un système de détermination selon l'invention, dans ce mode de
15 réalisation de l'invention, comportant des moyens aptes à mettre en œuvre le procédé de détermination selon l'invention,

[fig 3] représente une interface graphique permettant la restitution des données déterminées par les procédés de la figure 1, dans ce mode de réalisation de l'invention, lorsqu'un système de liquéfaction du navire était activé sur l'intervalle de temps, et

20 [fig 4] représente l'interface graphique de la figure 3, lorsque le système de liquéfaction du navire était désactivé sur l'intervalle de temps.

Dans un mode de réalisation de l'invention représenté figures 1 à 4, un procédé de détermination 10 représenté figure 1, permet de délivrer des données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie D_f , D_s sur un intervalle de temps, d'un navire 40 représenté figure 2. Ce procédé de détermination 10 fait partie d'un procédé plus
25 général de supervision 11 de données opérationnelles liées aux cuves 42 du navire 40. L'intervalle de temps choisi ou prédéterminé est par exemple une journée, une heure, un intervalle de temps plus court ou plus long. L'intervalle de temps correspond par

exemple à une période de temps nécessaire au navire pour effectuer un trajet ou une portion de trajet, sélectionnés par un utilisateur du procédé de détermination 10. Le navire 40 est un navire de transport de gaz liquéfié, ce gaz étant, dans ce mode de réalisation de l'invention, du gaz naturel liquéfié. Cependant en variante de réalisation, ce gaz est par exemple de l'hydrogène liquide ou un autre type de gaz.

Le navire 40 stocke le gaz liquéfié à -163°C et à une pression proche de la pression atmosphérique dans des cuves 42 étanches et isolées thermiquement. Chaque cuve 42 est remplie de gaz liquéfié jusqu'au niveau de liquide référencé 46, l'espace dans la cuve au-dessus de ce niveau de liquide 46, appelé ciel gazeux de cuve, étant rempli de gaz évaporé. Le gaz liquéfié présent sous forme liquide et gazeuse dans les cuves 42 du navire 40, représente une quantité d'énergie transportée par le navire 40. Cette quantité d'énergie baisse au fur et à mesure du trajet du navire, du fait de la consommation de gaz par les consommateurs du navire, des pertes de gaz par évaporation et des pertes d'énergie liées aux variations de pression et de température du gaz naturel liquéfié, ces variations pouvant être d'origine diverses telle que la houle, la météorologie, la résistance thermique des cuves, le tirage de gaz par les consommateurs du navire 40, etc. Le navire 40 comporte néanmoins un système de liquéfaction permettant de liquéfier une partie du gaz évaporé dans les ciels gazeux de cuve et d'économiser ainsi une perte de gaz.

Le procédé de détermination 10 selon l'invention permet de déterminer :

- une donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective D_f , correspondant à une perte d'énergie effective pendant l'intervalle de temps, par rapport à une énergie de référence comme explicité plus loin ; cette donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective D_f est calculée, dans ce mode de réalisation de l'invention, que le système de liquéfaction soit actif ou non sur l'intervalle de temps. Cet intervalle de temps peut être modifié pour correspondre à un seul état actif ou désactivé du système de liquéfaction ; et

- une donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée D_s , calculée uniquement lorsque le système de liquéfaction est actif sur l'intervalle de temps, et correspondant à une perte d'énergie pendant l'intervalle de temps, qui aurait été

constatée si le système de liquéfaction n'avait pas été activé sur l'intervalle de temps, cette perte d'énergie se rapportant également à une énergie de référence.

Dans ce mode de réalisation de l'invention, le procédé de détermination 10 est implémenté de manière matérielle et/ou logicielle dans un système de détermination 50 de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie D_f , D_s , référencé figure 2 et décrit maintenant, les étapes du procédé de détermination 10 permettant l'obtention des données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie D_f , D_s étant décrites ensuite. Le système de détermination 50 fait partie d'un système plus général de supervision de données opérationnelles liées aux cuves du navire, mettant en œuvre de manière matérielle et/ou logicielle le procédé de supervision 11 selon l'invention.

Le système de détermination 50 comporte un ordinateur de bord 52, qui reçoit des mesures issues de divers capteurs présents dans le navire 40, notamment des capteurs de température 54 du gaz liquéfié dans les cuves 42 et au moins un débitmètre massique 56 mesurant la masse de gaz envoyée aux consommateurs du navire pendant l'intervalle de temps.

Le système de détermination 50 comporte également un serveur distant 55 représenté dans le « nuage » internet 60, qui reçoit en dynamique des mesures des capteurs de température 54 et du débitmètre massique 56, envoyées par l'ordinateur de bord 52 dans un message $m1$. Pour l'envoi de ces mesures, l'ordinateur de bord 52 comporte par exemple des moyens de connexion à internet par satellite. Pour la réception des mesures, le serveur distant 55 comporte par exemple une connexion internet filaire. Le serveur distant 55 reçoit par exemple des mesures de plusieurs navires de transport de gaz et les stocke dans une base de données 57. Il comporte des moyens de calcul, d'ajout et d'addition, permettant de mettre en œuvre les étapes de calcul du procédé de détermination 10 selon l'invention et de déterminer les données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie D_f , D_s du navire 40 sur l'intervalle de temps, comme décrit plus loin. Ces moyens comprennent au moins un processeur du serveur 55, apte à lire des données stockées dans la base de données 57.

Le système de détermination 50 comporte également un terminal 58, par exemple un ordinateur personnel portable ou un téléphone mobile multimédia, comportant des moyens d'affichage des données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie D_f , D_s fournies par le serveur distant 55, ces moyens d'affichage comportant notamment un
5 écran. Ce terminal 58 est, dans cet exemple d'utilisation de l'invention, sur le navire 40, mais peut également utiliser l'invention à terre. Il utilise donc des moyens de connexion à internet par satellite pour envoyer un message m_2 au serveur distant 55, ce message m_2 contenant une requête d'envoi des données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie D_f , D_s sur l'intervalle de temps. A la réception du message m_2 , le serveur
10 distant 55 envoie dans un message m_3 , les données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie D_f , D_s au terminal 58.

Revenant à la figure 1, le procédé de détermination 10 comporte une première étape de calcul 12 d'une première donnée D_1 représentative d'une quantité d'énergie consommée sur l'intervalle de temps, en fonction d'une mesure fournie par le débitmètre massique
15 56. Ce débitmètre massique 56 fournit un débit total ϕ de consommation de gaz par les consommateurs 44 du navire, représentés sur la figure 2 et figurant notamment des moteurs principaux du navire 40, des moteurs auxiliaires du navire 40 et une torchère brûlant du gaz évaporé non récupéré, utilisée lorsque le système de liquéfaction est désactivé. En variante on utilise plusieurs débitmètres massiques, par exemple un par
20 consommateur.

Il est à noter que le fait d'utiliser des débitmètres massiques des consommateurs pour estimer une masse de gaz consommée est plus précis que d'observer la différence de niveau de liquide sur l'intervalle de temps. En effet, les mesures de niveaux de liquide peuvent être très bruitées du fait des mouvements de liquide dans les cuves 42.

25 Dans un cas d'usage du mode de réalisation de l'invention, la première donnée D_1 est un pourcentage d'énergie consommée sur une journée, calculé comme suit, par des premiers moyens de calcul du serveur 55 :

$$D1 = \frac{\int_{t1}^{t2} \varphi dt * L_{hv}}{N * t} * 100$$

Avec :

- * l'opérateur multiplication
- t la durée de l'intervalle de temps en jours,
- 5 - t1 le début de l'intervalle de temps,
- t2 la fin de l'intervalle de temps,
- φ le débit fourni par le débitmètre massique 56 en kilogrammes par jour,
- L_{hv} une moyenne de chaleur latente de vaporisation du gaz entre le début et la fin de l'intervalle de temps, en kilojoules par kilogramme, et
- 10 - N une énergie de référence en kilojoules.

L'énergie N de référence est par exemple la quantité d'énergie que représente le gaz liquéfié dans les cuves 42 au début d'une période d'utilisation du procédé de détermination 10, identique au début de l'intervalle de temps ou antérieure :

$$N = d1 * V1 * L1$$

- 15 où
- d1 est la densité en kilogrammes par mètre cube, du gaz liquéfié dans les cuves 42 au début de la période d'utilisation du procédé de détermination 10,
- V1 est le volume en mètres cube de gaz liquéfié dans les cuves 42 au début de la période d'utilisation du procédé de détermination 10, et
- 20 - L1 est la chaleur latente de vaporisation du gaz liquéfié dans les cuves 42 au début de la période d'utilisation du procédé de détermination 10, en kilojoules par kilogramme.

En variante, l'énergie N de référence est prise égale à la quantité d'énergie chargée dans les cuves 42 immédiatement après la fin du remplissage de celles-ci :

$$N = d2 * V2 * L2$$

où

- d_2 est la densité en kilogrammes par mètre cube, du gaz liquéfié dans les cuves 42 juste après leur remplissage,

5 - V_2 est le volume en mètres cube de gaz liquéfié dans les cuves 42 juste après leur remplissage, et

- L_2 est la chaleur latente de vaporisation du gaz liquéfié dans les cuves 42 juste après leur remplissage, en kilojoules par kilogramme.

Dans encore une autre variante, l'énergie N de référence est prise égale à la quantité d'énergie chargée dans les cuves 42 juste après leur remplissage, dans le cas où le gaz
10 liquéfié serait du méthane pur :

$$N = dm * V_2 * L_m$$

où

- dm est la densité du méthane pur en kilogrammes par mètre cube, et

15 - L_m est la chaleur latente de vaporisation du méthane pur, en kilojoules par kilogramme.

Il est à noter que dans ce mode de réalisation, on entend ici par « méthane pur », que le gaz n'est pas formé d'un mélange de méthane avec un autre gaz tel que du propane par exemple, mais est formé uniquement de méthane, aux impuretés près.

Cette dernière variante a l'avantage de ne pas faire dépendre l'énergie de référence de la
20 période de mesure mais uniquement du volume de gaz liquéfié chargé initialement dans le navire.

Une deuxième étape du procédé de détermination 10 est une étape de calcul 14 d'une deuxième donnée D_2 , représentative d'une variation d'énergie liée à la variation de température du gaz liquéfié présent dans les cuves 42, en fonction de variations de
25 température du gaz liquéfié dans les cuves 42 mesurées sur l'intervalle de temps.

Cette deuxième donnée D_2 traduit une variation d'énergie liée aux changements de température dans les cuves 42, et correspond à une variation d'énergie négative si la température a baissé (par exemple du fait d'une diminution de pression) et donc à une

quantité d'énergie fournie par le GNL, ou bien, si la température a augmenté, à une variation d'énergie positive et donc à une quantité d'énergie absorbée par le GNL.

Dans le cas d'usage de ce mode de réalisation de l'invention, la deuxième donnée D2 est un pourcentage d'énergie stockée ou prise sur la journée considérée, calculé comme suit,

5 par des deuxièmes moyens de calcul du serveur 55 :

$$D2 = \frac{Vf * df * Cp * (T2 - T1)}{N * t} * 100$$

avec :

- df est la densité en kilogrammes par mètre cube, du gaz liquéfié dans les cuves 42 à la fin de l'intervalle de temps,
- 10 - Vf est le volume en mètres cube de gaz liquéfié dans les cuves 42 à la fin de l'intervalle de temps,
- Cp est une moyenne de la chaleur spécifique (encore appelée capacité thermique massique) du gaz liquéfié entre le début et la fin l'intervalle de temps, en kilojoules par kilogramme et par degré Celsius,
- 15 - T2 est une moyenne de mesures de températures, en degrés Celsius, du gaz liquéfié dans les cuves 42 à la fin de l'intervalle de temps, et
- T1 est une moyenne de mesures de températures, en degrés Celsius, du gaz liquéfié dans les cuves 42 au début de l'intervalle de temps.

En variante la deuxième donnée D2 est calculée en sommant des pourcentages d'énergie
20 liés à la variation de température du gaz naturel liquéfié, donc à une énergie stockée ou perdue sur l'intervalle de temps, ces pourcentages étant calculés individuellement sur chacune des cuves 42. Les mesures de température au début de l'intervalle de temps d'une part, et à la fin de l'intervalle de temps d'autre part, sont moyennées pour chaque cuve 42 afin d'avoir une donnée représentative de la température dans la cuve au début
25 ou à la fin de l'intervalle de temps. Les différentes mesures de température dans une des cuves 42 à un instant donné, et qui sont moyennées, correspondent par exemple à des

mesures effectuées par différents capteurs de température espacés le long d'un mât de déchargement de gaz liquéfié, présent dans chaque cuve 42.

Une troisième étape du procédé de détermination 10 est une étape d'ajout 16 de la deuxième donnée D2 à la première donnée D1 résultant en la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective Df dans le navire 40 sur l'intervalle de temps, l'étape d'ajout étant mise en œuvre par des moyens d'ajout du serveur 55 :

$$Df = D1 + D2$$

Dans le cas d'usage de ce mode de réalisation de l'invention, la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective Df correspond à un pourcentage d'énergie perdue par rapport à une énergie de référence, sur la journée considérée. Elle correspond à une performance opérationnelle active si le système de liquéfaction était activé sur cette journée, ou à une performance opérationnelle passive si le système de liquéfaction était désactivé sur cette journée.

Une quatrième étape du procédé de détermination 10 est une étape de calcul 18 d'une troisième donnée D3 représentative d'une quantité d'énergie économisée par le système de liquéfaction sur l'intervalle de temps. On suppose, dans ce cas d'usage de l'invention, que le système de liquéfaction était activé sur l'intervalle de temps, et a donc permis de ne pas perdre une masse de gaz évaporé dans les cuves 42 qui était supérieure aux besoins des consommateurs 44, en la reliquéfiant. Cette masse aurait probablement été brûlée par la torchère dans le cas contraire. La quatrième étape du procédé de détermination 10 est mise en œuvre par des troisièmes moyens de calcul du serveur 55.

La troisième donnée D3 est, dans le cas d'usage de ce mode de réalisation de l'invention, un pourcentage d'énergie économisée sur la journée considérée :

$$D3 = \frac{\int_{t1}^{t2} \phi dt * L_{hv}}{N * t} * 100$$

où ϕ est le débit massique en kilogrammes par jour, de gaz reliquéfié grâce au système de liquéfaction. Un débitmètre branché au système de liquéfaction permet de fournir cette valeur.

Une cinquième étape du procédé de détermination 10 est une étape d'addition 20 de la troisième donnée D3 à la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective Df, fournissant la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée Ds, la cinquième étape du procédé de détermination 10 étant mise en œuvre par des moyens d'addition du serveur 55 :

$$Ds = D3 + Df$$

La donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée Ds correspond donc à une estimation de la perte opérationnelle d'énergie qui aurait eu lieu sur la journée si le système de liquéfaction n'était pas activé. Elle correspond donc à une performance opérationnelle passive estimée a posteriori.

Dans un cas d'usage où le système de liquéfaction est désactivé, on a :

$$D3 = 0 \Rightarrow Ds = Df$$

Dans ce dernier cas, la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée Ds correspond donc à la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective Df, et non plus à une estimation.

Dans le cas d'un navire 40 équipé d'un dispositif de vaporisation du gaz liquéfié, le procédé de détermination de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie peut comporter en outre une étape optionnelle de calcul d'une cinquième donnée D5 représentative d'une quantité d'énergie du gaz liquéfié pompé de la cuve et destiné à traverser le dispositif de vaporisation sur l'intervalle de temps et une étape de soustraction de la cinquième donnée D5 à la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective Df.

La cinquième donnée D5 correspond au « BOR forcé ». Il s'agit d'une quantité d'énergie liée à la masse de gaz liquéfié pompée de la cuve et dirigée à travers le dispositif de vaporisation, calculée comme suit, par des cinquièmes moyens de calcul du serveur 55 :

$$D5 = \frac{\int_{t1}^{t2} \Phi dt * L_{hv_LG}}{N * t} * 100$$

Avec :

- * l'opérateur multiplication,
 - t la durée de l'intervalle de temps en jours,
 - t1 le début de l'intervalle de temps,
 - t2 la fin de l'intervalle de temps,
- 5 - Φ le débit fourni par un débitmètre massique en aval du dispositif de vaporisation en kilogrammes par jour,
- L_{hv_LG} une moyenne de chaleur latente de vaporisation du gaz liquéfié entre le début et la fin de l'intervalle de temps, en kilojoules par kilogramme, et
- N une énergie de référence en kilojoules, déjà présentée ci-dessus.
- 10 Le procédé de détermination de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie peut également comporter une étape optionnelle de calcul d'une sixième donnée D6 représentative d'une variation d'énergie de la phase gazeuse du gaz liquéfié présent dans la cuve, en fonction d'une variation de pression et température dans la cuve sur l'intervalle de temps, et une étape d'addition de la sixième donnée D6 à la donnée
- 15 représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective Df.
- La sixième donnée D6 correspond au « BOR ballast » ou « BOR pression ». Il s'agit d'une quantité d'énergie liée à la phase gazeuse du gaz liquéfié présent dans la cuve, et qui varie en fonction de la pression et la température dans la cuve sur l'intervalle de temps, pouvant être, à titre d'exemple non-limitatif, calculée comme suit, par des
- 20 sixièmes moyens de calcul du serveur 55 :

$$D6 = \frac{0,5 * (L_{hv}(t1) + L_{hv}(t2)) * \Delta mp}{L_{hv} * d * V * t}$$

Δmp représentant la masse de gaz évaporée contribuant à l'élévation de la pression dans la cuve et peut être déterminée en se basant sur la loi des gaz parfaits :

$$\Delta mp = \frac{1}{R} * (M_{BOG}(t2) * \frac{P(t2) * V_{BOG}(t2)}{T_{BOG}(t2)} - M_{BOG}(t1) * \frac{P(t1) * V_{BOG}(t1)}{T_{BOG}(t1)})$$

25 Avec

- * l'opérateur multiplication,
- t la durée de l'intervalle de temps en jours,
- t_1 le début de l'intervalle de temps,
- t_2 la fin de l'intervalle de temps,
- 5 - d est la densité moyenne en kilogrammes par mètre cube, du gaz liquéfié dans les cuves 42 sur l'intervalle de temps t ,
- V est le volume moyen en mètres cube de gaz liquéfié dans les cuves 42 sur l'intervalle de temps t ,
- L_{hv} une moyenne de chaleur latente de vaporisation du gaz entre le début et la fin de
10 l'intervalle de temps, en kilojoules par kilogramme, ($L_{hv}(t_1)$, respectivement $L_{hv}(t_2)$, correspondant à la chaleur latente de vaporisation du gaz à l'instant t_1 , respectivement t_2),
- R est la constante universelle des gaz parfaits,
- $P(t_1)$, respectivement $P(t_2)$, est la pression dans la cuve à l'instant t_1 , respectivement
15 t_2 ,
- $V_{BOG}(t_1)$, respectivement $V_{BOG}(t_2)$, est le volume de gaz évaporé dans la cuve à l'instant t_1 , respectivement t_2 ,
- $T_{BOG}(t_1)$, respectivement $T_{BOG}(t_2)$, est la température du gaz évaporé dans la cuve à l'instant t_1 , respectivement t_2 ,
- 20 - $M_{BOG}(t_1)$, respectivement $M_{BOG}(t_2)$, est la masse molaire du gaz évaporé dans la cuve à l'instant t_1 , respectivement t_2 .

Le calcul de la sixième donnée D6 contribue à une meilleure détermination des pertes opérationnelles d'énergie sur l'intervalle de temps choisi. La sixième donnée D6 prend en compte les variations de pression dans la cuve pouvant traduire une perte de masse
25 potentiellement non négligeable, particulièrement en voyage ballast lors duquel le volume de gaz dans la cuve est important.

En parallèle de ces cinq premières étapes et des étapes optionnelles du procédé de détermination 10 selon l'invention, le procédé de supervision 11 selon l'invention met en œuvre une étape supplémentaire de calcul 22 d'une quatrième donnée D4 représentative d'une perte d'énergie dans les cuves 42 en fonction d'une variation de volume de gaz liquéfié sur l'intervalle de temps.

Dans le cas d'usage du mode de réalisation de l'invention, D4 est un pourcentage d'énergie perdue sur la journée considérée, calculé comme suit :

$$D4 = \frac{(Vi - Vf)}{Vi * t} * 100$$

où Vi est le volume en mètres cube de gaz liquéfié dans les cuves 42 au début de l'intervalle de temps.

En variante, D4 peut être calculé en remplaçant Vi au dénominateur par un volume du gaz naturel liquéfié juste après chargement du navire, ou par un volume de remplissage des cuves à un pourcentage prédéterminé, par exemple 95% ou 98%.

Ce calcul donne un ordre de grandeur de la perte d'énergie totale dans les cuves 42 sur l'intervalle de temps. En effet ce calcul n'est pas précis du fait que la quantité de gaz liquéfié évaporée dépend fortement des opérations de l'équipage du navire. Par exemple, si l'équipage décide d'aller à une vitesse importante, il se peut que la pression de gaz dans les cuves 42 chute, forçant ainsi l'évaporation du gaz liquéfié. De cette manière, la quantité de gaz liquéfié évaporée sera plus importante. A contrario, si l'équipage ralentit, ou bien si le navire est arrêté, les besoins en gaz des différents consommateurs seront très probablement moins importants que le gaz émis par les cuves 42 par évaporation. Ainsi, la pression montera dans les cuves 42 et la quantité de gaz évaporée sera plus faible.

C'est pourquoi l'invention considère la variation de température du gaz liquéfié, car cette variation de température est étroitement liée à la quantité de gaz évaporée. Si cette dernière est très importante, alors la température du gaz liquéfié chutera très probablement. En revanche si la consommation de gaz est faible, la température du gaz liquéfié devrait monter aussi bien que la pression de gaz dans les cuves 42.

Une sixième étape du procédé de détermination 10, commune au procédé de supervision 11, est une étape de restitution 24 des données D1, D2, D3, D4, Ds, Df (et optionnellement D5, D6) précédemment calculées sur une interface graphique affichée sur un écran du terminal 58. Bien sûr dans d'autres modes de réalisation de l'invention, 5 cette restitution peut se faire autrement, par exemple de manière textuelle ou vocale sur le terminal 58 ou sur un autre élément du système de détermination 50.

Il est à noter que les étapes 12 à 24 ne sont pas nécessairement exécutées dans l'ordre décrit, la première étape 12, la deuxième étape 14, la quatrième étape 18 et la sixième étape 22 pouvant notamment être effectuées indépendamment donc en parallèle les unes 10 des autres. Les étapes 12 à 22 sont de préférence répétées pour fournir des données correspondant à plusieurs intervalles de temps, par exemple elles sont exécutées à la fin de chaque journée d'un trajet effectué par le navire 40.

Enfin, le procédé de détermination selon l'invention peut comprendre une étape d'application d'un coefficient correctif à l'une des données délivrées par les moyens de calcul pour tenir compte de phénomènes physiques connexes pouvant impacter le calcul 15 des données. Par exemple, dans le cas de la troisième donnée D3 représentative d'une quantité d'énergie économisée par le système de liquéfaction sur l'intervalle de temps, un coefficient correctif peut être appliqué pour tenir compte du fait qu'après la liquéfaction, le retour du gaz dans la cuve peut être accompagné d'une ré-évaporation d'une fraction 20 de gaz liquéfié. Cette ré-évaporation contribue à atténuer la quantité d'énergie réellement économisée par le système de liquéfaction. Le coefficient correctif permet de prendre en compte cet effet. L'impact de la ré-évaporation peut être déterminée par le biais de calculs connus de la personne du métier. Le coefficient correctif peut être tabulé sur la base de calculs réalisés préalablement en fonction des paramètres environnants de 25 la cuve ou bien il peut être calculé par les moyens de calculs associés à la donnée en connaissant les paramètres environnants de la cuve.

La figure 3 montre une copie d'écran 30 du terminal 58, montrant l'interface graphique partagée en cinq zones 1 à 5.

La zone 1 est une carte du monde sur laquelle est représentée le trajet effectué par le navire 40. Un bouton graphique sur cette carte permet à un utilisateur du procédé de détermination 10 de sélectionner tout ou une portion du trajet.

5 La zone 2 affiche des données fixes liées au trajet et au navire 40, notamment sous la rubrique « id » le nom du bateau (« Messi » dans cet exemple d'utilisation), sous la rubrique « ref » une référence du trajet (« Voyage » dans cet exemple d'utilisation), des coordonnées GPS (d'après l'anglais « Global Positioning System ») du point de départ et du point d'arrivée du trajet, la distance correspondante, une date de départ et une date d'arrivée correspondantes, la durée en heures du trajet, ainsi que la capacité du navire 10 40, sa densité et un indicateur de voyage chargé ou de retour utilisant un ballast, l'indicateur étant à « L » si le navire est en voyage chargé.

La zone 3 comporte des onglets graphiques sélectionnables par l'utilisateur, permettant de visualiser sur la zone 3, lorsque l'onglet graphique correspondant est sélectionné, un graphique représentant :

- 15 - un débit v_1 de gaz évaporé envoyé au système de liquéfaction au cours du temps, en kilogrammes par heure,
- une masse cumulée de gaz v_2 perdue au cours du temps, correspondant à une donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective calculée sur la portion de trajet sélectionnée en kilogrammes de gaz plutôt qu'en pourcentage,
- 20 - un débit de masse de gaz consommé v_8 au cours du temps, correspondant par exemple à des données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie effective calculées pour chaque jour de la portion de trajet sélectionnée en tonnes par jour plutôt qu'en pourcentages,
- une densité v_7 du gaz liquéfié dans les cuves 42 au cours du temps,
- 25 - une température v_5 du gaz liquéfié dans les cuves 42 au cours du temps,
- une pression v_6 du gaz évaporé dans les cuves 42 au cours du temps,
- un volume v_4 de gaz liquéfié dans les cuves 42 au cours du temps, et
- une vitesse v_3 du navire 40 au cours du temps.

Sur la copie d'écran 30, l'utilisateur a sélectionné l'onglet correspondant au débit v1 de gaz évaporé envoyé au système de liquéfaction pendant la portion de trajet sélectionné.

- 5 Sur le graphique correspondant au débit v1, les périodes correspondant à une activation du système de liquéfaction, pour lesquelles le débit de gaz envoyé au système de liquéfaction est non nul, sont grisées. Cela est dû au fait que sur la zone 4, l'utilisateur a sélectionné un bouton graphique B1 correspondant aux périodes d'activation du système de liquéfaction sur la portion de trajet sélectionnée.

La zone 4 comporte un graphique en cascade G1 représentant :

- 10 - par une première barre d'histogramme en un premier emplacement, une moyenne des premières données D1 calculées par le système de détermination 50 pour chaque jour de la portion de trajet sélectionné, lors duquel le système de liquéfaction était actif, nommée « BOR consommé » ou « BOR massique »,
- 15 - par une deuxième barre d'histogramme en un deuxième emplacement, une moyenne des deuxièmes données D2 calculées par le système de détermination 50 pour chaque jour de la portion de trajet sélectionné, lors duquel le système de liquéfaction était actif, nommée « BOR dû à la variation de température du GNL » ou « taux dû au conditionnement du navire »,
- 20 - par une troisième barre d'histogramme en un troisième emplacement, la somme entre la moyenne représentée au premier emplacement et la moyenne représentée au deuxième emplacement, nommée « BOR actif »,
- par une quatrième barre d'histogramme en un quatrième emplacement, une moyenne des troisièmes données D3 calculées par le système de détermination 50 pour chaque jour de la portion de trajet sélectionné, lors duquel le système de liquéfaction était actif, nommée « BOR reliquéfié »,
- 25 - par une cinquième barre d'histogramme en un cinquième emplacement, la somme entre la somme représentée au troisième emplacement et la moyenne représentée au quatrième emplacement, nommée « BOR passif », et

- par une sixième barre d'histogramme en un sixième emplacement, une moyenne des quatrièmes données D4 calculées par le système de supervision pour chaque jour de la portion de trajet sélectionné, lors duquel le système de liquéfaction était actif, nommée « BOR volumique ».

- 5 Le graphique en cascade représente donc des pourcentages moyens de pertes ou de gains d'énergie par jour de la portion de trajet sélectionnée. En variante, il représente des pourcentages de pertes ou de gains d'énergie sur l'ensemble de la portion de trajet sélectionnée, sur un graphique en cascade G2, ou une somme cumulée de pertes ou de gains d'énergie sur l'ensemble de la portion de trajet sélectionnée, sur un graphique en
- 10 cascade G3.

Dans le graphique en cascade G1, la première barre s'étend depuis une ordonnée nulle jusqu'à une ordonnée haute d'extrémité, la deuxième barre s'étend depuis l'ordonnée haute d'extrémité de la première barre jusqu'à une ordonnée basse d'extrémité, et la troisième barre s'étend depuis l'ordonnée basse d'extrémité de la deuxième barre jusqu'à

15 une ordonnée nulle. Ainsi la construction de la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective Df comme la somme entre la première donnée D1 et la deuxième donnée D2 est représentée visuellement. Il est à noter que l'ordonnée haute d'extrémité de la première barre peut devenir une ordonnée basse d'extrémité de la deuxième barre lorsque la deuxième donnée D2 est représentative d'une perte d'énergie

20 plutôt que d'un gain d'énergie.

De façon similaire, la quatrième barre s'étend depuis une ordonnée basse d'extrémité égale à l'ordonnée basse d'extrémité de la deuxième barre et également à une ordonnée haute d'extrémité de la troisième barre, jusqu'à une ordonnée haute d'extrémité, et la cinquième barre s'étend depuis une ordonnée nulle jusqu'à l'ordonnée haute d'extrémité

25 de la quatrième barre. Ainsi la construction de la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée Ds comme la somme entre la troisième donnée D3 et la perte opérationnelle d'énergie effective Df est représentée visuellement.

Enfin la zone 5 représente des échelles de valeurs allant du vert pour les valeurs basses, au rouge pour les valeurs hautes, une flèche sur chaque barre montrant la valeur mesurée :

- sur une première échelle E1 la vitesse du navire est représentée,
 - sur une deuxième échelle E2, le régime des moteurs principaux du navire 40 est représenté, et
 - sur une troisième échelle E3 la pression dans les cuves 42 est représentée.
- 5 Sur la figure 4, une copie d'écran 32 de l'interface graphique correspond au cas où l'utilisateur a sélectionné dans la zone 3, l'onglet correspondant au débit v1 de gaz envoyé au système de liquéfaction pendant la portion de trajet sélectionné, et où l'utilisateur a sélectionné dans la zone 4, un bouton graphique B2 correspondant aux périodes de désactivation du système de liquéfaction sur la portion de trajet sélectionnée.
- 10 De ce fait, sur le graphique correspondant au débit v1, les périodes pour lesquelles le débit de gaz reliquéfié est nul, sont grisées. De plus, un nouveau graphique en cascade est représenté dans la zone 4 et ne comporte plus que quatre barres d'histogramme :
- Sur le premier emplacement, une première barre d'histogramme nommée « BOR consommé » ou « BOR massique », représente une nouvelle moyenne de premières
- 15 données D1 calculées par le système de détermination 50 pour chaque jour de la portion de trajet sélectionné, lors duquel le système de liquéfaction était désactivé,
- Sur le deuxième emplacement, une deuxième barre nommée « BOR dû à la variation de température du GNL » ou « taux dû au conditionnement du navire », représente une nouvelle moyenne de deuxième données D2 calculées par le système de détermination
- 20 50 pour chaque jour de la portion de trajet sélectionné, lors duquel le système de liquéfaction était désactivé,
- Sur le troisième emplacement, aucune barre n'est présente mais la valeur 0% est affichée, cette valeur étant nommée « BOR actif » sur ce troisième emplacement,
 - Sur le quatrième emplacement, aucune barre n'est présente mais la valeur 0% et
- 25 affichée, correspondant à un pourcentage nul d'énergie économisée par le système de liquéfaction, cette valeur étant nommée « BOR reliquéfié » sur ce quatrième emplacement,

- Sur le cinquième emplacement, une cinquième barre d'histogramme nommée « BOR passif » représente la somme entre la nouvelle moyenne représentée sur le premier emplacement et la nouvelle moyenne représentée sur le deuxième emplacement, et donc la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie D_f , et
- 5 - Sur le sixième emplacement, une sixième barre d'histogramme nommée « BOR volumique » représente une nouvelle moyenne de quatrièmes données D_4 calculées par le système de supervision pour chaque jour de la portion de trajet sélectionné, lors duquel le système de liquéfaction était désactivé.
- 10 Sur ce nouveau graphique en cascade les première, deuxième et cinquième barres sont agencées de manière similaire au graphique en cascade de la figure 3, pour visualiser le fait que la cinquième barre représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective est construite comme la somme entre la première barre représentative d'une énergie consommée et la deuxième barre représentative d'une variation d'énergie liée au changement de température du gaz naturel liquéfié.
- 15 La donnée représentative d'une perte d'énergie opérationnelle effective D_f est donc représentée au cinquième emplacement, où était représentée la donnée représentative d'une perte d'énergie opérationnelle estimée D_s sur la figure 3. En effet ce cinquième emplacement est dédié à une performance opérationnelle passive, correspondant à un mode de fonctionnement du navire 40 dans lequel le système de liquéfaction est
- 20 désactivé. De même le troisième emplacement est dédié à une performance opérationnelle active D_g , correspondant à un mode de fonctionnement du navire 40 dans lequel le système de liquéfaction est actif. De ce fait cette performance opérationnelle active D_g est égale à la donnée représentative de la perte d'énergie opérationnelle effective D_f sur la figure 3, mais est égale à la valeur nulle sur la figure 4.
- 25 Enfin dans la zone 4, un bouton graphique B3 permet de visualiser un graphique en cascade montrant des pourcentages moyens d'énergie perdue ou gagnée par jour, sur l'ensemble des jours de la portion de trajet sélectionnée, que le système de liquéfaction soit actif ou non. Sur ce graphique en cascade, le troisième emplacement du graphique dédié à une performance opérationnelle active fournira une première donnée

- représentative d'une perte d'énergie opérationnelle effective D_f sur l'ensemble des intervalles de temps pour lesquels le système de liquéfaction était actif, et le cinquième emplacement du graphique dédié à une performance opérationnelle passive fournira une deuxième donnée représentative d'une perte d'énergie opérationnelle effective D_f sur
- 5 l'ensemble des intervalles de temps pour lesquels le système de liquéfaction était actif et inactif, cette deuxième donnée représentative étant obtenue en ajoutant la donnée représentative de l'énergie économisée par reliquéfaction sur l'ensemble de la portion de trajet, à la première donnée représentative d'une perte d'énergie opérationnelle effective D_f .
- 10 Le même principe s'applique avec les cinquième et sixième données D_5 , D_6 lorsque ces dernières sont prises en compte dans le procédé de détermination de l'invention.
- Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention. Notamment les caractéristiques des différents modes ou variantes de
- 15 réalisation de l'invention envisagés dans cette demande, peuvent être combinées pour réaliser l'invention, dans la mesure où ces modes ou variantes ne sont pas incompatibles entre eux.

REVENDEICATIONS

- 1- Procédé de détermination (10) de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie (D_f , D_s) sur un intervalle de temps, d'un navire (40) de transport de gaz liquéfié, cette énergie étant initialement stockée sous forme de gaz liquéfié et de gaz évaporé dans au moins une cuve (42) du navire (40), le navire (40) étant équipé d'un système de liquéfaction du gaz évaporé, le procédé de détermination (10) comportant des étapes de :
- calcul (12) d'une première donnée (D_1) représentative d'une quantité d'énergie consommée sur l'intervalle de temps, en fonction d'au moins une mesure relative à l'activité d'au moins un consommateur (44) d'énergie du navire (40),
 - calcul (14) d'une deuxième donnée (D_2) représentative d'une variation d'énergie du gaz liquéfié présent dans la cuve, en fonction d'une variation de température du gaz liquéfié dans la cuve (42) sur l'intervalle de temps,
 - ajout (16) de la deuxième donnée (D_2) à la première donnée (D_1) résultant en une donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective (D_f) dans le navire (40),
- le procédé de détermination (10) étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre, lorsque le système de liquéfaction est activé sur l'intervalle de temps :
- une étape de calcul (18) d'une troisième donnée (D_3) représentative d'une quantité d'énergie économisée par le système de liquéfaction sur l'intervalle de temps, et
 - une étape d'addition (20) de la troisième donnée (D_3) à la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective (D_f), résultant en une donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée (D_s) qui aurait été constatée sans l'activation du système de liquéfaction.
- 2- Procédé de détermination (10) de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie selon la revendication 1, le navire (40) étant équipé d'un dispositif de vaporisation du gaz liquéfié, le procédé comportant en outre une étape de calcul d'une cinquième donnée (D_5) représentative d'une quantité d'énergie du gaz liquéfié pompé de la cuve et destiné à traverser le dispositif de vaporisation sur

l'intervalle de temps et une étape de soustraction de la cinquième donnée (D5) à la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective (Df).

- 3- Procédé de détermination (10) de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie selon la revendication 1 ou 2, comportant en outre une étape de calcul d'une sixième donnée (D6) représentative d'une variation d'énergie de la phase gazeuse du gaz liquéfié présent dans la cuve, en fonction d'une variation de pression et température dans la cuve sur l'intervalle de temps, et une étape d'addition (XX) de la sixième donnée (D6) à la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective (Df).
- 4- Procédé de détermination (10) de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel les première, deuxième, troisième, cinquième, sixième données (D1, D2, D3, D5, D6) ainsi que la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective (Df) et la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée (Ds) correspondent chacune à un ratio entre d'une part une quantité d'énergie perdue sur l'intervalle de temps et d'autre part une quantité d'énergie de référence choisie parmi :
- une quantité d'énergie calculée au début d'une période d'utilisation du procédé de détermination (10), ou
 - une quantité d'énergie chargée par le navire (40).
- 5- Procédé de supervision (11) de données opérationnelles liées à au moins une cuve (42) d'un navire (40) de transport de gaz liquéfié, caractérisé en ce qu'il met en œuvre le procédé de détermination (10) de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, et en ce qu'il comporte une étape de calcul (22) d'une quatrième donnée (D4) représentative d'une variation de volume de gaz liquéfié dans la cuve (42) sur l'intervalle de temps.
- 6- Dispositif de détermination (55) de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie, comportant des moyens pour mettre en œuvre le procédé de détermination (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, ou le procédé de supervision (11) selon la revendication 5.

- 7- Système de détermination (50) de données représentatives de pertes
opérationnelles d'énergie sur un intervalle de temps, d'un navire (40) de transport de gaz
liquéfié, cette énergie étant initialement stockée sous forme de gaz liquéfié et de gaz
évapouré dans au moins une cuve (42) du navire (40), le navire (40) étant équipé d'un
5 système de liquéfaction du gaz évaporé, le système de détermination (50) comportant :
- des premiers moyens de calcul d'une première donnée (D1) représentative d'une
quantité d'énergie consommée sur l'intervalle de temps, en fonction d'au moins une
mesure relative à l'activité d'au moins un consommateur (44) d'énergie du navire (40),
 - des deuxièmes moyens de calcul d'une deuxième donnée (D2) représentative d'une
10 variation d'énergie du gaz liquéfié présent dans la cuve (42), en fonction d'une variation
de température du gaz liquéfié dans la cuve (42) sur l'intervalle de temps,
 - des moyens d'ajout de la deuxième donnée (D2) à la première donnée (D1), délivrant
une donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective (Df) dans le
navire (40),
- 15 le système de détermination (50) étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre :
- des troisièmes moyens de calcul d'une troisième donnée (D3) représentative d'une
quantité d'énergie économisée par le système de liquéfaction sur l'intervalle de temps,
lorsque le système de liquéfaction est activé sur l'intervalle de temps, et
 - des moyens d'addition de la troisième donnée (D3) à la donnée représentative d'une
20 perte opérationnelle d'énergie effective (Df), délivrant, lorsque le système de liquéfaction
est activé sur l'intervalle de temps, une donnée représentative d'une perte opérationnelle
d'énergie estimée (Ds) qui aurait été constatée sans l'activation du système de
liquéfaction.
- 8- Système de détermination (50) selon la revendication 7, le navire (40) étant
25 équipé d'un dispositif de vaporisation du gaz liquéfié, comportant en outre des
cinquièmes moyens de calcul d'une cinquième donnée (D5) représentative d'une
quantité d'énergie du gaz liquéfié pompé de la cuve et destiné à traverser le dispositif de
vaporisation sur l'intervalle de temps et des moyens additionnels de soustraction de la
cinquième donnée (D5) à la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie
30 effective (Df).

- 9- Système de détermination (50) selon la revendication 7 ou 8, comportant en outre des sixièmes moyens de calcul d'une sixième donnée (D6) représentative d'une variation d'énergie de la phase gazeuse du gaz liquéfié présent dans la cuve, en fonction d'une variation de pression et température dans la cuve sur l'intervalle de temps, et des
5 moyens additionnels d'ajout de la sixième donnée (D6) à la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective (Df).
- 10- Système de détermination (50) selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, comportant une interface homme-machine comportant des moyens d'affichage (58) aptes à fournir une représentation des première, deuxième, troisième, cinquième et
10 sixième données (D1, D2, D3, D5, D6), ainsi que des données représentatives des pertes opérationnelles d'énergie effective (Df) et estimée (Ds), dans laquelle la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie effective (Df) est visualisée sous forme d'une somme entre au moins deux parmi les première, deuxième, cinquième et
15 sixième données (D1, D2) et, lorsque le système de liquéfaction est activé sur l'intervalle de temps, la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée (Ds) est visualisée sous forme d'un cumul de la troisième donnée (D3) et de la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective (Df).
- 11- Système de détermination (50) selon la revendication précédente, dans lequel la représentation est un graphique en cascade (4).
- 20 12- Système de détermination (50) selon la revendication précédente, dans lequel les moyens d'affichage (58) sont aptes à représenter la donnée représentative de la perte opérationnelle d'énergie effective (Df) en un premier emplacement du graphique en cascade (4) lorsque le système de liquéfaction est activé sur l'intervalle de temps, ou en un deuxième emplacement du graphique en cascade (4), distinct du premier
25 emplacement, lorsque le système de liquéfaction est désactivé sur l'intervalle de temps, la donnée représentative d'une perte opérationnelle d'énergie estimée (Ds) étant représentée par les moyens d'affichage (58) au deuxième emplacement lorsque le système de liquéfaction est activé sur l'intervalle de temps.

- 13- Système de détermination (50) selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, dans lequel l'interface homme-machine du système de détermination (50) comporte en outre des moyens de sélection (1) d'au moins une portion d'un trajet effectué par le navire (40), et des moyens de sélection (B1) de premiers intervalles de temps pendant
5 lesquels le système de liquéfaction était activé sur cette portion de trajet, les moyens d'affichage (58) étant aptes à représenter lorsque les premiers intervalles de temps sont sélectionnés par un utilisateur du système de détermination (50) :
- une moyenne de chaque donnée parmi les première, deuxième, cinquième et sixième données (D1, D2, D5, D6) délivrée par les moyens de calcul de ladite donnée pour
10 chacun des premiers intervalles de temps,
 - une moyenne de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie effective (Df) délivrées par les moyens d'ajout pour chacun des premiers intervalles de temps,
 - une moyenne de troisièmes données (D3) délivrées par les troisièmes moyens de calcul pour chacun des premiers intervalles de temps, et
15 - une moyenne de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie estimées (Ds) délivrées par les moyens d'addition pour chacun des premiers intervalles de temps.
- 14- Système de détermination (50) selon la revendication précédente, dans lequel l'interface homme-machine du système de détermination (50) comporte en outre des
20 moyens de sélection (B2) de deuxième intervalles de temps pendant lesquels le système de liquéfaction était désactivé sur cette portion de trajet, les moyens d'affichage (58) étant aptes à représenter lorsque les deuxième intervalles de temps sont sélectionnés par un utilisateur du système de détermination (50) :
- une moyenne de chaque donnée parmi les première, deuxième, cinquième et sixième données (D1, D2, D5, D6) délivrées par les moyens de calcul de ladite donnée pour
25 chacun des deuxième intervalles de temps, et
 - une moyenne de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie effective (Df) délivrées par les moyens d'ajout pour chacun des deuxième intervalles de temps.
- 15- Système de détermination (50) selon l'une quelconque des revendications 10 à 14, dans lequel l'interface homme-machine comporte en outre des moyens de sélection

d'au moins un onglet lié à une donnée opérationnelle relative au gaz liquéfié, évaporé, reliquéfié ou consommé dans les cuves (42), aptes à faire afficher par les moyens d'affichage (58), un graphique (3) de valeurs correspondant à l'onglet sélectionné, les valeurs étant celles de la donnée opérationnelle sur un ou plusieurs intervalles de temps et étant enregistrées dans une mémoire du système de détermination (50).

16- Système de supervision de données opérationnelles liées à au moins une cuve (42) d'un navire de transport de gaz liquéfié, caractérisé en ce qu'il comporte le système de détermination (50) de données représentatives de pertes opérationnelles d'énergie selon l'une quelconque des revendications 7 à 15, et en ce qu'il comporte des moyens de calcul d'une quatrième donnée (D4) représentative d'une variation de volume de gaz liquéfié dans la cuve (42) sur l'intervalle de temps.

17- Programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution des étapes du procédé de détermination (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, lorsque ledit programme est exécuté sur un ou plusieurs processeurs.