



(11) **EP 3 479 006 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:

21.08.2024 Bulletin 2024/34

(21) Numéro de dépôt: **17740051.2**

(22) Date de dépôt: **14.06.2017**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F17C 13/02 ^(2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
F17C 13/021; F17C 13/02; F17C 13/026;
F17C 2201/0104; F17C 2201/0128;
F17C 2201/032; F17C 2201/035; F17C 2201/056;
F17C 2221/033; F17C 2223/0161; F17C 2223/033;
F17C 2250/032; F17C 2250/0404;
F17C 2250/0408; F17C 2250/0421; (Cont.)

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2017/051541

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2018/002467 (04.01.2018 Gazette 2018/01)

(54) **PROCÉDÉ ET SYSTÈME POUR CALCULER EN TEMPS RÉEL LA QUANTITÉ D'ÉNERGIE TRANSPORTÉE DANS UNE CUVE DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉE PRESSURISÉE ET NON RÉFRIGÉRÉE**

VERFAHREN UND SYSTEM ZUR ECHTZEIT-BERECHNUNG DER ENERGIEMENGE IN EINEM UNGEKÜHLTEN, UNTER DRUCK STEHENDEN FLÜSSIGERDARGASBEHÄLTER

METHOD AND SYSTEM FOR THE REAL-TIME CALCULATION OF THE AMOUNT OF ENERGY TRANSPORTED IN A NON-REFRIGERATED, PRESSURISED, LIQUEFIED NATURAL GAS TANK

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **30.06.2016 FR 1656241**

(43) Date de publication de la demande:
08.05.2019 Bulletin 2019/19

(73) Titulaire: **Engie**
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:
• **BEN BELGACEM-STREK, Michel**
75018 Paris (FR)
• **MENARD, Gabrielle**
75013 Paris (FR)
• **LEGRAND, Frédéric**
75013 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Novagraaf Technologies**
Bâtiment O2
2, rue Sarah Bernhardt
CS90017
92665 Asnières-sur-Seine Cedex (FR)

(56) Documents cités:
CA-A1- 2 728 505 CA-A1- 2 753 588
FR-A1- 2 554 230 JP-A- 2007 182 936

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 3 479 006 B1

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
(Cont.)

F17C 2250/0439; F17C 2250/0456;
F17C 2250/0469; F17C 2250/0473;
F17C 2250/0491; F17C 2250/0495;
F17C 2250/0694; F17C 2260/026; F17C 2265/066;
F17C 2270/0171

Description

[0001] La présente invention se rapporte de manière générale à un procédé et un système permettant de calculer en temps réel la quantité d'énergie chimique résiduelle dans une cuve pressurisée et non réfrigérée, contenant du gaz naturel liquéfié (GNL), sans avoir à déterminer la composition du GNL.

[0002] Le GNL carburant est une alternative simple et efficace aux combustibles classiques, tant du point de vue de l'émission de CO₂, de particules polluantes que de la masse volumique énergétique. De plus en plus d'acteurs se tournent vers son utilisation, comme les transporteurs routiers, maritimes ou ferroviaires.

[0003] Cependant, contrairement aux carburants classiques, la masse volumique énergétique volumique du GNL, c'est-à-dire l'énergie contenue par unité de volume de GNL, n'est pas constante. Ceci s'explique par deux phénomènes distincts. Premièrement, la température du GNL va augmenter tout au long de son stockage dans une cuve pressurisée et non réfrigérée à cause des entrées de chaleur résiduelles. Cette élévation de température va alors engendrer une dilatation thermique du fluide (pouvant aller jusqu'à plus de 20% d'augmentation de volume) et donc une baisse de sa masse volumique énergétique.

[0004] Le deuxième phénomène expliquant la variation de masse volumique énergétique du GNL est la variation de sa composition. Le GNL n'est pas un produit raffiné, donc sa composition en hydrocarbures peut varier en fonction des gisements exploités.

[0005] La variabilité de la masse volumique énergétique volumique du GNL stocké dans un réservoir non réfrigéré peut s'avérer problématique dans des systèmes nécessitant un suivi fin de la consommation en carburant. Typiquement, dans le cas de camions roulant au GNL, on peut observer, pour un même réservoir contenant 600 L de GNL, une différence de masse volumique énergétique volumique du GNL de l'ordre de 15 à 20% pour une composition de GNL identique, selon que le GNL est lourd et froid ou qu'il est léger et chaud. Cela se traduit en pratique par une centaine de kilomètres de différence sur le kilométrage parcouru, pour une même quantité de GNL introduite au départ, comme illustré dans l'exemple comparatif.

[0006] Actuellement aucune solution n'existe pour informer en temps réel l'opérateur d'une cuve pressurisée de l'énergie restante contenue dans la cuve de GNL. Les seules informations à disposition de l'opérateur sont la pression du ciel gazeux, la température du GNL (dans le meilleur des cas), le niveau de remplissage de la cuve, ainsi que la distance que peut encore parcourir un véhicule comprenant la cuve de GNL comme présenté dans la demande de brevet CA 2 753 588. 1

[0007] Généralement lors du remplissage de la cuve par le fournisseur de carburant, un calcul d'énergie est réalisé conformément à la norme internationale ISO 6976.1995 à partir de la dernière composition de GNL connue (et donnée par le fournisseur) et de la masse de GNL transférée. Ce calcul sert de référence à la transaction financière. Ainsi, par ce calcul à la température de combustion du GNL, le pouvoir calorifique supérieure PCS_{mass} du GNL est déterminé, selon l'équation (1), en faisant l'hypothèse que le GNL est essentiellement constitué de méthane, d'éthane, de propane, d'isobutane, de n-butane, d'iso-pentane, de n-pentane et d'azote :

$$(1) \quad PCS_{mass}(T_c) = \sum_j \left(x_j \times \frac{M_j}{M} \right) \cdot PCS_{mass_j}(T_c)$$

[0008] Où :

- PCS_{mass} représente le pouvoir calorifique du GNL,
- T_c la température de combustion à laquelle le PCS est calculé,
- x_j la fraction molaire du composant j dans le mélange,
- M_j la masse molaire du composant j,
- M la masse molaire du GNL, donnée par la norme NF EN ISO 6976, et
- PCS_{mass_j} le pouvoir calorifique supérieur du composant j donnée par les abaques de la ISO 6976.1995.

[0009] Toutefois, ce calcul dépend de la composition du GNL. Or, cette composition peut s'avérer complexe à déterminer. En effet, l'installation d'un chromatographe est nécessaire.

[0010] L'absence d'informations en temps réel sur l'énergie contenue dans la cuve est problématique pour plusieurs raisons :

- Gestion de l'approvisionnement : actuellement, la gestion de l'approvisionnement en GNL de certaines cuves (notamment celles des camions) est uniquement basée sur le volume de liquide restant dans le réservoir. Or une gestion fondée sur l'énergie demandée par les unités connectées à la cuve serait plus cohérente, car c'est la donnée dont on a besoin, par exemple pour estimer le nombre de kilomètres que l'on peut encore parcourir ;

- Evitement des pénuries et des pannes : selon la masse volumique énergétique du GNL, la consommation volumique des unités peut varier brusquement à la hausse car une plus grande quantité de GNL est alors nécessaire pour obtenir la même quantité d'énergie. Cette variation non prévue par les opérateurs pourrait provoquer une pénurie en carburant non anticipée et donc une panne ;
- Formation des opérateurs : le marché du GNL carburant est de taille relativement faible. Les acteurs du marché sont en grande partie des professionnels ayant reçu une formation adaptée à la manipulation de GNL et aux bonnes pratiques. Néanmoins, si le marché venait à s'accroître rapidement, des acteurs moins formés devraient être amenés à manipuler et/ou gérer la consommation de GNL. La connaissance de la quantité d'énergie contenue dans la cuve pourrait permettre de calculer simplement des grandeurs facilement compréhensibles par ces opérateurs (par exemple le kilométrage restant).

[0011] Dans cette optique, pour assurer le développement du GNL carburant, le déposant a mis en place une solution permettant de mieux prévoir son contenu énergétique en temps réel uniquement à partir de paramètres thermodynamiques mesurés à l'intérieur de la cuve (masse volumique de GNL, température et niveau de la couche de GNL dans la cuve), et ce sans connaître la composition du GNL contenu dans la cuve.

[0012] En particulier, la présente invention a pour objet un procédé pour calculer en temps réel l'énergie chimique résiduelle E contenue dans une cuve pressurisée et non réfrigérée, définie par sa forme et ses dimensions et contenant une couche de gaz naturel à l'état liquide (GNL), ladite couche de GNL étant définie à un instant t donné, par sa température T , sa masse volumique ρ , et son niveau h dans ladite cuve ;

ledit procédé consistant en un algorithme comportant, à un instant t donné, les étapes suivantes :

A. Acquisition des paramètres caractéristiques de la couche de GNL par mesure :

- du niveau h de la couche de GNL dans la cuve, à l'aide d'un capteur de niveau ;
- de la température T à l'aide d'un capteur de température ; et
- de la masse volumique ρ à l'aide d'un capteur de masse volumique ; et

B. Détermination de la masse totale m_t du GNL contenu dans la cuve ;

ledit procédé étant caractérisé en ce que ledit algorithme comporte en outre, pour chaque instant t , les étapes suivantes :

C. Calcul du pouvoir calorifique supérieur massique PCS_{mass} du GNL à l'aide d'une fonction f prenant en paramètres la température et la masse volumique du liquide selon la formule :

$$PCS_{mass} = f(T, \rho)$$

[0013] A. Calcul de l'énergie chimique résiduelle E selon la formule :

$$E = PCS_{mass} * m_t$$

dans lequel la fonction f reliant le pouvoir calorifique supérieur massique PCS_{mass} aux paramètres T et ρ est de la forme :

$$f(T, \rho) = A(T) + B * \rho$$

où :

A est une valeur constante pour une température donnée ;
 B est une constante indépendante de la composition,

ledit procédé étant exécuté par un calculateur destiné à être connecté à des capteurs de niveau, de température, et de masse volumique dont est munie ladite cuve.

[0014] Les valeurs des deux constantes présentes dans la fonction f sont définies dans des publications métier, telles que le LNG Industry magazine 2014, ou dans la littérature scientifique.

[0015] Par pouvoir calorifique supérieur massique du gaz naturel, on entend au sens de la présente invention, la quantité de chaleur délivrée par la combustion complète d'une unité de masse du gaz naturel concerné contenue dans l'air à une pression constante et une température données. Il s'exprime en quantité de chaleur par unité de masse de combustible (dans le cadre de la présente invention en kWh/m³)

[0016] A partir d'informations d'entrée telles que la forme et la dimension de la cuve, la température, le niveau de la couche de GNL et la masse volumique du GNL, l'algorithme du procédé selon l'invention permet de calculer la quantité réelle d'énergie chimique résiduelle contenue dans une cuve quelconque de manière instantanée.

[0017] En outre, la mise en place de ce procédé est simple car il ne nécessite pas de déterminer la composition du GNL, ce qui nécessiterait l'utilisation d'un chromatographe ou d'un calorimètre pour déterminer le PCS_{mass} du GNL. En effet, usuellement, on calcule le PCS massique d'un GNL en fonction de sa composition, généralement en faisant l'approximation qu'il est composé uniquement de méthane, d'éthane, de propane, d'isobutane, de n-butane, d'isopentane, de n-pentane et d'azote).

[0018] Avec le procédé selon l'invention l'erreur commise en ne se fondant pas sur la composition exacte du GNL est au maximum de l'ordre de 3% : c'est la différence constatée entre le PCS_{mass} d'un GNL lourd (contenant plus de 10% d'hydrocarbures autres que le méthane) et le PCS_{mass} d'un GNL léger (contenant plus de 99% de méthane pur) à la même température que celle de la composition concernée.

[0019] Par comparaison, l'erreur qui serait commise avec un procédé différent de l'invention pour déterminer le PCS_{mass} du GNL peut rapidement atteindre une valeur de l'ordre de 20% si le PCS_{mass} du GNL est déterminé à une mauvaise température, y compris et même si composition est correcte.

[0020] Avantageusement, ledit algorithme peut être soit réitéré à la demande par un opérateur utilisant ladite cuve, soit réalisé de manière automatique, dès qu'un intervalle de temps Δt donné s'est écoulé, cet intervalle pouvant être par exemple de l'ordre de la seconde ou le cas échéant défini de façon optimale pour tenir compte des délais de latence fonction de la technologie de capteurs utilisée.

[0021] La détermination de la masse totale de GNL peut être réalisée de différentes manières.

[0022] Selon un premier mode de détermination, la masse totale m_t de GNL contenu dans la cuve peut être avantageusement faite par mesure directe à l'aide d'une balance ou de jauges de contrainte.

[0023] Selon un autre mode de réalisation avantageux, la détermination de la masse totale m_t de GNL contenu dans la cuve peut être réalisée par un calcul selon la formule :

$$m_t = \rho * g(h)$$

où :

- h est le niveau de la couche de GNL dans la cuve,
- ρ la masse volumique du GNL, et
- g est une fonction liée à la forme de la cuve, donnant une valeur homogène à un volume.

[0024] Ce mode de détermination de la masse totale m_t pourra notamment être utilisé dans le cas où la mesure directe de la masse est compliquée à implémenter sur la cuve, par exemple quand celle-ci est en mouvement lors de la mesure.

[0025] La présente invention a aussi pour objet un système pour calculer en temps réel, selon le procédé de l'invention, l'énergie chimique résiduelle E contenue dans une cuve pressurisée définie par sa forme et ses dimensions et contenant une couche de gaz naturel à l'état liquide (GNL), ladite couche de GNL étant définie à un instant t donné, par sa température T , sa masse volumique ρ , et son niveau h dans ladite cuve ;

ledit système étant caractérisé en ce qu'il comporte :

- un calculateur destiné à être connecté à des capteurs de niveau, de température, et de masse volumique dont est munie ladite cuve, ledit calculateur étant apte à exécuter l'algorithme du procédé selon l'invention,
- une interface IHM interagissant avec ledit calculateur, pour remonter à un opérateur la quantité d'énergie chimique résiduelle obtenue par l'algorithme du procédé selon l'invention, lorsqu'il est mis en œuvre au moyen d'un calculateur connecté à une interface IHM.

[0026] Par interface IHM, on entend, au sens de la présente invention, une interface Homme Machine permettant à un utilisateur de visualiser ou d'être notifié par un signal sonore ou mécanique quelconque l'information de la quantité d'énergie restante, en vue de prendre les décisions d'action appropriées.

[0027] A titre d'interface IHM utilisables dans le cadre de la présente invention, on peut notamment citer les tableaux de bord de véhicules, les claviers d'ordinateur, les voyants LED, les écrans tactiles et les tablettes, les haut-parleurs, etc.

[0028] Selon un mode de réalisation avantageux du système selon l'invention, celui-ci peut être un système embarqué

dans lequel :

- le calculateur peut être un calculateur embarqué connecté auxdits capteurs de niveau, de température et de masse volumique, le calculateur étant spécifiquement conçu pour exécuter l'algorithme du procédé selon l'invention,
- l'interface IHM peut être également embarquée ou alternativement déportée (si par exemple le véhicule est connecté à une centrale de contrôle,

cette interface IHM, si elle est embarquée, peut être de type tableau de bord embarqué de véhicule, interagissant spécifiquement avec ledit calculateur embarqué pour remonter à l'opérateur (ici le conducteur) la durée d'autonomie calculée selon le procédé de l'invention.

[0029] Par calculateur spécifiquement conçu pour exécuter l'algorithme du procédé selon l'invention, on entend, au sens de la présente invention, un ordinateur de bord comprenant un processeur associé à une mémoire de stockage dédiée et à une carte mère d'interfaces ; l'ensemble de ces éléments étant assemblés de manière à assurer la robustesse de l'ensemble « ordinateur de bord » en termes de résistance mécanique, thermodynamique et électromagnétique, et ainsi permettre son adaptation à une utilisation dans un véhicules GNL.

[0030] Le système selon l'invention permet de rendre facilement accessible à un opérateur la valeur de la quantité d'énergie chimique résiduelle contenu dans la cuve, et ce, même si celui-ci n'a pas reçu de formation adaptée à la manipulation du GNL. Il permet aussi de fournir cette valeur à un système tiers, tel qu'un ordinateur de bord.

[0031] Avantageusement, le système peut comprendre en outre une balance ou des jauges de contrainte afin de mesurer directement la masse totale du GNL contenu dans la cuve.

[0032] Enfin, la présente invention a encore pour objet un véhicule (terrestre, maritime ou aérien) comprenant une cuve pressurisée contenant une couche de gaz naturel à l'état liquide et étant munie de capteurs de niveau, de température, et de masse volumique, ledit véhicule étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre un système selon l'invention.

[0033] Grâce au système selon l'invention, ce véhicule est facilement utilisable par un opérateur ne possédant pas de formation poussée sur la manipulation du GNL. En effet, ce système permet soit d'afficher la valeur de l'énergie restante dans la cuve soit de transmettre la valeur de l'énergie résiduelle à un ordinateur qui peut alors en déduire le nombre de kilomètre restant avant qu'un nouveau remplissage de la cuve ne soit nécessaire.

[0034] D'autres avantages et particularités de la présente invention résulteront de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux figures annexées :

- La figure 1 montre le résultat de plusieurs mesures de pouvoir calorifique du GNL en fonction de la masse volumique du gaz naturel liquide pour une température et une composition donnée ;
- La figure 2 présente le schéma d'un mode de réalisation particulier du système de mesure selon l'invention ;
- La figure 3 présente le schéma d'un exemple de cuve pressurisée et non réfrigérée utilisable dans le cadre de la présente invention (cas d'une cuve cylindrique et horizontale), sur lequel sont représentés les différents paramètres permettant de déterminer la fonction $g(h)$ permettant le calcul de la masse de GNL contenue dans cette cuve.
- La figure 4 présente le schéma d'un exemple de cuve pressurisée et non réfrigérée utilisable dans le cadre de la présente invention (cas d'une cuve sphérique), sur lequel sont représentés les différents paramètres permettant de déterminer la fonction $g(h)$ permettant le calcul de la masse de GNL contenue dans cette cuve.
- Les figures 5 à 7 sont des captures d'écrans de tableaux de bord d'un véhicule transportant chacun une cuve de GNL cylindrique et horizontale, montrant les données d'entrée servant au calcul de l'énergie chimique résiduelle E selon le procédé de l'invention, ainsi que le résultat de ce calcul.

[0035] La figure 1 montre le résultat d'un ensemble de mesures de pouvoir calorifique supérieur faites pour différentes valeurs de masse volumique de GNL à une température donnée (-160°C). Ces points de mesure peuvent être reliés de façon satisfaisante (avec un coefficient de corrélation $R^2=0.957$) par une droite de régression qui, dans ce cas particulier à -160°C , a pour équation $f(\rho) = 0.0283\rho - 0.7791$. Cette équation f peut donc être utilisée comme fonction de corrélation pour déterminer le PCS_{mass} du GNL lorsque celui-ci est à la température de -160°C .

[0036] La figure 2 représente le schéma simplifié d'un mode de réalisation particulier de l'invention dans le cas où la cuve 1 est cylindrique et verticale. Lorsqu'une mesure est effectuée, ce qui peut être fait en continu, après qu'un intervalle de temps Δt se soit écoulé ou après un ordre de l'opérateur 7, les capteurs de masse volumique 4, de température 3 et de niveau 2 présents dans la cuve relèvent les valeurs de température du liquide, de masse volumique ainsi que le niveau de ce liquide dans la cuve. Ces informations sont ensuite envoyées au calculateur 5 dans lequel l'opérateur 7 a préalablement renseigné, via une interface homme machine (IHM) 6, la forme de la cuve 1 ainsi que ses dimensions

caractéristiques, dans ce cas particulier son rayon. Cela permet au calculateur 5 de définir la fonction $g(h)$ utilisée pour la détermination de la masse totale m_t de GNL contenu dans la cuve.

[0037] La figure 3 présente le schéma d'une cuve cylindrique et placée horizontalement. Dans ce cas, le calcul du volume d'une couche de GNL dans cette cuve s'apparente à un calcul d'aire d'un segment de disque. La fonction $g(h)$ est alors :

$$g(h) = (R^2 \times \cos^{-1}(\frac{R-h}{R}) - (R-h) \times \sqrt{(R^2 - (R-h)^2)}) \times L$$

Si la cuve est placée verticalement, $g(h)$ est alors simplement $g(h) = \pi \times R^2 \times h$

[0038] La figure 4 présente une cuve sphérique. Dans ce cas, le calcul du volume d'une couche de GNL dans cette cuve s'apparente à un calcul de calotte sphérique. La fonction $g(h)$ est alors :

$$V_h = \pi \times (2R - h)^2 \times \frac{(R + h)}{3}$$

[0039] A partir de ces informations, le calculateur 5 calcule alors la masse totale m_t de GNL contenu dans la cuve 1 et la valeur du pouvoir calorifique supérieure PCM_{mass} du GNL, ces valeurs permettant ensuite au calculateur d'obtenir la valeur de l'énergie résiduelle E contenue dans la cuve au moment de la mesure. La valeur de l'énergie résiduelle E peut ensuite être fournie à l'opérateur via l'IHM 6 ou être retraitée afin d'obtenir des informations facilement compréhensibles, telles que le kilométrage restant.

[0040] L'invention est illustrée plus en détails dans les exemples ci-après.

EXEMPLES

EXEMPLE 1 (COMPARATIF)

[0041] Cet exemple illustre la variabilité de la masse volumique énergétique volumique du GNL stocké dans un réservoir non réfrigéré.

[0042] Pour cela, on détermine, par calcul à partir de l'équation (1) de la norme ISO 6976 :1995, l'énergie chimique résiduelle E dans un réservoir contenant 600 L (soit 0,6 m³) de GNL dans le cas d'un GNL lourd et froid (cas a) : équilibre à 3 bars) et dans le cas d'un GNL de même composition mais léger et chaud (cas b) : équilibre à 14 bars).

Cas a) d'un GNL lourd et froid (équilibre à 3 bars)

[0043] On part de l'hypothèse que le GNL a la composition suivante, indiquée ci-après dans le tableau 1.

Tableau 1

Composé	Part du composé dans le GNL en pourcentages molaires
méthane	88,034
éthane	8,243
propane	2,097
i-butane	0,294
n-butane	0,407
azote	0,925

- Conditions de combustion :

- Température de combustion $T_c = 0^\circ\text{C}$
- Pression : 1.01325 bar

- PCS massique (T_c) = 14,99 kWh/kg, calculé selon l'équation norme ISO 6976 :1995

EP 3 479 006 B1

- Température du GNL $T = -147,07^{\circ}\text{C}$
- Masse volumique = $443,7153 \text{ kg/m}^3$

$$E = 0,6 * \text{densité} * \text{PCS}_{\text{massique}} = 3990 \text{ kWh}$$

Cas b) d'un GNL léger et chaud (équilibre à 14 bars)

[0044] Le GNL a la même composition que celle donnée dans le tableau 2 ci-après.

Tableau 2

Composé	Part du composé dans le GNL en pourcentages molaires
méthane	96,367
éthane	2,623
propane	0,689
i-butane	0,17
n-butane	0,15
azote	0,01

- Conditions de combustion :

- Température de combustion $T_c = 0^{\circ}\text{C}$
- Pression : 1.01325 bar

- $\text{PCS}_{\text{massique}}(T_c) = 15,37 \text{ kWh/kg}$ calculé selon l'équation norme ISO 6976 :1995
- Température du GNL $T = -112,5^{\circ}\text{C}$
- Masse volumique = 355.65 kg/m^3

$$E = 0.6 * \text{densité} * \text{PCS}_{\text{massique}} = 3279 \text{ kWh}$$

[0045] On constate donc une différence de plus de 17 % entre les valeurs d'énergie E calculées respectivement dans les cas a) et b). En d'autres termes, pour un même volume initial de GNL de 600 litres, cette différence d'énergie peut conduire à une centaine de kilomètres parcourus en plus si le GNL introduit dans le réservoir est froid et lourd (cas a), par rapport au kilométrage parcouru dans le cas b).

EXEMPLE 2 (SELON L'INVENTION)

[0046] Les figures 5 à 7 sont des captures d'écrans de tableaux de bord d'un véhicule transportant chacun une cuve de GNL cylindrique et horizontale, montrant les données d'entrée servant au calcul de l'énergie chimique résiduelle E selon le procédé de l'invention, ainsi que le résultat de ce calcul.

[0047] En particulier, la figure 5 est une capture d'écran d'un tableau bord montrant les données d'entrée spécifiques à la cuve :

- Forme : cylindre, disposé horizontalement dans le véhicule le transportant ;
- Dimensions :

- longueur (« *length* ») : $1,2 \text{ m}$;
- diamètre (« *diameter* ») : $0,7 \text{ m}$

[0048] La figure 6 est une capture d'écran d'un tableau bord montrant les données d'entrée spécifiques à la couche de GNL :

- température $T : -152,2^{\circ}\text{C}$;

- masse volumique ρ (« *density* ») : 420,2 kg/m³ ;
- niveau h (« *level* ») : 0,501 m.

5 Revendications

1. Procédé pour calculer en temps réel l'énergie chimique résiduelle E contenue dans une cuve pressurisée (1) définie par sa forme et ses dimensions et contenant une couche de gaz naturel à l'état liquide (GNL), ladite couche de GNL étant définie à un instant t donné, par sa température T , sa masse volumique ρ , et son niveau h dans ladite cuve ;

ledit procédé consistant en un algorithme comportant, à un instant t donné, les étapes suivantes :

A. Acquisition des paramètres caractéristiques de la couche de GNL par mesure :

- du niveau h de la couche de GNL dans la cuve, à l'aide d'un capteur de niveau (2) ;
- de la température T à l'aide d'un capteur de température (3) ; et
- de la masse volumique ρ à l'aide d'un capteur de masse volumique (4) ; et

B. Détermination de la masse totale m_t du GNL contenu dans la cuve (1) ;

ledit procédé étant **caractérisé en ce que** ledit algorithme comporte en outre, pour chaque instant t , les étapes suivantes :

C. Calcul du pouvoir calorifique supérieur massique PCS_{mass} du GNL à l'aide d'une fonction f prenant en paramètres la température et la masse volumique du liquide selon la formule :

$$PCS_{mass} = f(T, \rho)$$

D. Calcul de l'énergie chimique résiduelle E selon la formule :

$$E = PCS_{mass} * m_t$$

dans lequel la fonction f reliant le pouvoir calorifique supérieur massique PCS_{mass} aux paramètres T et ρ est de la forme :

$$f(T, \rho) = A(T) + B * \rho$$

où :

A est une valeur constante pour une température donnée,
B est une constante indépendante de la composition,

ledit procédé étant exécuté par un calculateur (5) destiné à être connecté à des capteurs de niveau (2), de température (3), et de masse volumique (4) dont est munie ladite cuve (1).

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel :

- soit ledit algorithme est réitéré à la demande par un opérateur (7) utilisant ladite cuve (1) ;
- soit ledit algorithme est réalisé de manière automatique, dès qu'un intervalle de temps Δt donné s'est écoulé.

3. Procédé selon les revendications 1 ou 2, dans lequel la détermination de la masse totale m_t de GNL contenu dans la cuve (1) est réalisée par mesure directe à l'aide d'une balance ou de jauges de contrainte.

4. Procédé selon les revendications 1 ou 2, dans lequel la détermination de la masse totale m_t de GNL contenu dans la cuve (1) est réalisée par un calcul selon la formule :

$$m_t = \rho * g(h)$$

où :

- h est le niveau de la couche de GNL dans la cuve,
- ρ la masse volumique du GNL, et
- g est une fonction liée à la forme de la cuve.

5. Système pour calculer en temps réel, selon le procédé tel que défini selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, l'énergie chimique résiduelle E contenue dans une cuve pressurisée (1) définie par sa forme et ses dimensions et contenant une couche de gaz naturel à l'état liquide (GNL), ladite couche de GNL étant définie à un instant t donné, par sa température T , sa masse volumique ρ , et son niveau h dans ladite cuve ;
ledit système étant **caractérisé en ce qu'il** comporte :

- un calculateur (5) destiné à être connecté à des capteurs de niveau (2), de température (3), et de masse volumique (4) dont est munie ladite cuve (1), ledit calculateur (5) étant apte à exécuter l'algorithme du procédé tel que défini selon l'une quelconque des revendications 1 à 5,
- une interface IHM (6) interagissant avec ledit calculateur (5) pour remonter à un opérateur, la quantité d'énergie chimique résiduelle obtenue par l'algorithme du procédé tel que défini selon l'une quelconque des revendications 1 à 4.

6. Système selon la revendication 5, selon lequel il est un système embarqué dans lequel :

- le calculateur (5) est un calculateur embarqué connecté auxdits capteurs de niveau (2), de température (3) et de masse volumique (4), ledit calculateur (5) étant spécifiquement conçu pour exécuter l'algorithme du procédé selon l'invention,
- l'interface IHM (6) est une interface embarquée de type tableau de bord embarqué de véhicule ou une interface déportée.

7. Véhicule comprenant une cuve pressurisée (1) contenant une couche de gaz naturel à l'état liquide et étant munie de capteurs de niveau (2), de température (3) et de masse volumique (4), ledit véhicule étant **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre un système tel que défini selon les revendications 5 ou 6.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Berechnen der chemischen Restenergie E in Echtzeit, die in einem Drucktank (1) enthalten ist, der durch seine Form und seine Abmessungen definiert ist und eine Schicht aus Flüssigerdgas (LNG) enthält, wobei die Schicht aus LNG zu einem gegebenen Zeitpunkt t durch ihre Temperatur T , ihre Dichte ρ und ihren Füllstand h in dem Tank definiert ist;
wobei das Verfahren aus einem Algorithmus besteht, der zu einem gegebenen Zeitpunkt t die folgenden Schritte aufweist:

A. Erfassen der charakteristischen Parameter der Schicht aus LNG durch Messen:

- des Füllstands h der Schicht aus LNG in dem Tank mithilfe eines Füllstandssensors (2);
- der Temperatur T mithilfe eines Temperatursensors (3); und
- der Dichte ρ mithilfe eines Dichtesensors (4); und

B. Bestimmen der Gesamtmasse m_t des LNG, das in dem Tank (1) enthalten ist;

wobei das Verfahren **dadurch gekennzeichnet ist, dass** der Algorithmus ferner für jeden Zeitpunkt t die folgenden Schritte aufweist:

C. Berechnen des Massenbruttoheizwerts PCS_{Masse} des LNG mithilfe einer Funktion f , wobei als Parameter die Temperatur und die Dichte der Flüssigkeit gemäß der Formel genommen werden:

$$PCS_{Masse} = f(T, \rho)$$

D. Berechnen der chemischen Restenergie E gemäß der Formel:

$$E = PCS_{Masse} * m_t$$

wobei die Funktion f, die den Massenbruttoheizwert PCS_{Masse} mit den Parametern T und ρ in Beziehung setzt, die Form vorweist:

$$f(T, \rho) = A(T) + B * \rho$$

wobei:

A ein konstanter Wert für eine gegebene Temperatur ist,

B eine Konstante unabhängig von der Zusammensetzung ist, wobei das Verfahren durch einen Rechner (5) ausgeführt wird, der dazu bestimmt ist, an den Füllstand- (2), den Temperatur- (3) und den Dichtesensor (4) angeschlossen zu werden, mit denen der Tank (1) versehen ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:

- entweder der Algorithmus auf Wunsch eines Bedieners (7) wiederholt wird, der den Tank (1) verwendet;
- oder der Algorithmus automatisch durchgeführt wird, sobald ein gegebenes Zeitintervall Δt verstrichen ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Bestimmen der Gesamtmasse m_t an LNG, die in dem Tank (1) enthalten ist, durch eine direkte Messung mithilfe einer Waage oder von Dehnungsmessstreifen durchgeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Bestimmen der Gesamtmasse m_t an LNG, die in dem Tank (1) enthalten ist, durch eine Berechnung gemäß der Formel durchgeführt wird:

$$m_t = \rho * g(h)$$

wobei:

- h der Füllstand der Schicht aus LNG in dem Tank ist,
- ρ die Dichte des LNG ist, und
- g eine Funktion ist, die mit der Form des Tanks verknüpft ist.

5. System zum Berechnen in Echtzeit, nach dem Verfahren wie definiert in einem der Ansprüche 1 bis 4, der chemischen Restenergie E, die in einem Drucktank (1) enthalten ist, der durch seine Form und seine Abmessungen definiert ist und eine Schicht aus Flüssigerdgas (LNG) enthält, wobei die Schicht aus LNG zu einem gegebenen Zeitpunkt t durch ihre Temperatur T, ihre Dichte ρ und ihren Füllstand h in dem Tank definiert ist; wobei das System **dadurch gekennzeichnet ist, dass** es aufweist:

- einen Rechner (5), der dazu bestimmt ist, an den Füllstand- (2), den Temperatur- (3) und den Dichtesensor (4) angeschlossen zu werden, mit denen der Tank (1) versehen ist, wobei der Rechner (5) geeignet ist, um den Algorithmus des Verfahrens wie definiert in einem der Ansprüche 1 bis 5 auszuführen,
- eine HCI-Schnittstelle (6), die mit dem Rechner (5) zum Weiterleiten, an einen Bediener, der Menge der chemischen Restenergie interagiert, die durch den Algorithmus des Verfahrens wie definiert in einem der Ansprüche 1 bis 4 erhalten wird.

6. System nach Anspruch 5, wonach es ein Bordsystem ist, wobei:

- der Rechner (5) ein Bordrechner ist, der an den Füllstand- (2), den Temperatur- (3) und den Dichtesensor (4) angeschlossen ist, wobei der Rechner (5) speziell zum Ausführen des Algorithmus des erfindungsgemäßen

Verfahrens ausgelegt ist,

- die HCI-Schnittstelle (6) eine Bordschnittstelle einer Art eines Armaturenbretts an Bord eines Fahrzeugs oder eine verschobene Schnittstelle ist.

- 5 7. Fahrzeug, umfassend einen Drucktank (1), der eine Schicht aus Flüssigerdgas enthält und mit dem Füllstand- (2), dem Temperatur- (3) und dem Dichtesensor (4) versehen ist, wobei das Fahrzeug **dadurch gekennzeichnet ist, dass** es ferner ein System wie definiert in den Ansprüchen 5 oder 6 aufweist.

10 Claims

1. Method for the real-time calculation of the residual chemical energy E contained in a pressurised tank (1) defined by its shape and its dimensions and containing a layer of liquefied natural gas (LNG), said layer of LNG being defined at a given instant t, by its temperature T, its density ρ , and its level h in said tank;

15 said method consisting of an algorithm that comprises, at a given instant t, the following steps:

A. Acquisition of the characteristic parameters of the layer of LNG by measurement:

- 20
- of the level h of the layer of LNG in the tank, using a level sensor (2);
 - of the temperature T using a temperature sensor (3); and
 - of the density ρ using a density sensor (4); and

B. Determination of the total mass m_t of the LNG contained in the tank (1);

25 said method being **characterised in that** said algorithm further comprises, for each instant t, the following steps:

C. Calculation of the mass gross calorific value GCV_{mass} of the LNG using a function f taking as parameters the temperature and the density of the liquid according to the formula:

$$GCV_{mass} = f(T, \rho)$$

D. Calculation of the residual chemical energy E according to the formula:

$$E = GCV_{mass} * m_t$$

35 wherein the function f that connects the mass gross calorific value GCV_{mass} to the parameters T and ρ is of the form:

$$f(T, \rho) = A(T) + B * \rho$$

45 where:

- A is a constant value for a given temperature
- B is a constant independent of the composition.

50 said method being carried out by a calculator (5) intended to be connected to level (2), temperature (3), and density (4) sensors of which said tank (1) is provided with.

2. Method according to claim 1, wherein:

- 55
- either said algorithm is reiterated as requested by an operator (7) using said tank (1);
 - or said algorithm is carried out automatically, as soon as a given interval of time Δt has elapsed.

3. Method according to claims 1 or 2, wherein the determination of the total mass m_t of LNG contained in the tank (1)

is carried out via a direct measurement using a balance or strain gauges.

4. Method according to claims 1 or 2, wherein the determination of the total mass m_t of LNG contained in the tank (1) is carried out via a calculation according to the formula:

$$m_t = \rho * g(h)$$

where:

- h is the level of the layer of LNG in the tank,
- ρ is the density of the LNG, and
- g is a function linked to the shape of the tank.

5. System for the real-time calculation, according to the method such as defined according to any of claims 1 to 4, the residual chemical energy E contained in a pressurised tank (1) defined by its shape and its dimensions and containing a layer of liquefied natural gas (LNG), said layer of LNG being defined at a given instant t , by its temperature T , its density ρ , and its level h in said tank;
said system being **characterised in that** it comprises:

- a calculator (5) intended to be connected to level (2), temperature (3), and density (4) sensors of which said tank (1) is provided with, said calculator (5) being able to execute the algorithm of the method such as defined according to any of claims 1 to 4,
- an MMI interface (6) interacting with said calculator (5) in order to report to the operator, the amount of residual chemical energy obtained by the algorithm of the method such as defined according to any of claims 1 to 4.

6. System according to claim 5, according to which it is an onboard system in which:

- the calculator (5) is an onboard calculator connected to said level (2), temperature (3), and density (4) sensors, said calculator (5) being specifically designed to execute the algorithm of the method according to the invention,
- the MMI interface (6) is an onboard interface of the vehicle onboard dashboard type or an offset interface.

7. Vehicle comprising a pressurised tank (1) containing a layer of liquefied natural gas and being provided with level (2), temperature (3) and density (4) sensors, said vehicle being **characterised in that** it further comprises a system such as defined according to claims 5 or 6.

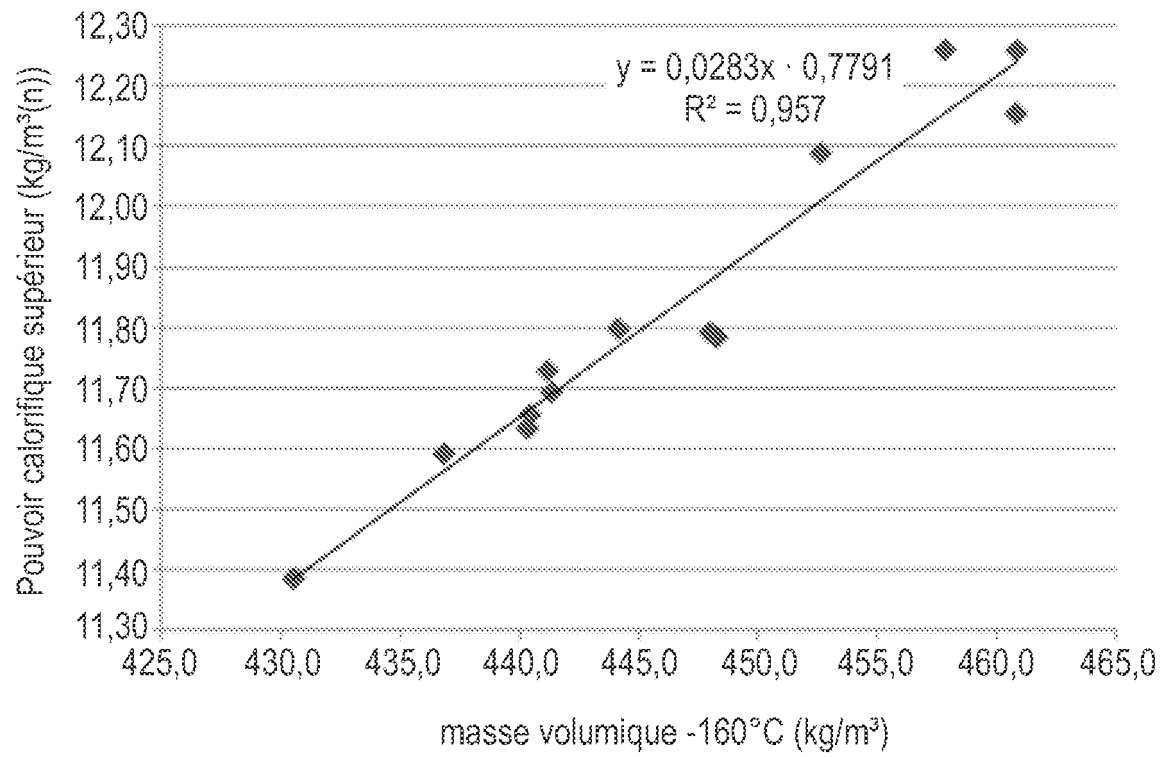


Fig. 1

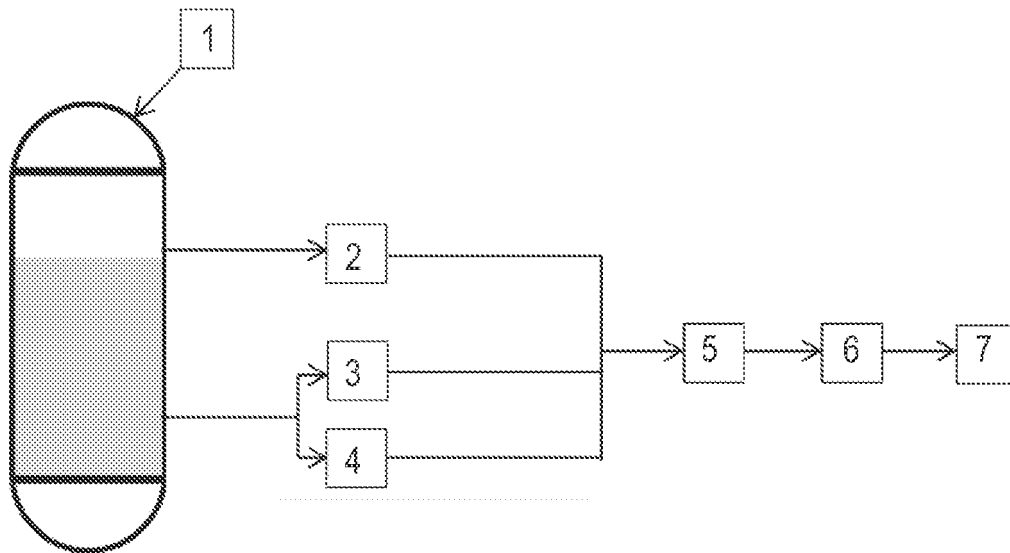


Fig. 2

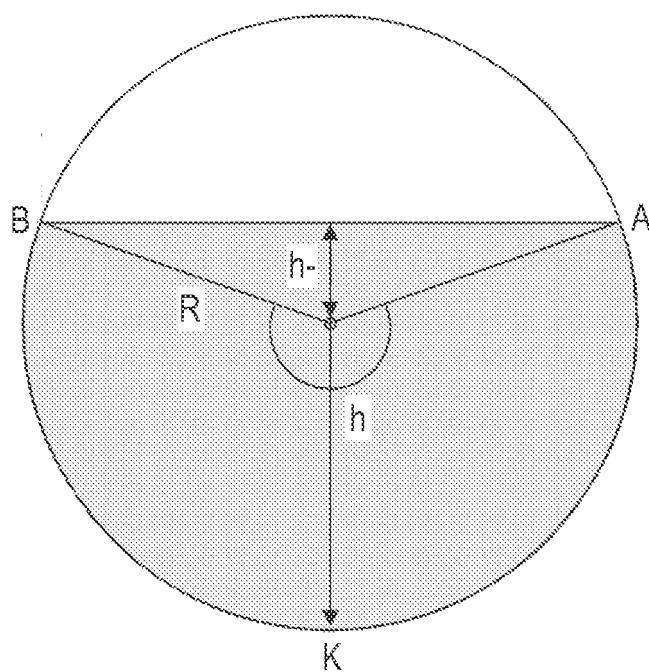


Fig. 3

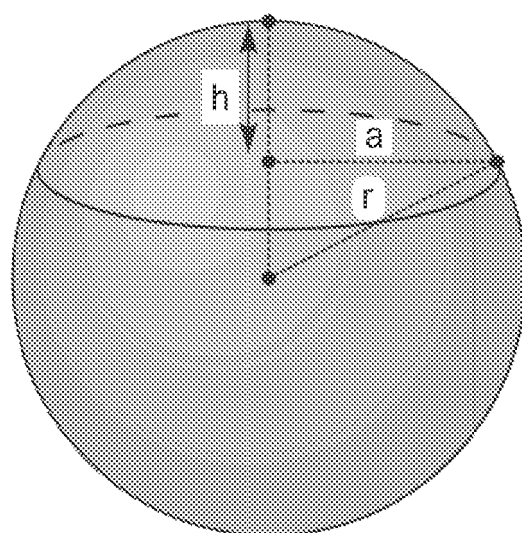


Fig. 4

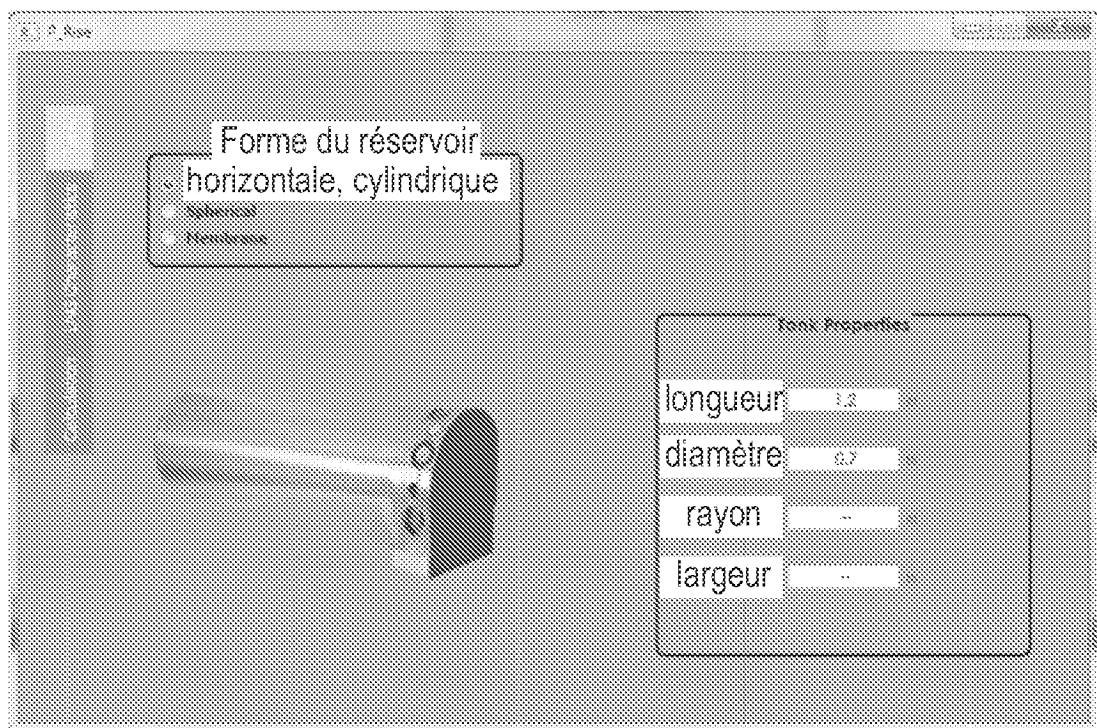


Fig. 5

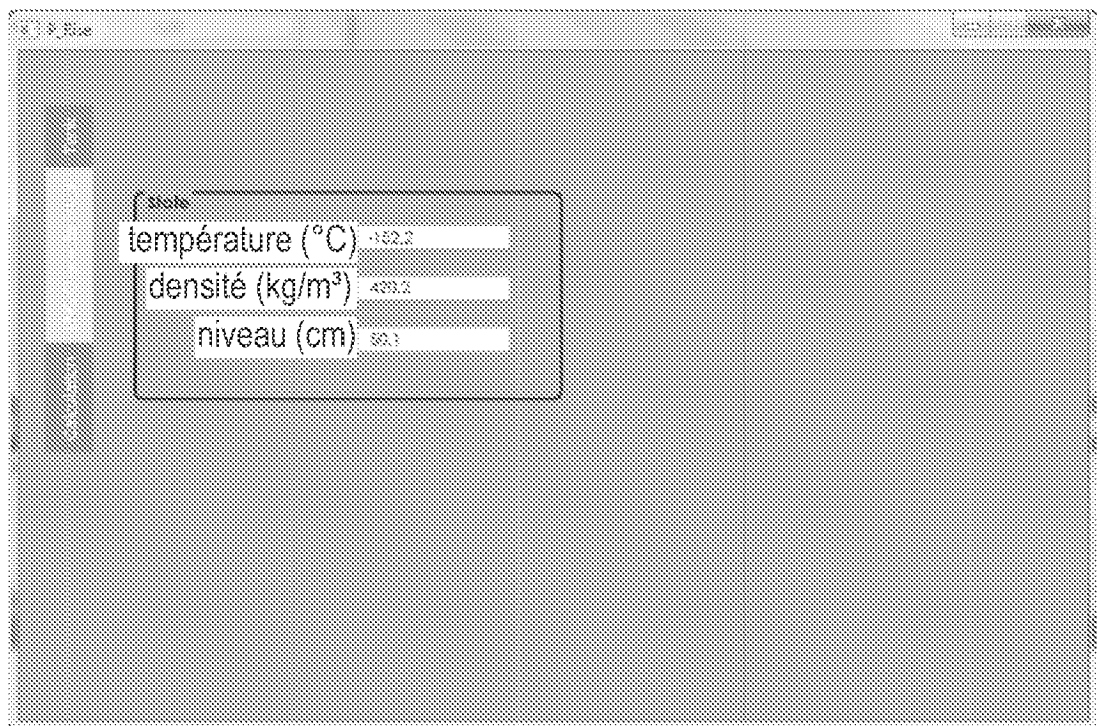


Fig. 6

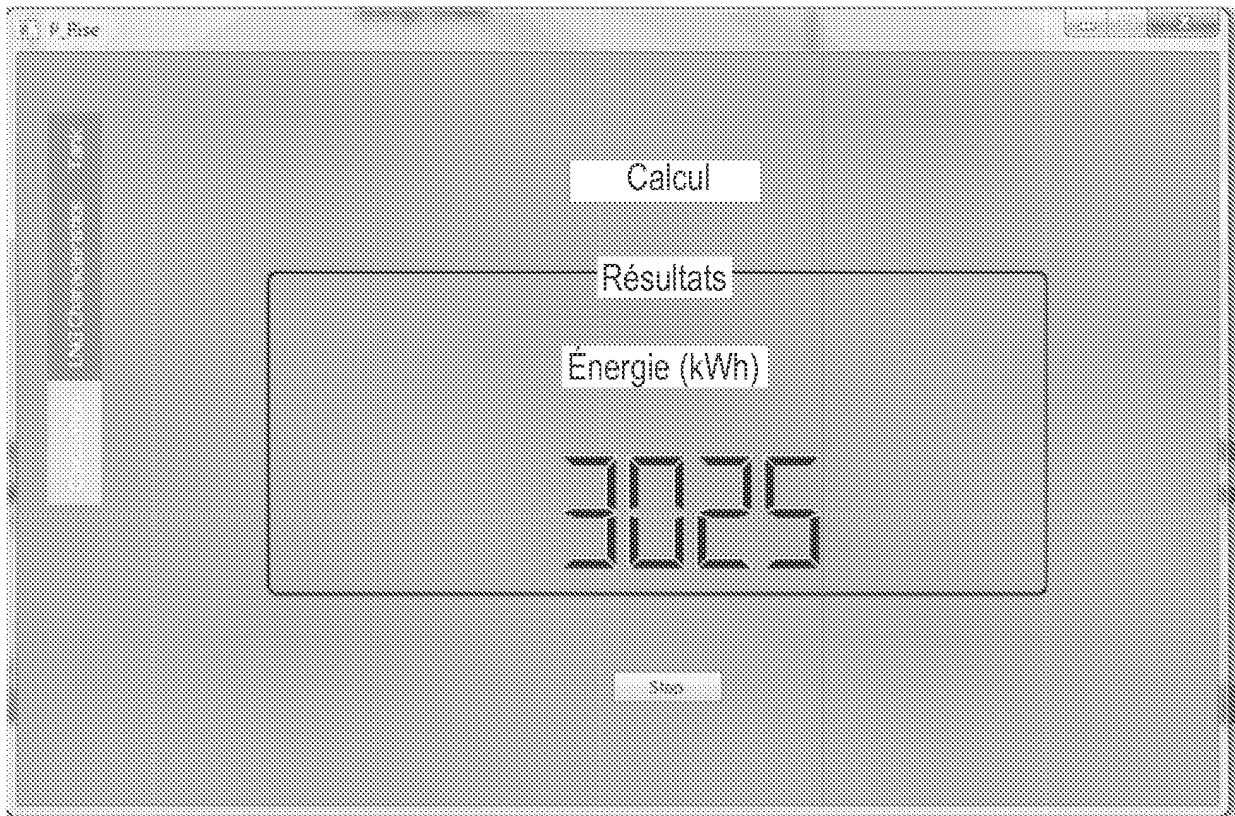


Fig. 7

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- CA 2753588 [0006]