

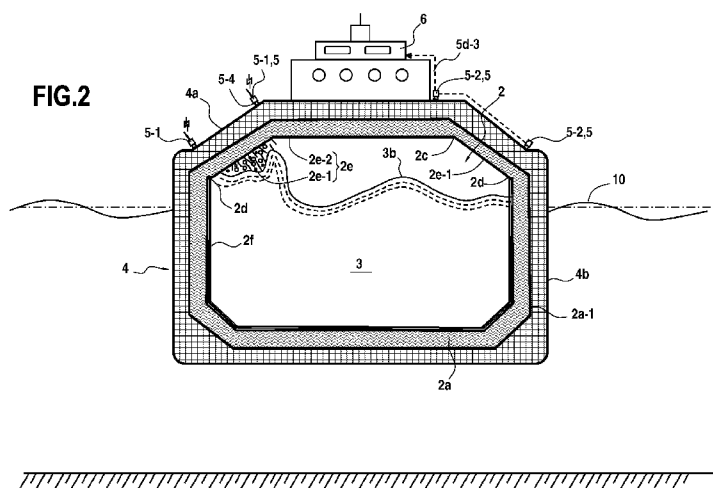


- (51) Classification internationale des brevets :
B63B 25/14 (2006.01) *B63B 39/00* (2006.01)
B63B 25/16 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2010/050881
- (22) Date de dépôt international :
7 mai 2010 (07.05.2010)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
0953202 14 mai 2009 (14.05.2009) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
SAIPEM S.A. [FR/FR]; 1/7 avenue San Fernando,
F-78180 Montigny Le Bretonneux (FR).
- (72) Inventeur; et
- (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : GUERRIER,
Alain [FR/FR]; 1, Lezevry, F-56680 Plouhinec (FR).
- (74) Mandataires : DOMANGE, Maxime et al.; Cabinet
Beau De Lomenie, 232 Avenue du Prado, F-13295
Marseille Cedex 08 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : FLOATING SUPPORT OR VESSEL EQUIPPED WITH A DEVICE FOR DETECTING THE MOVEMENT OF THE FREE SURFACE OF A BODY OF LIQUID

(54) Titre : NAVIRE OU SUPPORT FLOTTANT ÉQUIPE D'UN DISPOSITIF DE DÉTECTION DES MOUVEMENTS DE CARÈNES LIQUIDES



(57) Abstract : The present invention relates to a floating support or vessel (1) for transporting or storing liquid (3) consisting of a liquefied gas, preferably chosen from methane, ethylene, propane and butane, cooled in at least one large tank (2), preferably a cylindrical tank of polygonal cross section, thermally insulated (2a) and of a large size with at least its shortest dimension in the horizontal direction, notably its width, greater than 20 m and preferably ranging from 25 to 50 m and with a volume in excess of 10 000 m³, the said large tank 2 being supported inside the hull (4) of the vessel by a bearing structure (11), characterized in that it comprises a plurality of devices that detect the agitation of liquid within the said large tank(s), these devices hereinafter being termed as (5.5-1.5-T) "beacons" 1 comprising: - a) a vibration sensor of the vibration accelerometer type able to measure the amplitude of the acceleration (g) as a function of time (t) of the vibrational movements of a wall of the said large tank or of a wall (4a, 4b) of the said hull of the vessel to which they are fixed, and b) an electronic processor unit comprising a microprocessor and an integrated memory which are able to process

[Suite sur la page suivante]





SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :
— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

the said signal as measured by the said vibration sensor (5a) in order at least to eliminate the background noise specific to the vessel, and – c) means of transmitting the said signal, preferably following processing via the said electronic processor unit, to a central processor or supervisory unit 6, preferably on the bridge of the ship.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un navire ou support flottant (1) de transport ou de stockage de liquide (3) consistant dans un gaz liquéfié, de préférence choisi parmi les méthane, éthylène, propane et butane, refroidit dans au moins une grande cuve (2), de préférence cylindrique à section transversale polygonale, isolée thermiquement (2a) de grande dimension avec au moins sa plus petite dimension dans la direction horizontale, notamment sa largeur, supérieure à 20m de préférence de 25 à 50m et un volume supérieur à 10.000 m³, ladite grande cuve 2 étant supportée à l'intérieur de la coque (4) du navire par une structure porteuse (11), caractérisé en ce qu'il comprend une pluralité de dispositifs de détection de l'agitation de liquide au sein de la ou des dites grande(s) cuve(s), ci-après dénommés « balises » (5,5- 1,5- T)1 comprenant : - a) un capteur de vibrations du type accéléromètre vibratoire apte à mesurer l'amplitude de l'accélération (g) en fonction du temps (t) des déplacements en vibration d'une paroi de ladite grande cuve ou d'une paroi (4a, 4b) de ladite coque du navire sur laquelle ils sont fixés, et b) une unité de calcul électronique comprenant un microprocesseur et une mémoire intégrée, aptes à traiter ledit signal tel que mesuré par ledit capteur de vibration (5a), pour au moins en éliminer le bruit de fond propre au navire, et - c) des moyens de transmission dudit signal, de préférence après traitement par ladite unité de calcul électronique, vers une unité centrale ou superviseur 6, de préférence au niveau de la passerelle de pilotage du navire.

NAVIRE OU SUPPORT FLOTTANT EQUIPE D'UN DISPOSITIF
DE DÉTECTION DES MOUVEMENTS DE CARENES LIQUIDES.

La présente invention concerne navire ou support flottant de transport ou de stockage en vrac de liquide, équipé de dispositif(s) de
5 détection des mouvements de carène liquide au sein de réservoir(s) de navires de transport ou de stockage en vrac.

Elle concerne plus particulièrement les navires de transport cryogénique, soit de GNL ou méthane liquide, soit d'autres gaz maintenus
à l'état liquide à très basse température, tels le propane, le butane,
10 l'éthylène, ou tout autre gaz de densité inférieure à l'eau à l'état liquéfié, transporté en très grandes quantités à l'état liquide et sensiblement à la pression atmosphérique.

Les gaz liquéfiés transportés à une pression proche de la pression atmosphérique doivent être refroidis à basse température pour rester à
15 l'état liquide. Ils sont alors stockés dans de très grands réservoirs soit sphériques, soit cylindriques de préférence à section transversale polygonale, notamment sensiblement parallélépipédiques, lesdits réservoirs étant très fortement isolés thermiquement de manière à limiter l'évaporation du gaz et maintenir l'acier de la structure du navire à une
20 température admissible. Les navires voyagent en général, soit à pleine charge (95-98%), soit avec un léger reliquat de gaz en fond de cuve (3-5%) de manière à maintenir les réservoirs et les systèmes d'isolation en permanence en froid pour permettre leur chargement plus rapidement, évitant de ce fait la nécessité d'une mise en froid progressive donc lente
25 et consommatrice de temps opérationnel.

Ces navires sont extrêmement délicats à opérer, en raison des dangers liés au gaz et aux risques d'explosion associés. Ainsi, tous les équipements techniques présents à bord doivent répondre à des normes extrêmement strictes, car la moindre étincelle risque de créer une
30 déflagration, ladite étincelle pouvant être créée par un choc entre métaux, par un simple interrupteur, ou encore par une émission radio

présentant un niveau d'énergie dépassant un seuil donné. Toutes ces restrictions font l'objet de normalisations très sévères et les équipements doivent remplir les conditions imposées par les normes ATEX, c'est à dire Atmosphère Explosive, connues de l'homme de l'art.

- 5 Lors des voyages, le contenu des cuves se comporte comme des carènes liquides et des phénomènes de type houle déferlante appelés en anglais « sloshing » ou clapot, peuvent apparaître et devenir très violents à l'intérieur de la cuve, notamment lorsqu'elles déferlent sur les parois verticales de la cuve et en particulier aussi dans le trièdre formé par la
- 10 jonction de deux parois verticales et du plafond de ladite cuve. Ces phénomènes sont particulièrement sensibles du fait que ces liquides ont des viscosités très faibles, inférieures à celle de l'eau.

- Ces phénomènes risquent d'apparaître sur des navires méthaniers ainsi que sur des navires de stockage ancrés appelés FPSO (Floating
- 15 Production Storage & Offloading), c'est-à-dire support flottant de production, de stockage et d'exportation, dans des conditions de mer agitée ou même de mer presque tranquille, lorsque la cargaison de gaz liquéfié entre en résonance avec l'excitation créée par une houle, même faible, à laquelle est soumis le navire. Dans ces cas de résonance, le
- 20 « sloshing » peut devenir extrêmement violent et lors des déferlements sur les parois verticales ou dans les angles, risquant ainsi de détériorer le système de confinement du gaz liquéfié, ou le système d'isolation présent juste derrière ledit système de confinement.

- Ces phénomènes de « sloshing » peuvent apparaître dans des
- 25 conditions de mer relativement calme, mais en général ils n'apparaîtront que pour des niveaux de remplissage très particuliers, chaque état de mer (hauteur significative de houle / période / angle d'incidence / ballastage du navire / ...) risquant de devenir dangereux avec une hauteur particulière de remplissage de cuve.

- 30 Ainsi, le problème selon la présente invention est de prévenir les phénomènes de déferlement de houle de type « sloshing » dans les cuves de navires de transport ou de stockage de gaz liquéfié, en particulier de

méthane liquide ou « GNL », en détectant les phénomènes précurseurs à l'apparition dudit « sloshing ». Dans la description ci-après, le terme « GNL » est utilisé pour définir le méthane à l'état liquide, c'est-à-dire du gaz naturel liquéfié, tandis-que l'état gazeux est appelé « méthane » ou

5 « méthane gazeux ».

La mise en évidence de ces phénomènes précurseurs à l'apparition dudit « sloshing » permet alors au commandant du navire de modifier le cas échéant l'allure du navire, par exemple en changeant son cap ou sa vitesse, de manière à atténuer les effets de résonance pouvant conduire à

10 un « sloshing » préjudiciable à l'intégrité du navire. De la même manière, dans le cas de navires équipés de moyens d'atténuation statique ou dynamique du « sloshing », tels des ailerons externes ou des ballasts actifs, ou encore des moyens d'atténuation intégrés directement dans les cuves desdits navires, la mise en évidence de ces phénomènes

15 précurseurs de « sloshing » permet alors de modifier et d'ajuster finement les réglages desdits systèmes pour atténuer, voire annuler, les phénomènes redoutés.

Les inventeurs ont essayé différents dispositifs de détection de mouvements de carène liquide à l'intérieur des cuves de stockage de

20 navires ou supports flottants, mais la sensibilité de ces dispositifs conduisait à des informations inexploitable, notamment des dispositifs de détection basés sur la mesure de la surface libre de la paroi interne de cuves contenant ladite carène liquide, à l'aide de sonars ou dispositifs à ultra-sons.

En effet, le problème de cette détection résulte de ce que la surface libre du GNL est difficile à détecter en raison des conditions de température extrêmement basses et de plus, il conviendrait d'installer une trop grande quantité de détecteurs pour pouvoir analyser

25 correctement la surface libre dans les zones critiques en vue d'en déduire les risques d'apparition de « sloshing » potentiellement dommageable.

30

Les inventeurs ont mis en œuvre selon la présente invention des dispositifs de détection de mouvements de carène liquide appropriés à cette problématique, particulièrement basés sur le principe des capteurs des vibrations d'une paroi en contact direct ou indirect avec ladite carène
5 liquide, c'est-à-dire une paroi à laquelle sont transmises les vibrations des parois de la cuve, de préférence à l'aide d'accéléromètres vibratoires mesurant la variation de l'accélération g en fonction du temps.

Plus précisément, la présente invention fournit un navire ou support flottant de transport ou de stockage de liquide consistant dans un gaz
10 liquéfié, de préférence choisi parmi les méthane, éthylène, propane et butane, refroidit dans au moins une grande cuve, de préférence cylindrique à section transversale polygonale, isolée thermiquement de grande dimension avec au moins sa plus petite dimension dans la direction horizontale, notamment sa largeur, supérieure à 20m de
15 préférence de 25 à 50m et un volume supérieur à 10.000 m^3 , ladite grande cuve 2 étant supportée à l'intérieur de la coque du navire par une structure porteuse, caractérisé en ce qu'il comprend une pluralité de dispositifs de détection de l'agitation de liquide au sein de la ou des dites grande(s) cuve(s), ci-après dénommés « balises », comprenant :

20 - a) un capteur de vibrations du type accéléromètre vibratoire apte à mesurer l'amplitude de l'accélération (g) en fonction du temps (t) des déplacements en vibration d'une paroi de ladite grande cuve ou d'une paroi du navire qui n'est pas en contact avec l'eau de mer, ladite paroi du navire comprenant le pont du navire ou une paroi de la structure interne
25 du navire, de préférence une paroi de la partie de la structure interne supportant ladite grande cuve, paroi sur laquelle lesdits capteurs sont fixés à l'extérieur de ladite grande cuve, et

- b) une unité de calcul électronique comprenant un microprocesseur et une mémoire intégrée, apte à traiter ledit signal tel
30 que mesuré par ledit capteur de vibration, pour au moins en éliminer le bruit de fond propre au navire, et pour détecter le mouvement du liquide à l'intérieur de ladite grande cuve par comparaison des valeurs du signal ainsi traité par rapport à des valeurs seuil prédéterminées à partir

desquelles l'agitation de la carène liquide est considérée comme constituant un risque de détérioration et déformation dommageables de ladite paroi, et

- c) des moyens de transmission dudit signal, de préférence après traitement par ladite unité de calcul électronique, vers une unité centrale ou superviseur, de préférence au niveau de la passerelle de pilotage du navire.

Par « paroi de la structure interne du navire » on entend en particulier une paroi interne de la coque d'un navire à double coques ou une paroi d'un système de supportage et/ou d'isolation de ladite grande cuve à l'intérieur de la coque.

Une fois recueillies les différentes données des signaux des différentes balises, au niveau de ladite unité centrale, l'homme de l'art peut entrer ces données dans un modèle mathématique fournissant les consignes quant à la conduite du navire et/ou au niveau de remplissage de cuve(s), lesdites consignes étant destinées à réduire ou supprimer les risques d'apparition de « sloshing », c'est-à-dire la détérioration ou déformation dommageables d'une dite paroi. Il s'agit, notamment de consignes en termes de direction et vitesse de navigation s'agissant du pilotage d'un navire de transport ou des consignes de remplissage de sa ou ses cuves s'agissant d'un navire de stockage comme explicité ci-après.

Plus précisément, chaque dite balise comprend :

- une dite unité de calcul électronique apte à réaliser les étapes de traitement du signal suivantes consistant à :
 - 1.1) traiter en temps réel par Transformée de Fourier, de préférence de type FFT, les signaux de dite variation de l'amplitude d'accélération (g) en fonction du temps (t) d'une dite paroi, mesurés par ledit accéléromètre vibratoire à l'étape a), pour calculer la variation de l'amplitude d'accélération (g) en fonction de la fréquence F de l'onde vibratoire du signal obtenu à l'étape a) sur une période de

temps donné Δt , puis de préférence calculer la densité spectrale d'énergie et/ou la densité spectrale de puissance

- 1.2) éliminer par filtrage le signal de bruit de fond dû aux vibrations propres au navire, puis
 - 5 ▪ 1.3) calculer les valeurs d'accélération temporelles maximales obtenues par Transformée de Fourier Inverse, de préférence de type IFFT, de la mesure de la variation de l'amplitude d'accélération (g) en fonction de la fréquence F de l'étape 1.1) après filtrage de l'étape 1.2), et de
10 préférence calculer les valeurs de densité spectrale d'énergie maximale et/ou densité spectrale de puissance maximale P_0 et de préférence encore calculer les valeurs d'énergie spectrale et respectivement de puissance spectrale des mesure de densité spectrale d'énergie et/ou une mesure de
15 densité spectrale de puissance de l'étape 1.1) après filtration de l'étape 1.2), et
 - 1.4) comparer lesdites valeurs d'accélération temporelles maximales, et de préférence lesdites valeurs de densité
20 spectrale d'énergie maximale et/ou dites valeurs de densité spectrale de puissance maximale P_0 et de préférence encore lesdites valeurs d'énergie spectrale et respectivement de puissance spectrale de l'étape 1.3), avec des valeurs seuils prédéterminées respectives S_1 , e_{max} , p_{max} à partir desquelles l'agitation de la carène liquide est considérée
25 comme constituant un risque de détérioration ou déformation dommageable de ladite paroi, et
- des dits moyens de transmission aptes à être activés par ladite unité de calcul électronique et à transmettre lesdites valeurs d'accélération temporelles maximales, et de préférence lesdites valeurs
30 de densité spectrale d'énergie maximale et/ou de densité spectrale de puissance maximale P_0 et de préférence encore les dites valeurs d'énergie spectrale et respectivement de puissance spectrale de l'étape 1.3), sont transmises à une unité centrale de préférence au niveau de la

passerelle de pilotage du navire, recueillant les données transmises par toutes lesdites balises, lesquelles dites valeurs sont transmises à une dite unité centrale, de préférence au niveau de la passerelle de pilotage du navire recueillant les données transmises par toutes les balises, si une
5 dite valeur seuil de l'étape 1.4) est atteinte pour au moins une des balises.

Aux étapes 1.1) et 1.3), les calculs de conversion de signal temporel par Transformée de Fourier et les calculs de puissance et densité spectrale sont connus de l'homme de l'art dans le domaine de
10 traitement de signal. De même les calculs d'énergie spectrale et de puissance spectrale représentés par l'Intégrale des courbes de densité spectrale d'énergie et respectivement densité spectrale de puissance sont également connus de l'homme de l'art dans le traitement du signal.

A l'étape 1.4), le risque de déformation ou de détérioration de
15 ladite paroi, associées à une dite valeur seuil correspond à un risque de phénomène de résonance des mouvements de la carène liquide.

En procédant ainsi, l'intégralité des calculs en temps réel est réalisée par ledit calculateur au sein de la balise, mais ne transitent vers le superviseur central que des résultats de calculs, dont des données plus
20 compactes et rapides à transmettre qu'un signal temporel qui occuperait alors à plein temps les moyens de transmission, lesquels représentent la plus grande part de la consommation d'énergie de la balise. Ainsi, les résultats du traitement du signal ne sont transmis que si des seuils de valeurs sont dépassés.

25 A l'étape 2), lesdits moyens de transmission initialement en veille sont activés par commande déclenchée par ladite unité de calcul, si une dite valeur seuil est atteinte.

On comprend que ledit calculateur comprend de la mémoire intégrée apte à stocker les données reçues des capteurs au cours du
30 temps, de sorte que le calculateur peut analyser au cours du temps le comportement global de la carène, notamment lorsque le navire se trouve

soit à l'abri, soit en navigation calme, c'est-à-dire sans risque de mouvements de carène liquide, donc sans risque de « sloshing », cette observation étant corrélée avec le roulis et/ou le tangage du navire, permet d'évaluer le bruit de fond propre au navire en l'absence de
5 mouvements significatifs de carène liquide et ainsi définir lesdits seuils mentionnés ci-dessus.

Plus particulièrement, ledit accéléromètre vibratoire est un accéléromètre de type piezo-résistif.

Ces accéléromètres à détection piezo-résistive sont capables de
10 capter des fréquences de 0 à 5-10 KHz et de précision de mesure de l'ordre de 3-5 %. Ce type d'accéléromètre à détection piezo-résistive est capable de caractériser un état de repos total, c'est-à-dire une accélération nulle.

D'autres types d'accélérateurs vibratoires peuvent être mis en
15 œuvre tels que des accélérateurs à détection piézo-électriques, à détection capacitive, à détection inductive, à jauge de contrainte du type extensomètre, entre autres.

De préférence, ledit capteur vibratoire est constitué par un accéléromètre vibratoire triaxial. De tels accéléromètres triaxiaux sont
20 aptes à mesurer les amplitudes de vibrations de la paroi dans les trois directions de l'espace en fonction du temps.

De préférence, lesdits moyens de transmission comprennent une antenne et un émetteur-récepteur aptes à transformer les signaux électriques fournis par ladite unité de calcul en ondes radio, lesquelles
25 ondes radio sont émises à partir d'une antenne.

Selon un autre mode de réalisation, que lesdits moyens de transmission comprennent des moyens de transmission filaires, comprenant des câbles reliant une interface de traitement du signal apte à le rendre véhiculable à travers lesdits câbles, de préférence des câbles
30 à fibre optique combinés à des interfaces transformant lesdites données

du signal électrique, fourni par l'unité de calcul électronique en signaux lumineux.

Dans une première variante de réalisation, une dite balise comporte en outre un dispositif complémentaire apte à détecter les mouvements
5 propres du navire et déclencher l'activation de ladite unité de calcul électronique pour réaliser des traitements des dites étapes 1.1) à 1.3) et 2) de ladite balise et des autres unités de calcul électronique des autres balises de la même cuve et des autres cuves du navire ou support flottant, le déclenchement de l'activation des dites unités de calcul
10 électronique se faisant à partir d'une valeur seuil prédéterminée d'amplitude de mouvements du navire, de préférence une valeur d'inclinaison d'une paroi de la coque du navire.

Le dispositif complémentaire de type inclinomètre ou centrale
inertielle permet de détecter les mouvements propres du navire tels que
15 (roulis, tangage, lacet, cavalement, embardée ou autres).

Selon un autre mode de réalisation, une dite balise ne comporte pas de dispositif complémentaire de détection de mouvements propres du navire.

Plus particulièrement, ledit dispositif de détection de mouvements
20 du navire est un inclinomètre du type pendulaire ou une centrale inertielle, aptes à déterminer de préférence l'angle de roulis d'une paroi de bordé de la coque du navire ou support flottant, ladite valeur seuil étant un angle de roulis d'au moins 5°, de préférence 5 à 10° par rapport à la verticale.

25 En état de veille, le dispositif consomme très peu d'énergie, car au sein du calculateur, la boucle de veille reste très simple. Par contre dès que des conditions potentiellement critiques se présentent, le calculateur analyse alors toutes les informations en provenance du capteur de vibration et effectue les traitements du signal, les résultats desdits
30 traitement étant alors transmis au superviseur central dans la mesure où au moins un des seuils prédéfini est franchi.

Lorsqu'une des balises est activée par son propre inclinomètre, il est avantageux d'activer les autres balises de manière à être certain que l'ensemble des balises s'active. En procédant ainsi, on a alors un niveau élevé de redondance d'activation au niveau de l'ensemble de la chaîne de
5 balises, car chacune est normalement activée par son propre inclinomètre et chacune informe alors toutes les autres, ainsi que le superviseur central, qu'elle entre en action. Ainsi, le risque d'avoir une balise qui reste en veille s'en trouve radicalement restreint.

Dans les deux modes de réalisation d'activation de l'unité de calcul
10 électronique décrit ci-dessus, on entend par « activation de l'unité de calcul électronique » que celle-ci est précédemment en état de veille et s'auto-active pour réaliser les traitements et transmissions des étapes b) et c) ci-dessus, lesdits moyens de transmission 5d étant activés par ladite unité de calcul électronique 5b.

15 Selon un autre mode de réalisation ladite unité de calcul électronique est apte à être activée à partir de la mesure d'une valeur seuil d'amplitude d'accélération (g) en fonction du temps.

Avantageusement, chaque dite balise est alimentée par un moyen d'alimentation consistant dans une batterie ou un super condensateur, de
20 préférence une pile au lithium, alimentant ledit accéléromètre vibratoire, unité de calcul électronique, et moyens de transmission et de préférence dits dispositifs de détection de mouvements du navire.

Avantageusement encore, lesdits moyens d'alimentation comportent en outre un thermocouple à effet SEEBECK dont la soudure froide est
25 installée entre la paroi interne froide de la cuve et ladite balise, celle-ci constituant la soudure chaude du thermocouple, ledit thermocouple permettant de générer un courant permanent alimentant ladite balise et, de préférence rechargeant en continu une dite batterie ou super condensateur.

30 Dans un mode préféré de réalisation, lesdites balises sont solidaires du pont du navire et/ou d'une paroi latérale de supportage et d'isolation

des parois de ladite grande cuve à l'intérieur de la coque du navire en vis-à-vis d'une paroi de bordé de la coque, lesdites balises étant situées à proximité d'angles de ladite grande cuve à ses extrémités longitudinales.

Selon d'autres caractéristiques des dites balises :

- 5 - lesdites balises sont positionnées en regard d'un dièdre formé par les angles d'une paroi latérale longitudinale verticale, d'une paroi transversale verticale et d'une paroi de plafond de ladite grande cuve ou un trièdre formé par deux plans d'une paroi de plafond de ladite grande cuve, disposés angulairement l'un par rapport à l'autre et une paroi
10 latérale verticale transversale de ladite grande cuve,
- lesdites balises sont fixées sur une dite paroi par soudage ou collage,
- Chaque dite balise comprend un container au sein duquel est confiné l'ensemble des dits capteur de vibration, unité de calcul
15 électronique, moyen de transmission de données du signal et de préférence dispositif complémentaire de détection, ledit container étant fixé sur ladite paroi et des dits moyens d'alimentation.

Les balises étant installées dans une atmosphère potentiellement explosible, doivent répondre à des normes strictes appelées normes
20 ATEX. Ces normes définissent des dispositions constructives précises, en termes de circuits électriques, de container étanche, de puissance d'émission au niveau d'une antenne radio, etc., pour éviter l'apparition de toute étincelle risquant d'enflammer un environnement gazeux, donc de créer une explosion.

25 Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux, ledit navire est un ancien navire de transport du type méthanier converti en navire de stockage flottant ancré à poste fixe, dont le niveau de remplissage d'au moins un de ses cuves est déterminé en fonction de l'agitation du liquide qu'elle contient telle que détectée et calculée par un
30 dit dispositif de détection d'agitation de liquide.

La présente invention fournit également un procédé de détection de l'agitation liquide au sein de cuve(s) d'un navire selon l'invention comprenant les étapes successives dans lesquelles :

1) On réalise ledit traitement du signal, de préférence après avoir
5 activé une dite unité de calcul électronique lorsqu'une valeur seuil de mouvement du navire est atteinte et,

2) On réalise ladite transmission des valeurs obtenues à l'étape 1) depuis ladite unité de calcul électronique jusqu'à une dite unité centrale.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention
10 ressortiront mieux à la lecture de la description qui va suivre, faite de manière illustrative et non limitative, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente en coupe transversale et en vue de face un support flottant de type FSRU (Floating Storage and Regaseification Unit)
15 de stockage et de regazéification de GNL équipé de dispositifs de détection de mouvements de carène liquide au sein de la cuve 2 à section verticale rectangulaire dudit support flottant,

- la figure 2 représente en coupe transversale et en vue de face un navire de transport de GNL équipé de dispositifs de détection de
20 mouvements de carène liquide au sein de la cuve 2 à section orthogonale dudit navire,

- la figure 3 est une vue de dessus d'un navire de transport de GNL comportant trois cuves, équipées de dispositifs de détection de mouvements de carène liquide au sein des dites cuves,

25 - la figure 4 est une coupe transversale en vue de côté de la partie inférieure d'une cuve équipée sur le côté droit d'un dispositif de détection de carène liquide alimenté par un thermocouple à effet Seebeck,

- la figure 4A détaille le dispositif de la figure 4,

- la figure 5 est une vue en plan en vue de dessus, de deux cuves de LNG équipées de dispositifs de détection de mouvements de carène liquide de type à transmission radio,

5 - la figure 6 est une vue en plan en vue de dessus, de deux cuves de LNG équipées de dispositifs de détection de mouvements de carène liquide reliées entre elles et à la passerelle du navire par un réseau local filaire,

10 - les figures 7A-7B détaillent le fonctionnement des dispositifs de détection de « sloshing » respectivement dans une version autonome (7A) et dans une version reliée à un réseau local filaire (7B),

- les figures 8A-8B détaillent un mode mouvements de carène liquide, ou balise, sur la base d'une information liée aux mouvements propres du navire,

15 - les figures 9A-9B détaillent un mode de déclenchement des dispositifs de détection de mouvements de carène liquide sur la base d'une information liée au déclenchement d'un dit dispositif de détection de mouvements de carène liquide quelconque,

20 - les figures 10A-10B détaillent un mode de déclenchement d'un dispositif de détection de mouvements de carène liquide sur la base d'une information liée à l'apparition d'un phénomène de type mouvements de carène liquide,

- les figures 11A à 11D sont des diagrammes d'acquisition et de traitement du signal par une FFT à différents stades du processus selon l'invention,

25 - les figures 12A et 12B sont des diagrammes de traitement du signal par une DSP à différents stades du processus selon l'invention,

- les figures 13A et 13B sont des diagrammes de traitement du signal par une DSE à différents stades du processus selon l'invention.

Sur la figure 1 on a représenté, en coupe transversale, un navire 1 de type FSRU, ancré par des lignes 1b reliées à des treuils 1c, installé sur un champ pétrolier et recevant par des conduites, non représentées, du gaz en provenance de têtes de puits sous-marines, ledit gaz étant traité à bord dans des installations 1d pour être refroidi à une température inférieure à -163°C et être stocké sous la forme de liquide 3 dans les cuves 2 avant d'être transféré vers des navires méthaniers qui transporteront ledit gaz, toujours sous forme liquide, vers les utilisateurs. Les cuves parallélépipédiques 2 présentent un volume de 24.000 m^3 avec une largeur de 20m, une longueur de 40m et une hauteur de 30m, les plus grosses pouvant atteindre et dépasser 60.000 m^3 . Le navire est équipé de dispositifs de détection 5 de mouvements de carène liquide ci-après dénommés « balises » ou encore « dispositifs de détection de « sloshing » selon l'invention, à savoir quatre balises autonomes 5-1 situées à proximité des angles des cuves au niveau des extrémités longitudinales des cuves, respectivement, à gauche sur bâbord, au niveau du pont 4a et en bas à l'intérieur de la coque, en contact avec la paroi 2a-1 du système d'isolation thermique 2a de la cuve 2, et à droite sur tribord, en haut et en bas à l'intérieur de la coque, en contact avec la paroi 2a-1 du système d'isolation thermique 2a de la cuve 2.

Plus précisément, les balises 5-1 sont positionnées à proximité de :

- des angles 2d formant dièdre au niveau de la rencontre de la d'une paroi latérale longitudinale 2f et d'une paroi latérale transversale 2g et

- des angles 2g de fond formant dièdre au niveau de la rencontre entre la paroi de fond 2h et une paroi latérale longitudinale 2f et une paroi latérale transversale 2g à l'extrémité longitudinale de la cuve.

Les cuves 2 sont solidarisées à la coque 4a,4b par des structures porteuses de type poutre métallique 11 uniformément réparties et assurant la liaison entre d'une part, les surfaces de la paroi externe 2a-1

du revêtement 2a de la cuve 2 (elle-même solidaire des parois 2f,2h de la cuve 2) et d'autre part, les parois internes de la coque du navire.

Les balises à proximité des angles supérieurs 2d sont soit positionnées sur le pont 4a du support flottant, soit contre une paroi latérale longitudinale 2a-1 du système d'isolation en regard de la paroi de bordée 4b de la coque du navire.

Les balises situées à proximité des angles inférieurs 2g sont situées de préférence contre une paroi latérale 2a-1 du système d'isolation 2a de la cuve 2 à l'intérieur de la coque en vis-à-vis de sa paroi de bordée 4b.

Le fonctionnement des balises sera détaillé plus avant dans la description de l'invention.

La surface libre 3a du méthane liquide (GNL) au sein de la cuve 2 est en général légèrement agitée en fonction de l'excitation de la carène liquide provoquée par la houle, le vent et le courant agissant sur le navire. En cas de conditions océano-météo dégradées, cette agitation augmente et peut conduire à des vagues importantes se réfléchissant sur les parois de la cuve et pouvant conduire à des déferlements sur lesdites parois.

En navigation ou en configuration ancrée, le navire est soumis aux conditions de mer, c'est à dire à la houle, au courant et au vent, et le contenu des diverses cuves est alors soumis à une excitation permanente de la part de ladite houle, dudit courant et dudit vent. Il se forme alors une sorte de houle confinée au sein de la cuve 2, laquelle rebondit sur les parois latérales 2f et se trouve alors réfléchié tout en gardant son énergie propre, c'est-à-dire sa période et son amplitude. Il en résulte alors une agitation de surface plus ou moins importante selon les conditions de mer. Les houles ainsi réfléchies sur les parois se recombinent entre elles, et peuvent soit évoluer vers des états d'agitation décroissants lorsque la recombinaison se produit en décalage de phase, soit vers des états croissants lorsqu'elles se recombinent en phase.

Ainsi, lorsque le navire 1 est soumis à une houle extérieure 10, soit en provenance du grand large, soit due au vent ou au courant, les mouvements de roulis, de tangage, de lacet, d'embarquée, de pilonnement et de cavalement du navire excitent la carène liquide contenue dans la cuve 2 et des phénomènes de résonance peuvent alors apparaître au sein de ladite cuve, en raison des combinaisons des réflexions multiples sur les parois des cuves précédemment décrites.

Ces phénomènes peuvent être violents et conduire à un risque d'endommagement des systèmes de rétention et de confinement du gaz liquéfié. Ces phénomènes ne se produisent pas uniquement en cas de tempête, mais peuvent apparaître même par temps modéré, lorsque certains paramètres liés au comportement du navire, à la forme de ses cuves et au niveau de remplissage desdites cuves, se présentent de manière concomitante.

Par exemple une houle de travers de faible amplitude, par exemple de hauteur significative $H_s=1.25\text{m}$, liée à des périodes particulières, par exemple $T=8-10$ secondes, ne présentera aucun danger lorsque les cuves sont pleines ou vides, ou encore avec des niveaux de remplissage intermédiaires, mais pour une valeur précise, par exemple un remplissage de 70-80%, des phénomènes de résonance apparaîtront dans ces conditions particulières, conduisant à des comportements dangereux de la cargaison de gaz liquide, pouvant conduire à des déferlements très violents de la houle en résonance contre les parois des cuves. Ces déferlements peuvent alors conduire à l'endommagement, voire à la ruine du système de confinement ou d'isolation, mettant ainsi en grand danger le navire et tout son personnel.

Les mouvements et turbulences les plus forts ont tendance à s'accumuler dans les angles verticaux aux extrémités longitudinales de la cuve et plus particulièrement, les chocs les plus importants sont créés dans les trièdres créés par deux parois verticales latérales et transversales et le plafond de la cuve.

Les angles verticaux 2d au niveau du plafond des cuves sont en effet des zones où, en cas de déferlement, risquent de se produire des chocs très violents en raison de la forme en trièdre créé par les deux parois verticales et le plafond de la cuve, c'est pourquoi l'on dispose
5 avantageusement les balises 5-1,5-2 à proximité desdits angles des cuves.

Sur la figure 2 on a représenté en coupe transversale un autre navire 1, mais de type méthanier, équipé de dispositifs de détection de mouvements de carène liquide ou « sloshing » 5-1,5-2 selon l'invention,
10 le phénomène de « sloshing » étant ici formé en 3b, prêt à déferler sur le haut de la partie bâbord 2f de la cuve de GNL.

Sur la gauche sur bâbord, on a installé sur le pont 1a du navire deux balises 5-1 de type autonome, ces balises communiquent par radio avec un superviseur central 6, de préférence un ordinateur de type PC,
15 installé au poste de contrôle, de préférence au niveau de la passerelle de pilotage du navire d'une part, et d'autre part, ces balises communiquent par radio avec les autres balises 5-1, comme il sera explicité ci-après. Sur la droite, sur tribord, on a installé sur le pont 1a du navire deux balises 5-2 de type filaire, ces balises communiquent avec le même
20 superviseur central 6, par un réseau local informatique 5d-3.

Plus particulièrement, la cuve 2 de ce navire présente une section orthogonale avec une paroi de plafond constituée d'une paroi centrale horizontale 2e-2 et deux parois de plafond latérales 2e-1 inclinées en pente descendante vers les parois latérales longitudinales 2f.

25 Ces cuves présentent donc des angles en forme de trièdre à leurs extrémités longitudinales, à savoir :

- des premiers trièdres 2d formés par une paroi latérale longitudinale 2f, une paroi transversale d'extrémité 2g et la partie de paroi de plafond adjacente 2e-1 inclinée et,

- des trièdres 2c formés par une paroi transversale d'extrémité 2g et deux parois de plafond 2e-1, 2e-2 adjacentes disposées angulairement l'une par rapport à l'autre.

Comme détaillé sur les figures 7A et 7B, les balises 5-1 et 5-2 sont
5 constituées par les éléments suivants :

- a) un capteur de vibrations 5a consistant dans un accéléromètre vibratoire, plus précisément un accéléromètre capable de mesurer les variations d'accélération g des vibrations de la paroi sur laquelle ils sont fixés en fonction du temps. Ces vibrations de la
10 paroi du pont 1a sur laquelle ils sont fixés sont en relation avec les vibrations de la paroi de la cuve 2, puisque celle-ci est soutenue par la coque du navire ou support flottant et fixée solidairement à celle-ci par une structure porteuse 11, laquelle transmet les vibrations de la cuve 2 à la coque 1a-1e du navire ; plus
15 précisément, ces accéléromètres sont des accéléromètres triaxiaux connus de l'homme de l'art, c'est-à-dire aptes à mesurer l'accélération linéaire dans les trois directions de l'espace, de préférence des accéléromètres de type piezo-résistif, capables de mesurer une accélération sur une plage variant de zéro jusqu'à une
20 valeur maximale. De manière à capter les vibrations de la façon la plus fidèle, ces balises 5a sont fixées par soudage ou collage contre la paroi sur laquelle ils sont fixés,
- b) une unité de calcul électronique 5b comprenant un microprocesseur et de la mémoire intégrée.
- c) les moyens de transmission 5d de données, lesquels peuvent
25 être de deux types :
 - des balises autonomes 5-1 ou
 - des balises filaires 5-2.

Dans le cas de balises autonomes 5-1, lesdits moyens de
30 transmission comprennent une antenne 5d-1 et un émetteur-récepteur 5d-2 aptes à transformer les signaux électriques fournis par ladite unité

de calcul 5b en ondes radio, lesquelles ondes radio sont émises à partir d'une antenne 5d-1.

5 Dans le cas de balises filaires 5-2, lesdits moyens de transmission 5d comprennent des câbles 5d-3 reliant une interface 5d-4 de traitement du signal apte à le rendre véhiculable à travers lesdits câbles 5d-3, de préférence des câbles à fibre optique combinés à des interfaces 5d-4 transformant lesdites données du signal électrique fourni par l'unité de calcul électronique 5b en signaux lumineux.

10 Dans une variante de réalisation, les balises 5-1,5-2 comprennent un dispositif de détection de mouvements du navire 5c, qui est un inclinomètre, par exemple du type pendulaire, ou une centrale inertielle, aptes à déterminer de préférence l'angle de roulis d'une paroi de bordé 4b de la coque du navire ou support flottant.

15 Ce dispositif 5c est apte à déclencher l'activation de ladite unité de calcul électronique 5b pour réaliser des traitements des dites étapes b.1) à b.3) et c) de ladite balise et des autres unités de calcul électronique 5b des autres balises de la même cuve et des autres cuves du navire ou support flottant, le déclenchement de l'activation des dites unités de calcul électronique se faisant à partir d'une valeur seuil prédéterminée
20 d'amplitude de mouvements du navire, de préférence une valeur d'inclinaison d'une paroi de la coque du navire, ladite valeur de seuil étant un angle de roulis d'au moins 5°, de préférence 5 à 10° par rapport à la verticale.

25 La figure 3 est une vue de dessus d'un navire de transport de GNL comportant trois cuves 2-1,2-2,2-3 à section orthogonale, dont la première 2-1, à gauche, est équipée de quatre balises 5-1 de type autonome selon l'invention, installées à l'extérieur sur le pont du navire, au niveau des angles verticaux externes 2d de ladite cuve à ses extrémités longitudinales.

30 La cuve 2-2 du milieu est équipée également de quatre balises 5-1 installées à l'intérieur du navire en partie haute entre le bordé extérieur

1e du navire et la paroi externe 2-1 du revêtement d'isolation 2a de la cuve 2-2 de GNL. Enfin, la cuve 2-3 de droite est équipée de huit dispositifs 5-1 comme sur la figure 2, situés respectivement aux quatre coins 2d, vers l'extérieur et quatre angles 2c au niveau de la jonction des parois inclinées 2-1 du plafond avec la paroi centrale 2-2 du plafond de la cuve, comme représenté sur la vue en coupe sur la figure 2.

Les dispositifs de détection de mouvements de carène liquide ou balises 5-1,5-2 sont installés soit en contact direct avec la paroi externe 4a,4b du navire, de préférence au niveau du pont 4a dudit navire comme représenté sur la figure 2, ou à l'intérieur du navire, par exemple dans une coursive, dans l'espace compris entre le bordé 4b du navire et le revêtement d'isolation 2a de la cuve de GNL, comme explicité sur les figures 1 et 4-4A. Dans tous les cas, le dispositif de détection de mouvements de carène liquide 5-1,5-2 est solidaire de la paroi sur laquelle il est installé. Il est soit fixé mécaniquement par soudage 5-4 ou par boulonnage, ou encore avantageusement par simple collage, de manière à ce que toute vibration de ladite paroi soit transmise intégralement au dispositif 5-1,5-2 avec le minimum d'atténuation. Ainsi, les dispositifs de détection 5-1,5-2 sont en quelques sortes « à l'écoute » de ce qui se passe à l'intérieur des cuves de stockage de GNL.

Le dispositif de détection de « sloshing » 5 est soit du type autonome 5-1 et transmet alors ses informations par radio, comme détaillé sur les figures 5 et 7A, soit du type filaire 5-2, et transmet alors ses informations, par exemple, par le biais d'un réseau informatique local filaire 5d-3, comme détaillé sur les figures 6 et 7B.

Sur la figure 7A, le dispositif de détection de « sloshing », ou balise, est de type autonome 5-1. Il est constitué d'un accéléromètre triaxial 5a relié 5a-1 à une unité de calcul 5b, l'ensemble étant alimenté par un super-condensateur ou une batterie 5e, de préférence une pile au lithium à très longue durée de vie. Les informations résultant des calculs au sein de l'unité de calcul 5b sont transmises par radio au moyen d'un émetteur-récepteur radio 5d-2 équipé d'une antenne 5d-1.

Dans la version de balise filaire 5-2, représentée sur la figure 7B, cette dernière est constituée d'un accéléromètre triaxial 5a relié à une unité de calcul 5b, l'ensemble étant alimenté en 5d-6 par la liaison filaire de type réseau 5d-3. Les informations résultant des calculs au sein de
5 l'unité de calcul 5b sont transmises à l'unité centrale 6.

La figure 5 représente la vue en plan de deux cuves 2-1,2-2 équipées à leur quatre angles de balises 5-1 de type autonomes, l'une des balises 5-1a vient d'être activée par le dispositif inclinomètre 5c et communique alors par radio avec le superviseur central 6 et avec toutes
10 les autres balises 5-1 des deux cuves pour les réactiver.

De la même manière, la figure 6 représente la vue en plan de deux cuves 2-1,2-2 équipées à leurs quatre angles de balises 5-2 de type filaire, communiquant avec le superviseur central 6 et avec toutes les autres balises par l'intermédiaire d'un réseau local 5d-3.

15 Dans les deux types de balise, autonome 5-1 et filaire 5-2, le mode de fonctionnement est identique. Il est décrit en détails sur les figures 8, 9 et 10.

En l'absence de mouvements du navire, toutes les balises sont au repos, en état de veille, et ne consomment que très peu d'énergie, ce qui
20 est un avantage considérable dans le cas des balises autonomes sur batterie 5-1. Chacune des balises, quand elle est activée, communique alors individuellement avec l'ordinateur de supervision 6 situé de préférence au niveau de la passerelle, comme représenté sur la figure 1. De plus, ladite balise informe simultanément toutes les autres balises et
25 les active, ces dernières se mettent alors en mode acquisition de données, traitement de données et communication avec le superviseur central 6.

Sur la figure 8A, l'activation d'une balise est provoquée par le dispositif 5c, de type inclinomètre ou centrale inertielle sensible aux
30 mouvements propres du navire. Un signal radio 8a est alors envoyé au superviseur central 6 et un signal radio 8b est envoyé à l'ensemble des

balises pour les activer. Une fois la balise activée, l'accéléromètre triaxial 5a envoie ses données à l'unité de calcul 5b, qui les traite d'une manière particulière qui sera explicité ci-après, puis transmet les données résultant du traitement du signal par radio jusqu'au superviseur 6. Ledit
5 superviseur 6 traite alors l'ensemble des données recueillies en provenance des diverses balises 5-1,5-2 et peut ainsi synthétiser l'état de l'agitation de la carène liquide dans la cuve pour déterminer si cette agitation risque de conduire à un « sloshing » dommageable pour les installations.

10 De préférence, le superviseur 6 entre les données recueillies provenant des diverses balises dans un modèle mathématique lui permettant de fournir des consignes de commande de pilotage du navire en termes de vitesse et/ou direction pour réduire ou supprimer ce risque de « sloshing ».

15 Sur la figure 9A, l'activation d'une unité de calcul 5b de la balise 5 est provoquée par un signal radio 8b en provenance directe d'une première balise ou un signal radio 8c en provenance du superviseur central 6, lui-même ayant recueilli les données provenant de ladite première balise. Le processus d'acquisition transmission, représenté sur
20 la figure 9B est alors identique à celui décrit précédemment en référence à la figure 8B.

Enfin, sur la figure 10A, l'activation d'une balise est provoquée par un signal en provenance de son accéléromètre 5a, signal provoqué par exemple par un phénomène de résonance de la carène liquide de GNL
25 alors que les mouvements propres du navire sont faibles, voire insignifiant, lesdits mouvements du navire n'étant pas suffisants pour atteindre le seuil de déclenchement du dispositif 5c, de type inclinomètre ou centrale inertielle. La balise envoie alors un signal 8a au superviseur central 6 ainsi qu'un signal 8b à l'ensemble des autres balises pour les
30 activer. Le processus d'acquisition transmission, représenté sur la figure 11B est alors identique à celui décrit précédemment en référence à la figure 9B.

Dans le cas de liaisons filaires 5d-2, les mêmes informations que celles décrites en référence aux figures 8, 9 et 10 dans le cas des liaisons radio, transitent de manière connue sur le réseau local filaire 5d-3 reliant, en série, en étoile, ou en anneau, l'intégralité des balises et le superviseur central 6.

Le traitement du signal au sein d'une balise 5 est schématisé dans les figures 11 à 13.

Ce mode de fonctionnement normal, c'est à dire hors des phases d'ajustements d'auto-apprentissage décrits ci-après, lorsque la balise est déclenchée, par exemple par un roulis et/ou tangage dépassant un seuil donné perçu par exemple par l'inclinomètre 5c, le calculateur a connaissance, par simple mesure directe du signal, de la période exacte dudit roulis-tangage, donc du niveau de risque d'excitation et d'amplification des mouvements de la carène liquide risquant de dégénérer en « sloshing », de par une modélisation mathématique des carènes liquides au sein des diverses cuves. Sur la base du signal temporel de la figure 11A, associé à ladite période d'excitation, c'est à dire ladite période de roulis et/ou tangage, et au logiciel intégré au calculateur 5b, plusieurs types de traitement seront effectués selon la configuration dudit signal.

Ainsi, une FFT, convertissant ledit signal temporel en $g=f(\text{hz})$, de manière connue de l'homme de l'art dans le domaine du traitement du signal, sera systématiquement effectuée et sera bien adaptée pour un signal impulsionnel peu résonnant, c'est à dire comportant peu de réponses harmoniques, ce dernier pouvant être de forte ou de faible amplitude, mais de préférence centré autour d'une fréquence.

Sur les figures 11B et 11C, on a représenté le diagramme accélération (g) en fonction de la fréquence (Hz) correspondant respectivement au traitement du signal par une FFT (Fig. 11B) et après filtrage du bruit de fond (Fig. 11C). La figure 11D représente le diagramme des accélérations temporelles après filtrage et traitement du

signal par une Transformée de Fourier inverse de type IFFT, mettant en évidence les dépassements des seuils S1, S2, etc. prédéfinis.

Sur la base de cette FFT, on calcule une densité spectrale de type DSP (densité spectrale de puissance $= g^2 / H_z$), de manière connue de l'homme de l'art dans le domaine du traitement du signal. Ce calcul sera préféré dans le cas d'un signal de type choc, ce dernier excitant l'ensemble de la structure du navire et sous-structure de la cuve et support de cuve, donc à niveau global et local, et résonnant fortement autour d'une fréquence ; les fréquences adjacentes ainsi que leurs harmoniques étant elles aussi excitées.

Un calcul de densité spectrale de type DSE (Densité Spectrale d'Énergie $= g^2 \times s / H_z$), connu de l'homme de l'art dans le domaine du traitement du signal, sera préféré pour un signal transitoire, court ou long, car il permet une estimation à partir d'un processus de type moyenne sur la durée du signal temporel sélectionné pour le FFT, par exemple $\Delta t = 2$ secondes, tel que représenté sur la figure 11A.

Sur les figures 12A et 12B, on a représenté le diagramme d'une DSP, dans laquelle on représente, de manière connue, en ordonnée la fonction g^2 / H_z , et en abscisse la fréquence Hz, la courbe correspondant respectivement au traitement du signal par une DSP (12A) et après filtrage du bruit de fond (12B). La Puissance spectrale g^2 est alors représentée par l'intégrale de la fonction g^2 / H_z de la figure 12B, c'est à dire par la surface hachurée de la figure 12B, comprise entre la courbe, l'axe des X, et les limites haute F_b et basse F_a du filtrage.

Sur les figures 13A et 13B, on a représenté le diagramme d'une DSE, dans laquelle on représente, de manière connue, en ordonnée la fonction $g^2 \times s / H_z$, c'est-à-dire le carré de l'accélération, multiplié par un temps et divisé par la fréquence, et en abscisse la fréquence Hz, la courbe correspondant respectivement au traitement du signal par une DSE (13A) et après filtrage du bruit de fond (13B). L'Énergie spectrale ($g^2 \times t$) est alors représentée par l'intégrale de la fonction $g^2 \times s / H_z$ de la

figure 13B, c'est à dire par la surface hachurée de la figure 13B, comprise entre la courbe, l'axe des X, et les limites haute et basse du filtrage.

Après traitement du signal au sein de l'unité de calcul selon les trois modes précédemment décrits, les données résultantes ne sont
5 transmises au superviseur central 6 que dans le cas où des valeurs de seuil maximal sont franchies.

Dans le cas de la DSP dont le résultat est représenté sur la figure 12B, le seuil de déclenchement de transmission de données vers le superviseur central 6 est défini :

- 10 - soit par un dépassement de la limite $p_{\max}$ par la courbe ; les données transmises étant alors la valeur du (ou des) pic(s) de puissance P_0 associé(s) à leur fréquence F_0 correspondante, ainsi que la puissance spectrale globale représentée par l'aire hachurée de ladite figure,
- soit par le dépassement d'une valeur donnée de la puissance
15 spectrale globale, représentée par l'intégrale de la courbe de la figure 12B, c'est à dire quand l'aire hachurée de ladite figure 12B dépasse une valeur seuil prédéfinie, les données transmises étant alors la valeur de ladite puissance spectrale globale, ainsi que, le cas échéant, la ou les valeur(s) de pics précédemment définies associées à leur fréquence
20 respective.

Dans le cas de la DSE dont le résultat est représenté sur la figure 13B, le seuil de déclenchement de transmission de données vers le superviseur central 6 est défini :

- soit par un dépassement de la limite $e_{\max}$ par la courbe ; les
25 données transmises étant alors la valeur du ou des pics d'énergie e_1, e_2 associés à la fréquence F_1, F_2 correspondante, ainsi que l'énergie spectrale globale représentée par l'aire hachurée de ladite figure,
- soit par le dépassement d'une valeur donnée de l'énergie
spectrale globale, représentée par l'intégrale de la courbe de la figure
30 13B, c'est à dire quand l'aire hachurée de ladite figure 13B dépasse une

valeur seuil prédéfinie ; les données transmises sont alors la valeur de ladite énergie spectrale globale, ainsi que, le cas échéant, la ou les valeurs des pics précédemment définies associées à leur fréquence respective.

- 5 Sur la figure 12B, on a représenté un pic unique de valeur P_0 dépassant le seuil prédéfini $p_{\max}$.

Sur la figure 13B, on a représenté deux pics e_1 et e_2 d'énergie ne dépassant pas le seuil prédéfini $e_{\max}$, et en conséquence le déclenchement de transmissions de données vers le superviseur central 6
10 ne sera pas initié par ce signal relatif aux pics.

En cas de dépassement d'au moins un seuil prédéfini lors des divers traitements du signal temporel de la figure 11A, précédemment décrits en référence à la FFT, à la DSP et à la DSE, tout ou partie des résultats des divers traitements, de préférence l'intégralité des résultats synchrones
15 des trois traitements, sera transmis au superviseur central 6, pour concaténation avec les données en provenance des divers capteurs, au sein d'un modèle mathématique représentant le comportement des carènes liquides des divers cuves de LNG du navire.

En procédant ainsi, l'intégralité des calculs en temps réel est
20 réalisé par le calculateur 5b au sein de la balise 5, mais ne transitent vers le superviseur central 6 que des résultats de calculs, donc des données compactes et rapides à transmettre, contrairement à un signal temporel qui occuperait alors à plein temps le médium de transmission, qu'il soit de type radio, ou de type réseau local. Ainsi, un signal
25 temporel d'une durée de $\delta t = 2$ secondes occuperait le médium de transmission à 100% du temps, alors que les résultats des IFFT, DSP et DSE ne seront transmis, que si un des seuils est dépassé, sur une durée de l'ordre de 0.1 à 0.5 secondes, libérant de ce fait très rapidement le médium de transmission, et limitant de manière drastique la
30 consommation de la balise, dont l'essentiel de la puissance consommée l'est par lesdits moyens de transmission.

Le calculateur 5b reçoit en permanence des données en provenance du capteur 5a, les traite de manière continue ou non, les stocke dans sa mémoire interne et analyse au cours du temps le comportement global du système, principalement lorsque le navire se trouve soit à l'abri, soit en navigation calme, c'est à dire sans risques de mouvements de carènes liquides, donc de « sloshing ». Cette observation, corrélée avec le roulis et tangage du navire, permet d'évaluer le bruit de fond propre au navire en l'absence de mouvements significatifs de carènes liquides ou de « sloshing », et ainsi de définir des seuils tels que décrits en référence aux figures 11D, 12B et 13B relatifs respectivement à une IFFT, une DSP et une DSE. Au cours du temps, ces seuils prédéfinis seront, soit automatiquement adaptées au sein du calculateur 5a, ce dernier fonctionnant en auto-apprentissage après avoir réalisé en interne la synthèse des résultats des trois traitements synchrones précédemment décrits, soit modifiés par le superviseur central après traitement global, sur de longues périodes, des informations en provenance de l'ensemble des balises, ces traitements globaux étant corrélés avec le comportement effectif du navire et de sa cargaison de gaz liquéfié.

Les termes anglo-saxons, connus de l'homme de l'art, correspondants aux densités spectrales, sont respectivement :

- DSP : PSD (Power Spectral Density),
- DSE : ESD (Energy Spectral Density)

Le filtrage du signal permet d'éliminer les fréquences parasites, en général les très basses fréquences et les hautes fréquences. Ce filtrage permet d'éliminer ce que l'on appelle le bruit de fond, c'est-à-dire le bruit créé par l'environnement propre du navire. On obtient ainsi une représentation de l'agitation de la carène liquide au sein de la cuve notamment en termes d'énergie spectrale, car les accélérations vibratoires mesurées sont liées à des masses de carène liquide en mouvement au sein de la cuve, et ladite énergie spectrale est représentative de l'agitation locale de la carène liquide au sein de la cuve. Cette énergie spectrale est alors comparée en temps réel à des valeurs seuil prédéterminées.

Dès qu'une valeur seuil prédéterminée est atteinte ou dépassée, l'unité de calcul 5b effectue alors une IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), c'est-à-dire transformée de fourrier inverse, ce qui permet de revenir aux signaux de variation d'accélération g en fonction du temps t ,
5 ayant toutefois éliminé dans les phases de filtrage précédentes lesdits bruits de fond. On met alors en évidence, en temps réel, des signaux de variation des accélérations propres à la carène liquide en fonction du temps et les risques d'apparition d'un « sloshing » potentiellement préjudiciable, ainsi que les pics d'accélération correspondant à des chocs
10 avérés contre les parois des cuves, ou encore à des quasi-chocs, c'est à dire des résonances en phase croissante pouvant conduire à très court terme à des chocs préjudiciables pour l'intégrité de la cuve, et donc du navire.

Ces informations, une fois traitées au sein de l'unité de calcul 5b,
15 sont transmises à intervalles, réguliers ou non, vers le superviseur central 6 qui traite alors l'ensemble des données et précise alors la localisation du phénomène de « sloshing » en terme de numéro de cuve et de localisation exacte de l'agitation ou des impacts avérés de « sloshing », et de quantifier le cas échéant l'ampleur du phénomène.

20 Comme représenté sur la figure 11D, le processus de calcul au sein de l'unité de calcul 5b, définit avantageusement plusieurs seuils, par exemple deux seuils :

- un premier seuil S1 en dessous duquel les informations sont transmises en routine à intervalle régulier et espacé, et au dessus
25 duquel l'intervalle entre deux transmissions est réduit, par exemple de moitié, car il y a alors risque de phénomènes de résonance pouvant conduire à un « sloshing » préjudiciable.
- un second seuil S2, au-dessus duquel les transmissions sont alors beaucoup plus fréquentes, par exemple 5 fois plus fréquentes, et
30 ladite balise est alors considérée par le superviseur central 6 comme prioritaire vis-à-vis des autres balises, tant que ces dernières n'ont pas atteint ledit seuil S2.

Le mode de fonctionnement de la balise a été expliqué en détails ci-dessus, est basé sur un auto-apprentissage du calculateur dans le temps, ledit auto-apprentissage ayant pour effet de modifier au cours du temps certains paramètres du logiciel intégré au calculateur 5b. Ces
5 paramètres sont ainsi prédéfinis au démarrage de l'installation à bord du navire, et évolueront au cours du temps par auto-apprentissage, en fonction du comportement d'ensemble et des résultats d'analyse par les diverses balises et par le superviseur central 6. Les principaux paramètres seront ainsi fixés au départ à des valeurs conservatrices,
10 c'est-à-dire en général des seuils assez bas, puis seront réactualisés de manière automatique au cours du temps vers des valeurs plus contraignantes et réalistes, en fonction du comportement réel des carènes liquides vis-à-vis du comportement concomitant du navire. Ainsi, au démarrage de l'installation, le navire étant par exemple au port ou en
15 navigation en vitesse de croisière, en mer calme, l'analyse des signaux en provenance des capteurs 5a, permettra de caractériser très rapidement, et dans diverses situations plutôt calmes, le bruit de fond intrinsèque au système, et de l'éliminer de manière efficace lors des traitements de type FFT. Les principaux paramètres, fixés au départ mais qui, par auto-
20 apprentissage, évolueront dans le temps, après quelques jours, puis quelques semaines, quelques mois, quelques années, sont, entre autres :

- les fourchettes de valeur des périodes de roulis du navire (valeur mini-valeur maxi) risquant d'engendrer des mouvements importants de carènes liquides, en fonction des niveaux connus de remplissage des
25 cuves,

- les fourchettes de bandes passantes de fréquence (valeur mini-valeur maxi) relatives au filtrage du signal ainsi que des seuils prédéfinis S1, S2, etc., dans le cas de FFT et d'IFFT,

- les niveaux d'énergie ou de puissance spectrale, définis dans le
30 cas des DSP et de DSE.

Tous ces paramètres constituent en fait une modélisation mathématique du comportement global des carènes liquides, et dès lors que l'on se trouve à l'intérieur de certaines plages de valeurs, les risques

de résonnance pouvant créer un « sloshing » dommageable peuvent apparaître, alors qu'à l'extérieur de ces plages de valeurs, les risques de résonances sont minimales, voire quasiment impossibles.

Les balises 5 comportent une capacité de calcul embarquée
5 considérable, ce qui permet de ne faire transiter par radio (balises de type autonome 5-1) ou sur le réseau local 5d-3 (balises filaires 5-2) que des résultats de données traitées, ce qui réduit de manière drastique l'occupation du superviseur central 6 qui n'a alors qu'à concaténer des données de résultat du traitement des signaux, pour en effectuer la
10 synthèse et mettre à la disposition du commandant du navire un état précis du comportement de sa cargaison dans chacune des cuves de stockage de LNG.

Toutes les balises, qu'elles soient du type autonome 5-1 ou filaire 5-2, sont installées dans un environnement de gaz, et doivent donc être
15 du type anti-déflagrant, c'est-à-dire doivent répondre à la norme européenne dite « ATEX ». Pour ce faire, l'ensemble des éléments constitutifs des balises 5, à savoir les capteurs de vibration 5a, unité de calcul 5b, moyens de détection des mouvements du navire 5c, l'alimentation 5e sont confinés dans une enceinte 5-3 respectant la norme
20 ATEX. Seule une partie des moyens de transmission tels que l'antenne radio 5d-1, les réseaux filaires 5d-3 ne sont pas confinés dans l'enceinte 5-3 représenté par des pointillés sur les figures 7A et 7B.

L'utilisation de balises de type filaire 5-2 nécessite la mise en place d'un réseau local informatique et nécessite une alimentation en énergie.
25 Mais, le réseau local 5d-3 sera avantageusement du type à fibre optique, et l'alimentation de la balise sera elle aussi avantageusement du type à batterie intégrée 5e, comme dans le cas des balises autonomes 5-1. Ainsi, l'installation des divers composants dans cet environnement ATEX sera simplifiée d'autant.

30 Avantageusement, les composants électroniques de l'unité de calcul 5b utilisés pour le traitement du signal ainsi que les composants utilisés pour les moyens d'interface 5d-2 de transmission dans le cas de la balise

autonome 5-1 et interface 5d-4 dans le cas de la balise filaire 5-2, sont du type à faible consommation en état de fonctionnement et à très faible consommation, voire à consommation quasi nulle, en état de veille. Ainsi, l'énergie à fournir pour ces balises sera assurée par des batteries 5e à longue durée de vie et de charge, et avantageusement par des piles lithium dont la durée de vie dépasse 2, voire 3 ans. Ainsi on dispose alors d'un ensemble capable de rester en fonction pendant plusieurs années, et l'ensemble des alimentations sera avantageusement remplacé de manière systématique à l'occasion de visites d'inspection du navire.

Dans une version préférée décrite sur les figures 4 et 4A, la balise autonome est avantageusement alimentée en énergie par un dispositif 9 de type thermocouple à effet Seebeck installé à l'intérieur de la coque du navire, entre le bordé 4b, contre la paroi d'isolation 2a-1 de la cuve. Pour ce faire, on installe la balise 5-1 contre la paroi d'isolation 2a-1 de la cuve, à travers laquelle on a préalablement percé un orifice 9a de faible diamètre, par exemple 5mm, la traversant de part en part jusqu'à la paroi d'étanchéité 2,2f, soit primaire, soit secondaire, puis on insère un thermocouple dans l'orifice de manière à ce que la soudure froide 9-2 soit en contact avec la paroi froide interne 2,2f, paroi à la température de -163°C dans le cas de la barrière d'étanchéité primaire. La soudure froide 9-2 est reliée de manière connue par un câble à double brin à la soudure chaude située au niveau du boîtier 9-3, ce dernier étant à la température ambiante, c'est à dire à une température de 10-20°C. Ce différentiel de température produit alors, de manière connue par effet Seebeck, un courant électrique permanent qui alimente de manière permanente la balise, et de préférence recharge en continu, soit une batterie, non représentée, soit encore un super-condensateur, c'est-à-dire un condensateur de très grande capacité. Ainsi, en état de veille, la consommation étant quasi nulle, la recharge de la batterie ou du super-condensateur s'effectuera de manière maximale, et dès que la balise entrera en fonctionnement, le courant produit sera intégralement consommé pour le traitement du signal ainsi que pour la transmission de données, le surplus de demande en courant sera fourni par l'élément de

stockage, en l'occurrence, ladite batterie ou ledit super-condensateur. Cette disposition présente l'avantage d'avoir un fonctionnement extrêmement fiable et quasi illimité dans le temps, ne nécessitant aucun entretien durant la durée de vie du navire, bien sûr dans la mesure où

5 les composants électroniques présentent une durée de vie comparable à la durée de vie opérationnelle du navire qui peut atteindre et dépasser 20 à 30 ans, voire plus.

Dans la présente invention, on a décrit des balises de type autonomes 5-1 et de type filaire 5-2. Ces deux types présentent chacun

10 des avantages propres. Ainsi, dans le cas de navires existants, la version autonome 5-1 présente un avantage certain, car les balises sont du type ATEX et comportent chacune l'intégralité des fonctions requises. Elles peuvent être rajoutées sur des équipements existants et être solidarisées sur le pont ou à l'intérieur de la coque, contre la paroi d'isolation, par

15 simple collage, ce qui ne nécessite aucun travail considéré en général comme dangereux dans des environnements potentiellement explosibles.

La version filaire 5-2 nécessite quant à elle un travail d'installation du réseau local cheminant tout le long du navire jusqu'à atteindre le superviseur central 6 situé au niveau de la passerelle. Ce type de

20 disposition est plus particulièrement destiné aux constructions nouvelles, bien que la version autonome 5-1 reste quand même extrêmement intéressante dans ce cas, car elle supprime complètement le déploiement dudit réseau local 5d-3, lequel représente un coût considérable, car de tels navires mesurent plusieurs centaines de mètres de longueur. Dans

25 ce type d'installation sur de très longues distances, il n'est pas rare d'avoir un coût de réseau local représentant 70 à 85 % de l'installation globale. Ainsi, en utilisant un ensemble de balises autonomes, on réduit de manière drastique le coût de l'installation, tout en facilitant son installation et son intégration dans un environnement gaz à risque élevé

30 d'explosion nécessitant des équipements normalisés ATEX.

La normalisation ATEX est connue de l'homme de l'art et les composants mis en œuvre dans le cadre des balises 5-1 et 5-2, particulièrement au niveau du capteur 5a et de l'unité de calcul 5b sont

disponibles dans un module ATEX 5-3 auprès de la Société CEGELEC (France) dans la gamme de produits référencés BACC. Les composants 5d-2 assurant la transmission radio des données de la balise autonome 5-1 sont disponibles, par exemple, auprès de la Société ASM (Autriche) sous la référence ASCell3911. Ces composants communiquent sur les fréquences autorisées normalisées ISM 868 MHz, 433 Mhz & 315 MHz, répondant ainsi aux législations des divers pays industrialisés. Ce type de composant a une portée limitée à 25-1000m selon le modèle et l'environnement (milieu confiné ou milieu ouvert) et présentent une consommation en situation d'émission de 10 à 12 mA sous 2-3.5v, et une consommation en veille de l'ordre de 0.5 μ A, c'est-à-dire une consommation quasi nulle, ce qui représente un avantage considérable pour la durée de vie des batteries ou des piles lithium d'alimentation. Ce type de composant est intégré dans le module ATEX 5-3 précédemment décrit.

Dans le cas de liaisons au sein du navire, lorsque les balises sont installées entre le bordé et la cuve de GNL, on installera avantageusement des balises intermédiaires dont le seul rôle sera de recevoir les messages et de les transférer plus loin. Ainsi, de proche en proche, le message atteindra chacune des balises ainsi que le superviseur central 6 situé au niveau de la passerelle du navire.

Dans la description de la balise, on a décrit un mode de déclenchement de ladite balise grâce à un inclinomètre ou une centrale inertielle 5c, mais on utilise avantageusement l'accéléromètre principal triaxial 5a pour effectuer cette tâche, dans la mesure où il présente une sensibilité adaptée à détecter correctement les mouvements du navire, ainsi que les seuils devant déclencher ladite balise. A cet effet, l'unité de calcul 5b scrutera en permanence les signaux en provenance dudit accéléromètre principal et en déduira les mouvements effectifs du navire et en particulier son roulis tangage, déclenchant le cas échéant le processus d'acquisition-traitement-transmission précédemment détaillé.

A titre d'exemple, on installe sur un méthanier de 135.000 m³ de capacité comportant quatre cuves de GNL, une balise autonome à chacun des angles 2c,2d de chacune desdites cuves, lesdites balises étant localisées sur le pont 4a.

- 5 Chacune des balises est pré-réglée pour traiter les signaux issus de l'accéléromètre triaxial 5a dans une plage de périodes d'oscillation des carènes liquides correspondant à des houles comprises entre 4-5 secondes et 15-18 secondes. La période d'observation δt liée à la FFT, représentée sur la figure 10A, est ajustée à $\delta t=2$ secondes, ce qui
10 correspond sensiblement à deux cycles de FFT pour les périodes courtes et jusqu'à 9 cycles pour les périodes longues.

- Ainsi, chacune des balises 5 est en observation permanente, c'est à dire en acquisition permanente des mouvements du navire (roulis, tangage, ...), mais en veille de traitement et transmission, c'est-à-dire en
15 consommation quasi nulle. Dès que le seuil de déclenchement prédéfini est atteint, par exemple un roulis de 8°, les calculs de FFT et autres calculs autour de l'énergie spectrale sont lancés sur la période d'observation prédéfinie $\delta t=2$ sec. Puis, chacune des données est comparée à celles de référence par l'unité de calcul 5b, après filtrage
20 comme expliqué ci-dessus en référence à la figure 10C. Si cette énergie est supérieure à ladite référence, un calcul d'IFFT est alors lancé afin mettre en évidence les chocs et quasi-chocs éventuels, et de les classer en amplitude selon les seuils prédéfinis S1, S2, S3, etc. L'ensemble de ces calculs sont effectués de manière très rapide par l'unité de calcul 5b,
25 dans un temps largement inférieur à la période de roulis considéré, puis sauvegardé au sein de l'unité de calcul 5b dans une mémoire associée. Il est envoyé simultanément au superviseur 6 via le module radio, ou le réseau local 5d-3, le cas échéant. Au sein dudit superviseur, il est alors concaténé avec toutes les informations synchrones ou quasi-synchrones
30 en provenance de chacune des autres balises installées sur le navire, il fournit ainsi au commandant une représentation fidèle de l'agitation des carènes liquides au sein de chacune des cuves de son navire.

L'acquisition des données pour chacune des balises est archivée et traitée de manière interne. Dans le temps, après plusieurs jours, plusieurs semaines, plusieurs mois de navigation, d'acquisition de données, les divers seuils prédéfinis sont ajustés soit à la hausse, soit à la baisse, par simple auto-apprentissage au niveau de l'unité de calcul 5b. Lesdits ajustements sont alors transmis à intervalle régulier au superviseur 6 qui assure alors la cohérence d'ensemble de toutes les balises. Le cas échéant, le superviseur central 6 intervient au niveau de chacune des balises par simple transmission radio, ou le cas échéant à travers le réseau local 5d-3, pour en modifier les seuils prédéfinis ou encore modifier les programmes de calcul d'acquisition ou d'auto apprentissage. De même, ledit superviseur central intervient à distance pour modifier lesdits seuils de références définis. Les modifications sont aussi avantageusement réalisées lors des opérations de maintenance sur chacune des balises, ou lors de substitution d'une balise par une balise de nouvelle génération.

Le dispositif selon l'invention est particulièrement intéressant dans le cas d'anciens navires méthaniers convertis en vue d'être utilisés comme stockage flottant à poste fixe, soit près d'un site de production de GNL, soit dans une zone côtière, en tant que terminal de réception et de regazéification. En effet ces navires de conception ancienne présentent souvent des performances en termes d'isolation des cuves, moins performantes, voire même dégradées en raison du temps opérationnel qui atteint et dépasse dans certains cas 30, voire 40 ans. De plus, en général les moyens de propulsion de ce type de navire sont aussi devenus obsolètes en raison du faible rendement des machines anciennes, et les navires sont alors destinés à être détruits bien que la structure propre du navire soit encore parfaitement acceptable. Ainsi, la conversion de tels navires est très intéressante, car la machine principale n'est plus utilisée, et le manque de performances du système d'isolation n'est pas critique, et peut même dans certains cas être avantageux. En effet, ce manque de performances du système d'isolation crée un « boil off » important, c'est à dire une gazéification importante du GNL par pertes thermiques, ce qui dans le cas des terminaux de réception n'est pas un inconvénient, mais

un avantage, car l'objectif de ce type de terminal est justement de regazeifier le gaz avant de l'expédier à terre, ou le transformer en électricité localement dans des centrales thermiques électriques. De plus, ce type de méthanier ancien ne pouvait pas naviguer autrement qu'à

5 pleine charge, ou quasiment vide : ils avaient interdiction de naviguer en chargement intermédiaire, car ils ne présentaient pas une résistance suffisante pour supporter les phénomènes de « sloshing ». Dans ce type d'utilisation d'anciens méthaniers, l'installation de dispositifs de détection

10 d'agitation de liquide selon l'invention permet d'acquérir rapidement une connaissance précise du comportement des carènes liquides selon les états de mer et de définir des modes opérationnels correspondant à un niveau élevé de sûreté de fonctionnement, en gérant les niveaux de remplissage de chacune des cuves en fonction de la connaissance de l'agitation selon le niveau de remplissage et de l'état de mer à un instant

15 donné. Ainsi, au bout d'une période opérationnelle préliminaire, le modèle mathématique est ajusté par auto-apprentissage, et les niveaux de remplissage critiques vis-à-vis des divers états de mer seront alors connus. Il est alors aisé d'effectuer des transferts de GNL d'une cuve vers l'autre, de manière à ce que, lorsqu'un état de mer potentiellement

20 critique se produit, aucune des cuves ne présente le niveau de remplissage critique correspondant, évitant ainsi l'apparition des phénomènes redoutés de « sloshing ».

REVENDEICATIONS

1. Navire ou support flottant (1) de transport ou de stockage de liquide (3) consistant dans un gaz liquéfié, de préférence choisi parmi les méthane, éthylène, propane et butane, refroidit dans au moins une
5 grande cuve (2), de préférence cylindrique à section transversale polygonale, isolée thermiquement (2a) de grande dimension avec au moins sa plus petite dimension dans la direction horizontale, notamment sa largeur, supérieure à 20m de préférence de 25 à 50m et un volume supérieur à 10.000 m³, ladite grande cuve 2 étant supportée à l'intérieur
10 de la coque (4) du navire par une structure porteuse (11), caractérisé en ce qu'il comprend une pluralité de dispositifs de détection de l'agitation de liquide au sein de la ou des dites grande(s) cuve(s), ci-après dénommés « balises » (5,5-1,5-2), comprenant :

- a) un capteur de vibrations (5a) du type accéléromètre vibratoire
15 apte à mesurer l'amplitude de l'accélération (g) en fonction du temps (t) des déplacements en vibration d'une paroi de ladite grande cuve ou d'une paroi du navire qui n'est pas en contact avec l'eau de mer, ladite paroi du navire comprenant le pont (4a) du navire ou une paroi (2a-1) de la structure interne du navire, de préférence une paroi de la partie de la
20 structure interne supportant ladite grande cuve, paroi sur laquelle lesdits capteurs sont fixés à l'extérieur de ladite grande cuve, et

- b) une unité de calcul électronique (5b) comprenant un microprocesseur et une mémoire intégrée, apte à traiter ledit signal tel que mesuré par ledit capteur de vibration (5a), pour au moins en éliminer
25 le bruit de fond propre au navire, et pour détecter le mouvement du liquide à l'intérieur de ladite grande cuve par comparaison des valeurs du signal ainsi traité par rapport à des valeurs seuil prédéterminées à partir desquelles l'agitation de la carène liquide (3) est considérée comme constituant un risque de détérioration et déformation dommageables de
30 ladite paroi, et

- c) des moyens de transmission (5d) dudit signal, après traitement par ladite unité de calcul électronique, vers une unité centrale ou

superviseur (6), de préférence au niveau de la passerelle de pilotage du navire.

2. Navire ou support flottant selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque dite balise comprend :

- 5 - une dite unité de calcul électronique apte à réaliser les étapes de traitement du signal suivantes consistant à :
- 10 ▪ 1.1) traiter en temps réel par Transformée de Fourier, de préférence de type FFT, les signaux de dite variation de l'amplitude d'accélération (g) en fonction du temps (t) d'une dite paroi, mesurés par ledit accéléromètre vibratoire à l'étape a), pour calculer la variation de l'amplitude d'accélération (g) en fonction de la fréquence (F) de l'onde vibratoire du signal obtenu à l'étape a) sur une période de temps donné (Δt), puis de préférence calculer la densité spectrale d'énergie et/ou la densité spectrale de puissance
 - 15 ▪ 1.2) éliminer par filtrage le signal de bruit de fond dû aux vibrations propres au navire, puis
 - 20 ▪ 1.3) calculer les valeurs d'accélérations temporelles maximales obtenues par Transformée de Fourier Inverse, de préférence de type IFFT, de la mesure de la variation de l'amplitude d'accélération (g) en fonction de la fréquence (F) de l'étape 1.) après filtrage de l'étape 1.2), et calculer les valeurs de densité spectrale d'énergie maximale (e1, e2) et/ou densité spectrale de puissance maximale (Po) et de
 - 25 préférence calculer les valeurs d'énergie spectrale et respectivement de puissance spectrale des mesure de densité spectrale d'énergie et/ou une mesure de densité spectrale de puissance de l'étape 1.) après filtration de l'étape 1.2), et
 - 30 ▪ 1.4) comparer lesdites valeurs d'accélérations temporelles maximales, et lesdites valeurs de densité spectrale d'énergie maximale (e1, e2) et/ou dites valeurs de densité spectrale de puissance maximale (Po) et de préférence lesdites valeurs

5 d'énergie spectrale et respectivement de puissance spectrale de l'étape 1.3)., avec des valeurs seuils prédéterminées respectives ($S1, e_{max}$, p_{max}) à partir desquelles l'agitation de la carène liquide (3) est considérée comme constituant un risque de détérioration ou déformation dommageable de ladite paroi, et

- des dits moyens de transmission (5d) aptes à être activés par ladite unité de calcul électronique (5b) et à transmettre lesdites valeurs d'accélération temporelles maximales, et de préférence lesdites valeurs de densité spectrale d'énergie maximale ($e1$, $e2$) et/ou de densité spectrale de puissance maximale (Po) et de préférence encore lesdites valeurs d'énergie spectrale et respectivement de puissance spectrale de l'étape 1.3), sont transmises à une unité centrale (6) de préférence au niveau de la passerelle de pilotage du navire, recueillant les données transmises par toutes lesdites balises (5), lesquelles dites valeurs sont transmises à une dite unité centrale, de préférence au niveau de la passerelle de pilotage du navire recueillant les données transmises par toutes les balises, si une dite valeur seuil de l'étape 1.4) est atteinte pour au moins une des balises.

20 3. Navire ou support flottant (1) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ledit accéléromètre vibratoire (5a) est un accéléromètre de type piezo-résistif.

25 4. Navire ou support flottant selon la revendication 1 ou 3, caractérisé en ce que lesdits moyens de transmission comprennent une antenne (5d-1) et un émetteur-récepteur (5d-2) aptes à transformer les signaux électriques fournis par ladite unité de calcul (5b) en ondes radio, lesquelles ondes radio sont émises à partir d'une antenne (5d-1).

30 5. Navire ou support flottant selon la revendication 1 ou 4, caractérisé en ce que lesdits moyens de transmission (5d) comprennent des moyens de transmission filaires, comprenant des câbles (5d-3) reliant une interface (5d-4) de traitement du signal apte à le rendre véhiculable à travers lesdits câbles (5d-3), de préférence des câbles à fibre optique

combinés à des interfaces (5d-4) transformant lesdites données du signal électrique, fourni par l'unité de calcul électronique (5b) en signaux lumineux.

6. Navire ou support flottant selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que ledit capteur vibratoire est constitué par un accéléromètre vibratoire triaxial.

7. Navire ou support flottant selon l'une des revendications 2 à 6, caractérisé en ce qu'une dite balise (5,5-1) comporte en outre un dispositif complémentaire (5c) apte à détecter les mouvements propres du navire (1) et déclencher l'activation de ladite unité de calcul électronique (5b) pour réaliser des traitements des dites étapes 1.1) à 1.3) et 2) de ladite balise et des autres unités de calcul électronique (5b) des autres balises de la même cuve et des autres cuves du navire ou support flottant, le déclenchement de l'activation des dites unités de calcul électronique se faisant à partir d'une valeur seuil prédéterminée d'amplitude de mouvements du navire, de préférence une valeur d'inclinaison d'une paroi de la coque du navire.

8. Navire ou support flottant selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit dispositif de détection de mouvements du navire (5c) est un inclinomètre du type pendulaire ou une centrale inertielle, aptes à déterminer de préférence l'angle de roulis d'une paroi de bordé (4b) de la coque du navire ou support flottant, ladite valeur seuil étant un angle de roulis d'au moins 5°, de préférence 5 à 10° par rapport à la verticale.

9. Navire ou support flottant selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ladite unité de calcul électronique (5) est apte à être activée à partir de la mesure d'une valeur seuil d'amplitude d'accélération (g) en fonction du temps.

10. Navire ou support flottant selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que chaque dite balise (5,5-1) est alimentée par un moyen d'alimentation (5e) consistant dans une batterie ou un super

condensateur, de préférence une pile au lithium, alimentant ledit accéléromètre vibratoire (5a), unité de calcul électronique (5b), et moyens de transmission (5d) et de préférence dits dispositifs de détection de mouvements du navire (5c).

5 11. Navire ou support flottant selon la revendication 10, caractérisé en ce que lesdits moyens d'alimentation comportent en outre un thermocouple à effet SEEBECK (9-1) dont la soudure froide est installée entre la paroi interne froide (2,2f) de la cuve et ladite balise (5), celle-ci constituant la soudure chaude du thermocouple, ledit
10 thermocouple permettant de générer un courant permanent alimentant ladite balise et, de préférence rechargeant en continu une dite batterie ou super condensateur (5e).

 12. Navire ou support flottant selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que lesdites balises (5,5-1,5-2) sont solidaires du
15 pont (4a) du navire et/ou d'une paroi latérale (2a-1) du système de supportage et d'isolation (2a) des parois (2,2) de ladite grande cuve (2) à l'intérieur de la coque (4) du navire en vis-à-vis d'une paroi de bordé (4b) de la coque, lesdites balises étant situées à proximité d'angles (2c,2d) de ladite grande cuve à ses extrémités longitudinales.

20 13. Navire ou support flottant selon la revendication 12, caractérisé en ce que lesdites balises sont positionnées en regard d'un dièdre (2d) formé par les angles d'une paroi latérale longitudinale verticale (2f), d'une paroi transversale verticale (2g) et d'une paroi de plafond (2e) de ladite grande cuve ou un trièdre (2c) formé par deux
25 plans (2e-1,2e-2) d'une paroi de plafond (2e) de ladite grande cuve, disposés angulairement l'un par rapport à l'autre et une paroi latérale verticale transversale (2g) de ladite grande cuve.

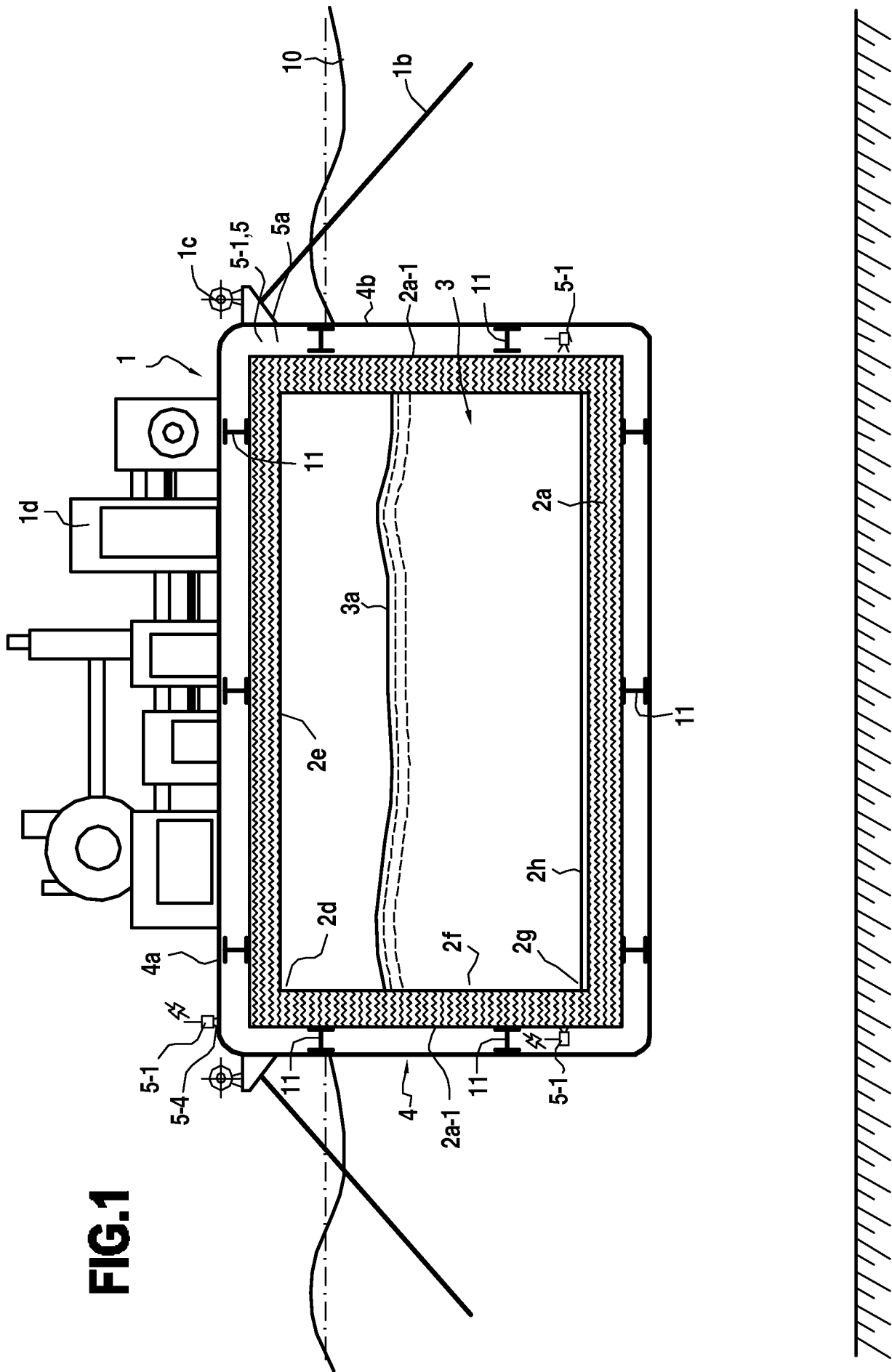
 14. Navire ou support flottant selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce qu'il s'agit d'un ancien navire de transport du type
30 méthanier converti en navire de stockage flottant ancré à poste fixe , dont le niveau de remplissage d'au moins un de ses cuves est déterminé

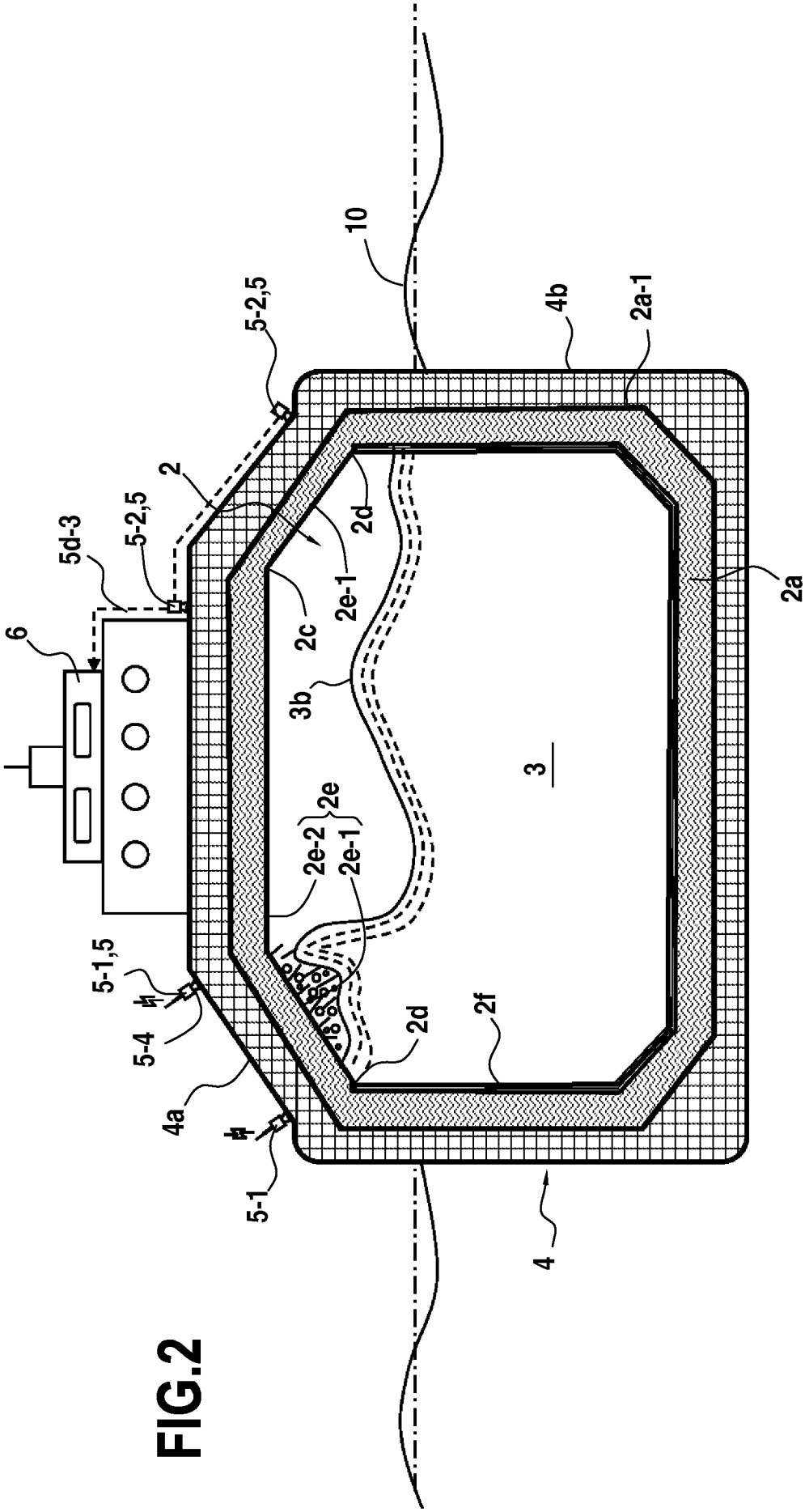
en fonction de l'agitation du liquide qu'elle contient telle que détectée et calculée par un dit dispositif de détection d'agitation de liquide (5).

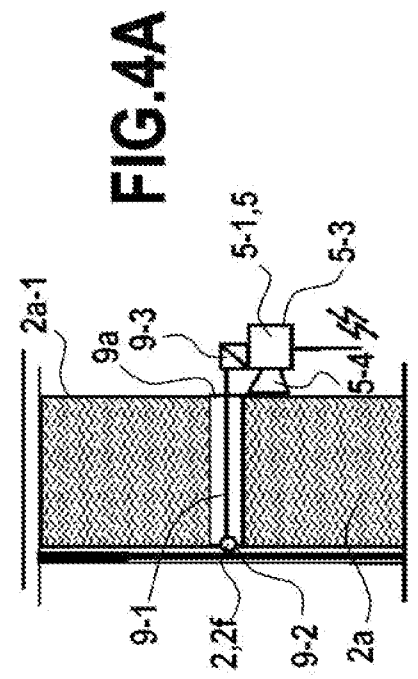
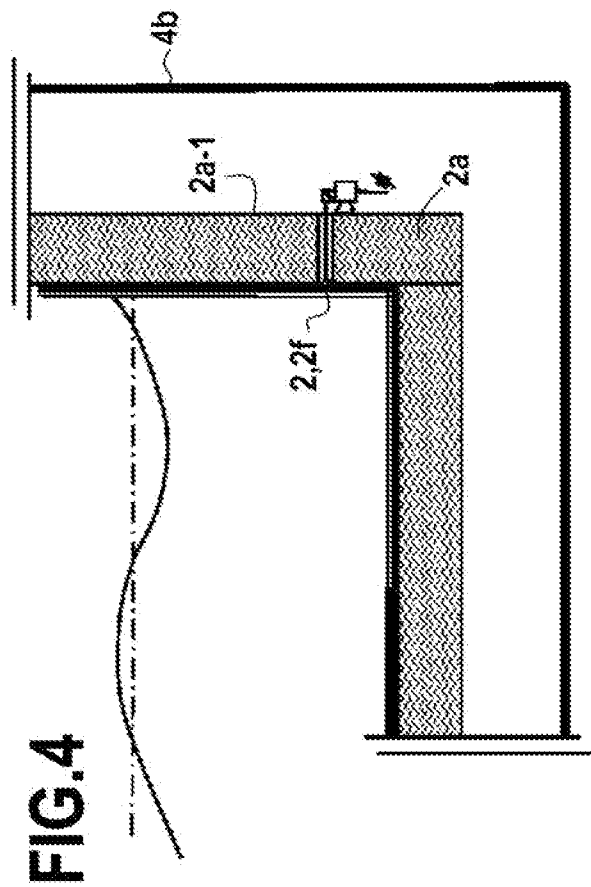
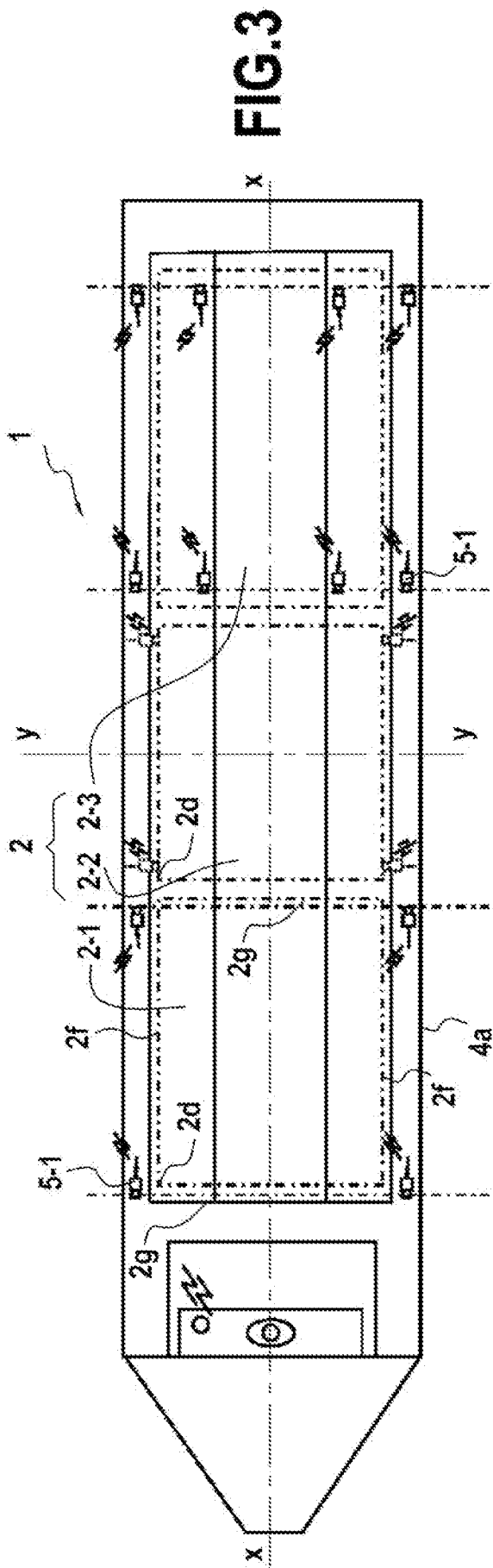
15. Procédé de détection de l'agitation de carène liquide au sein de cuve(s) d'un navire selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé
5 en ce qu'il comprend les étapes successives dans lesquelles :

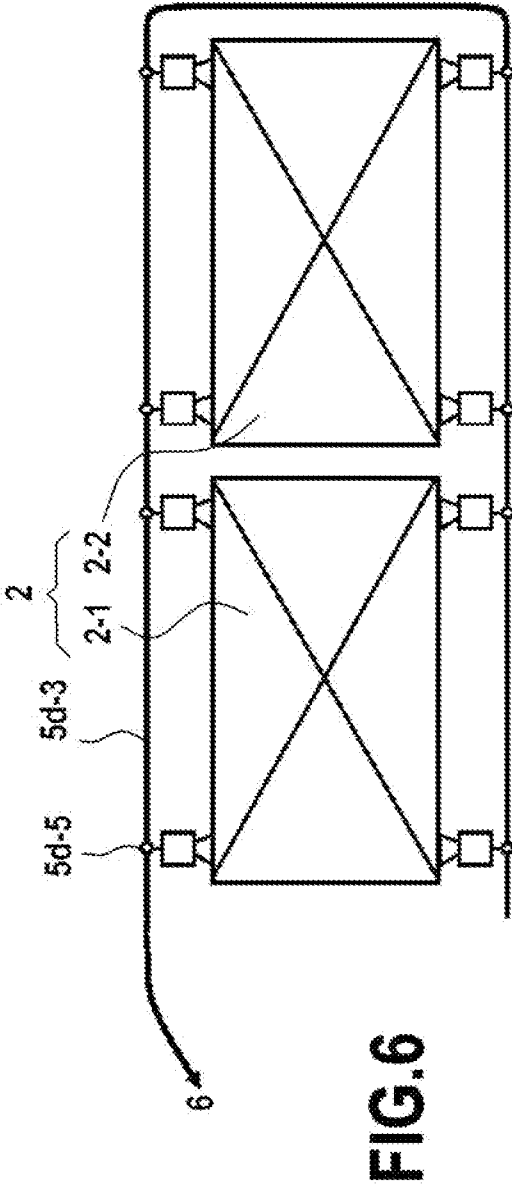
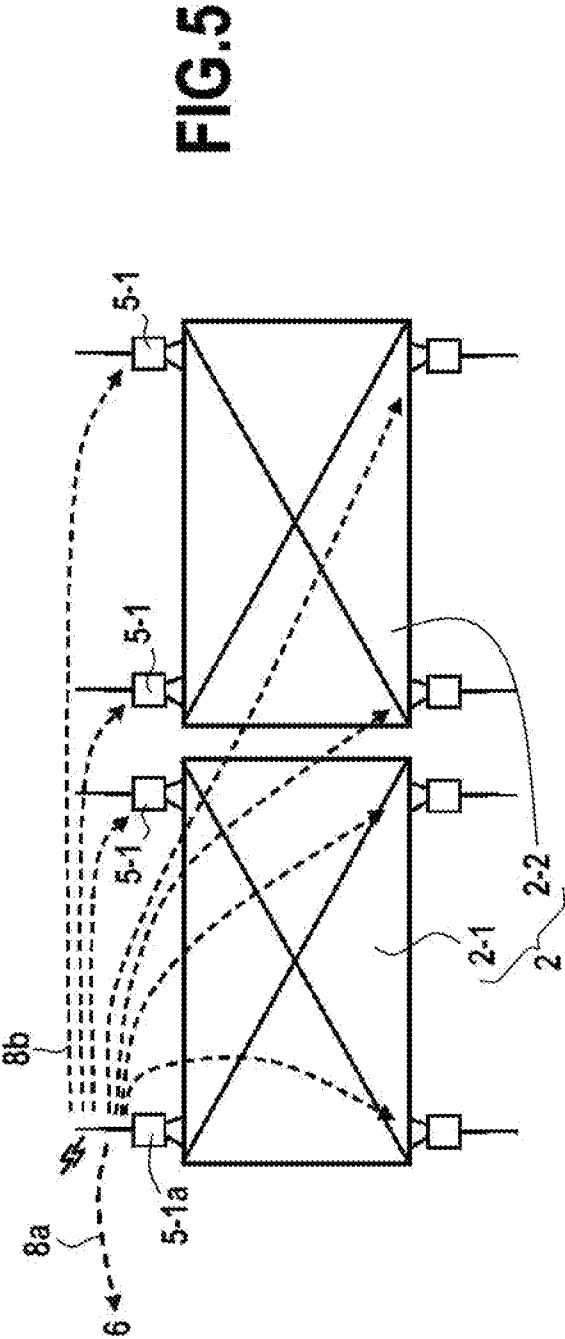
1) On réalise ledit traitement du signal, de préférence après avoir activé une dite unité de calcul électronique lorsqu'une valeur seuil de mouvement du navire est atteinte et,

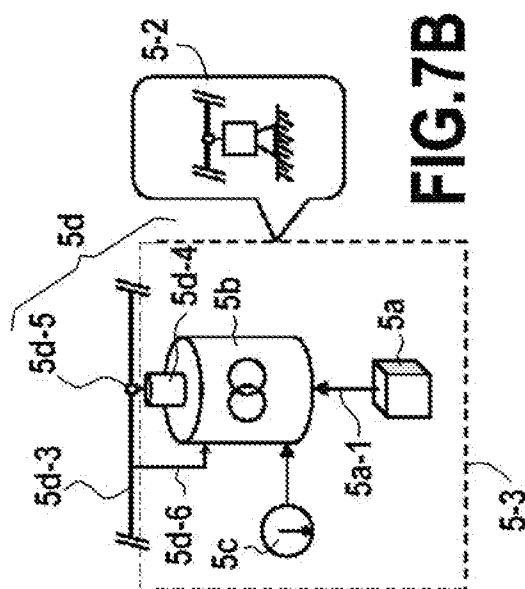
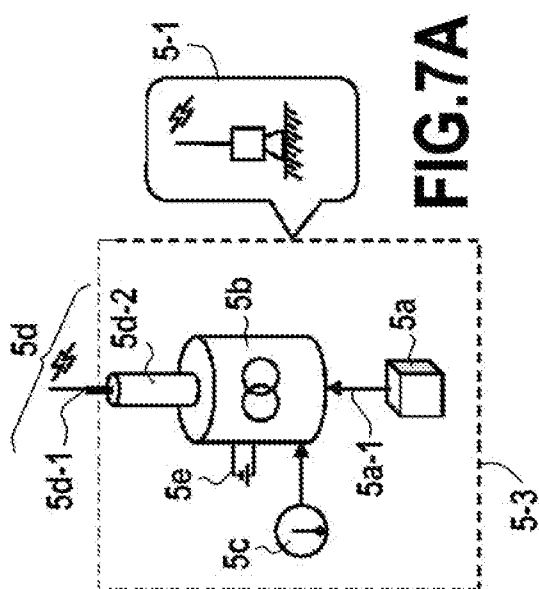
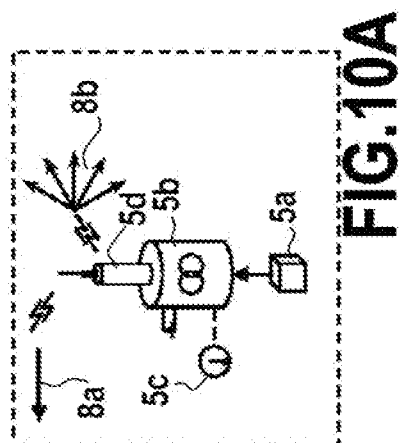
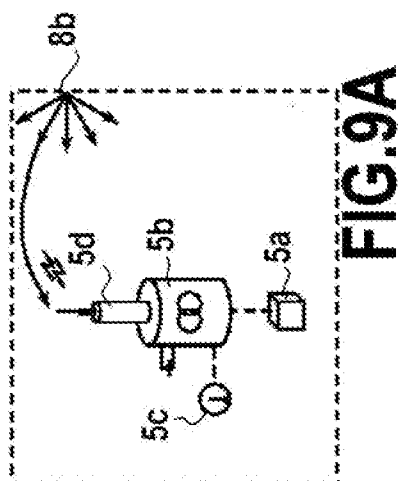
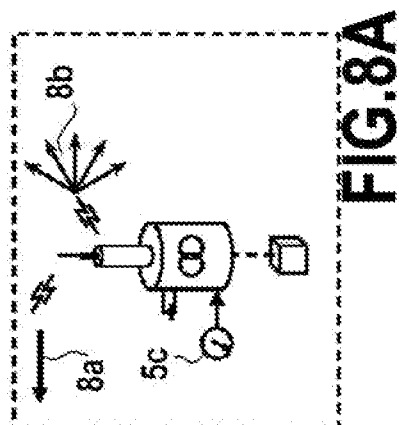
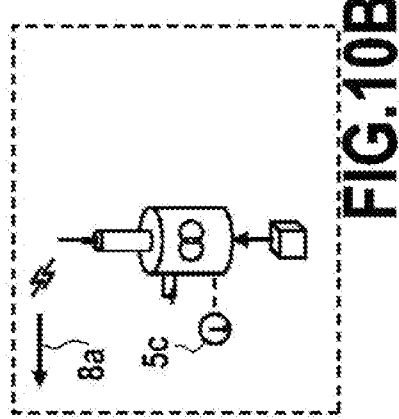
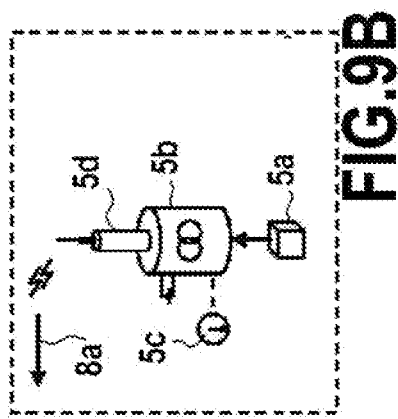
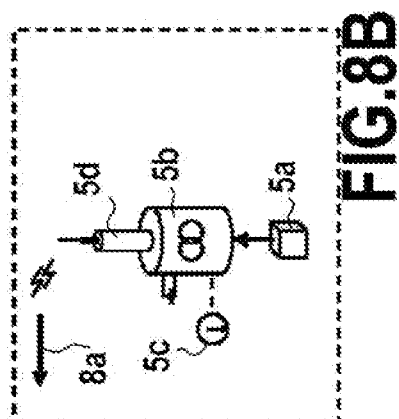
2) On réalise ladite transmission des valeurs obtenues à l'étape 1)
10 depuis ladite unité de calcul électronique (5b) jusqu'à une dite unité centrale (6).











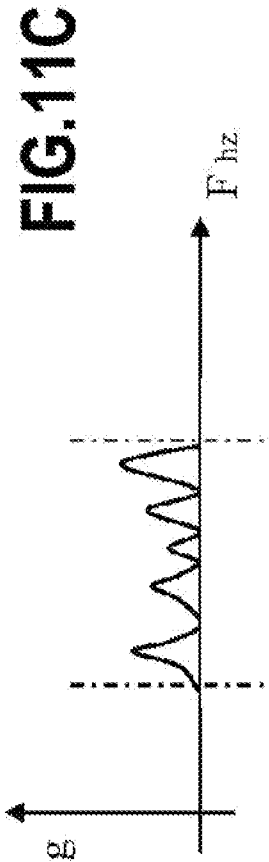
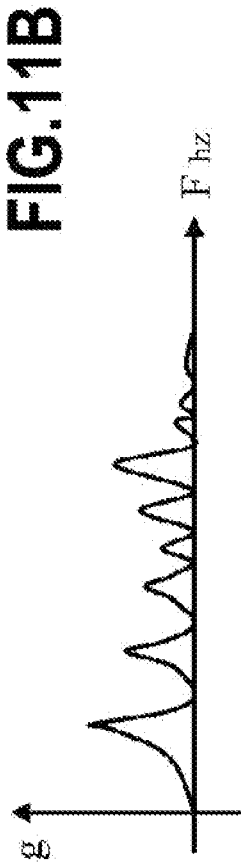
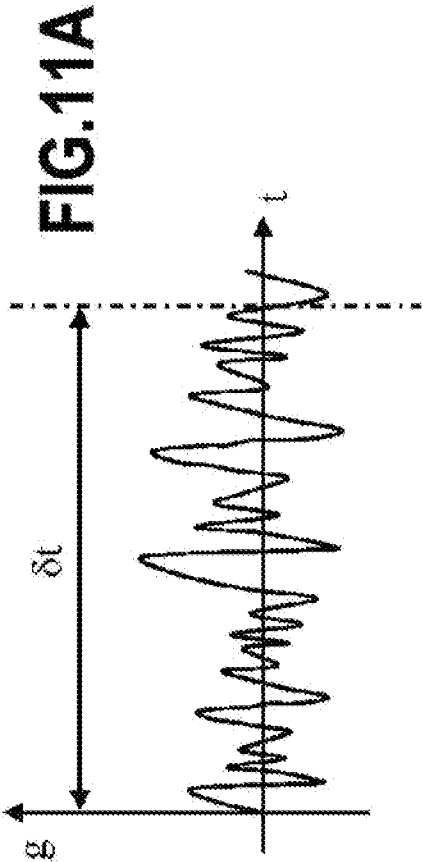
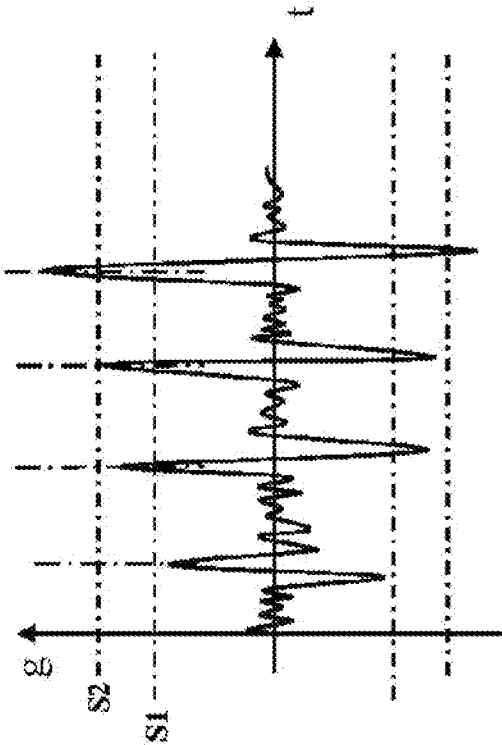
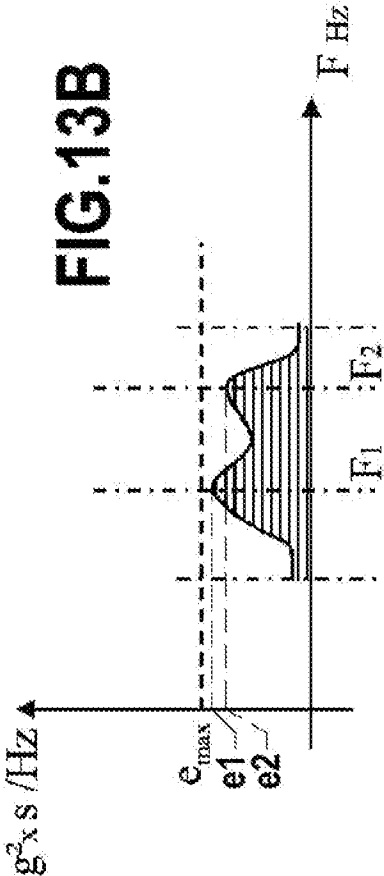
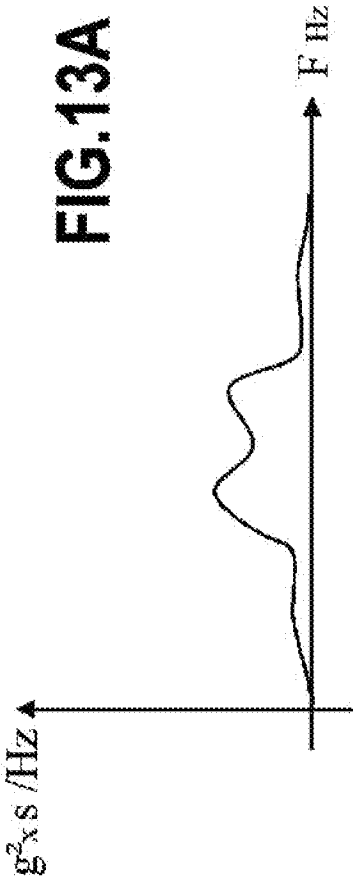
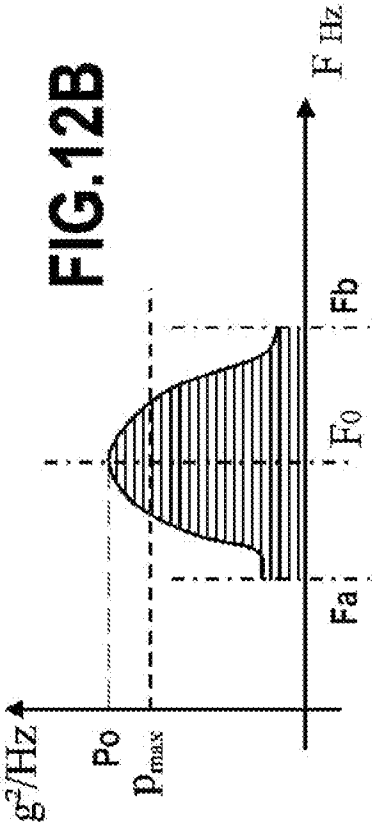
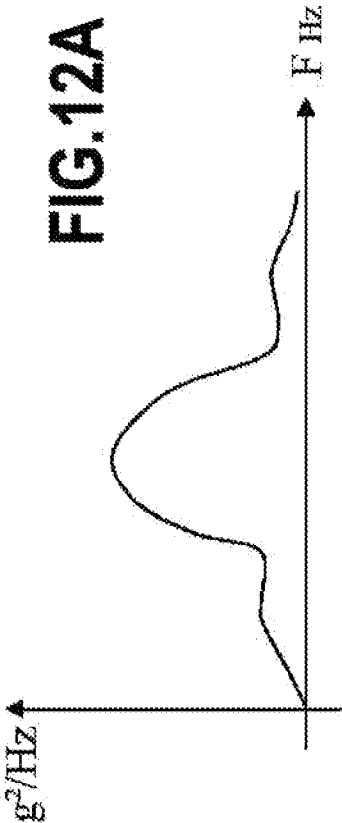


FIG.11D





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2010/050881

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. B63B25/14 B63B25/16 B63B39/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B63B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EP0-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008/076168 A1 (EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO [US]; BALASUBRAMANIAN SATHISH [US]) 26 June 2008 (2008-06-26) paragraph [0010]; figures 7a,7b -----	1
A	US 6 339 996 B1 (CAMPBELL STEVEN [CA]) 22 January 2002 (2002-01-22) paragraph [0075] paragraph [0006] -----	1
A	WO 2008/133785 A1 (EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO [US]; LINER DAVID A [US]) 6 November 2008 (2008-11-06) paragraph [0040] paragraph [0025] paragraph [0003] figures paragraph [0005] ----- -/--	1

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 July 2010

Date of mailing of the international search report

04/08/2010

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lindner, Volker

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2010/050881

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2002/035957 A1 (FISCHER FERDINAND J [US]) 28 March 2002 (2002-03-28) paragraph [0064] paragraph [0003] the whole document -----	1
A	GB 2 362 698 A (MARCONI GEC LTD [GB]; BAE SYS ELECTRONICS LTD [GB]) 28 November 2001 (2001-11-28) the whole document -----	1
A	US 6 301 572 B1 (HARRISON GREGORY A [US]) 9 October 2001 (2001-10-09) the whole document -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2010/050881

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2008076168	A1	26-06-2008	CA 2670350 A1	26-06-2008
			EP 2091810 A1	26-08-2009
			JP 2010513148 T	30-04-2010
			KR 20090098819 A	17-09-2009
			US 2010018453 A1	28-01-2010
US 6339996	B1	22-01-2002	NONE	
WO 2008133785	A1	06-11-2008	CN 101668677 A	10-03-2010
			EP 2148808 A1	03-02-2010
			KR 20100015894 A	12-02-2010
			US 2010083671 A1	08-04-2010
US 2002035957	A1	28-03-2002	US 2003131777 A1	17-07-2003
GB 2362698	A	28-11-2001	NONE	
US 6301572	B1	09-10-2001	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2010/050881

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. B63B25/14 B63B25/16 B63B39/00
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

B63B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 2008/076168 A1 (EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO [US]; BALASUBRAMANIAN SATHISH [US]) 26 juin 2008 (2008-06-26) alinéa [0010]; figures 7a,7b -----	1
A	US 6 339 996 B1 (CAMPBELL STEVEN [CA]) 22 janvier 2002 (2002-01-22) alinéa [0075] alinéa [0006] -----	1
A	WO 2008/133785 A1 (EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO [US]; LINER DAVID A [US]) 6 novembre 2008 (2008-11-06) alinéa [0040] alinéa [0025] alinéa [0003] figures alinéa [0005] ----- -/--	1



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

28 juillet 2010

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

04/08/2010

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Lindner, Volker

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2010/050881

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2002/035957 A1 (FISCHER FERDINAND J [US]) 28 mars 2002 (2002-03-28) alinéa [0064] alinéa [0003] le document en entier -----	1
A	GB 2 362 698 A (MARCONI GEC LTD [GB]; BAE SYS ELECTRONICS LTD [GB]) 28 novembre 2001 (2001-11-28) le document en entier -----	1
A	US 6 301 572 B1 (HARRISON GREGORY A [US]) 9 octobre 2001 (2001-10-09) le document en entier -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2010/050881

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2008076168 A1	26-06-2008	CA 2670350 A1	26-06-2008
		EP 2091810 A1	26-08-2009
		JP 2010513148 T	30-04-2010
		KR 20090098819 A	17-09-2009
		US 2010018453 A1	28-01-2010
US 6339996 B1	22-01-2002	AUCUN	
WO 2008133785 A1	06-11-2008	CN 101668677 A	10-03-2010
		EP 2148808 A1	03-02-2010
		KR 20100015894 A	12-02-2010
		US 2010083671 A1	08-04-2010
US 2002035957 A1	28-03-2002	US 2003131777 A1	17-07-2003
GB 2362698 A	28-11-2001	AUCUN	
US 6301572 B1	09-10-2001	AUCUN	