

Description

Titre de l'invention : Méthode et dispositif de détermination du ballotement

Domaine technique

[0001] L'invention se rapporte au domaine des méthodes et dispositif de détermination du ballotement, en particulier de détermination du ballotement de chargement liquide des navires.

Arrière-plan technologique

[0002] Durant son stockage et/ou son transport, le liquide contenu dans une cuve est soumis à différents mouvements. En particulier, les mouvements en mer d'un navire comprenant la cuve, par exemple sous l'effet des conditions climatiques telles que l'état de la mer ou le vent, entraînent une agitation du liquide dans la cuve. L'agitation du liquide, généralement désignée sous le terme de « sloshing » ou ballotement, engendre des contraintes sur les parois de la cuve qui peuvent nuire à l'intégrité de la cuve. Or, l'intégrité de la cuve est particulièrement importante dans le cadre d'une cuve de GNL de par la nature inflammable ou explosive du liquide transporté et le risque de point froid sur la coque en acier de l'unité flottante.

[0003] On connaît une méthode décrite par US8643509 pour déterminer un risque d'endommagement de la cuve engendré par le ballotement du liquide et alerter un conducteur du navire lorsque le risque d'endommagement dépasse un seuil prédéterminé. La méthode détermine le risque d'endommagement engendré par le ballotement en fonction des états de mer auxquels est soumis le navire, qui sont déterminés à partir des conditions climatiques et océaniques, et d'un modèle numérique du navire.

Résumé

[0004] Les présents inventeurs ont constaté qu'une prise en compte précise des états de mer est complexe à mettre en œuvre dans un modèle numérique étant donné le nombre important des états mer possibles, notamment l'existence de conditions de mer multimodales dans certaines circonstances.

[0005] Une idée à la base de l'invention est de déterminer le ballotement du liquide contenu dans le navire par une méthode relativement économique en temps de calcul et en ressources de calcul. Pour cela, une autre idée à la base de cette invention est de fournir une méthode de détermination du ballotement par détermination d'un état de mer moins complexe pour réduire le temps de calcul sans diminuer la fiabilité de détermination du ballotement.

[0006] Selon un mode de réalisation, l'invention fournit un procédé de détermination du bal-

lotement d'un chargement liquide d'un navire, ledit procédé comprenant :
une étape de détermination d'une excitation monomodale en fonction d'un état de la houle et d'un état de mer du vent auxquels est soumis ledit navire,
une étape de détermination d'une donnée relative au ballotement dudit chargement en fonction de l'excitation monomodale.

- [0007] Le procédé est avantageux en ce qu'il détermine une excitation monomodale équivalente à une excitation multimodale comprenant l'état de houle et l'état de mer du vent. Le ballotement est ainsi déterminé pour une excitation monomodale équivalente et non à partir de l'excitation multimodale, qui serait bien plus complexe à modéliser par le calcul ou par l'expérience. Le procédé est ainsi moins gourmand en ressources calculatoires et nécessite moins de temps de calcul comparé à l'état de l'art.
- [0008] Selon des modes de réalisation, un tel procédé peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.
- [0009] L'étape de détermination du ballotement peut être réalisée de différentes manières. Selon un mode de réalisation, la donnée relative au ballotement est déterminée en fonction de l'excitation monomodale par consultation d'une base de données préalablement établie comportant des données représentant le ballotement en fonction de l'excitation monomodale. La base de données peut comprendre des niveaux de ballotement obtenus expérimentalement en laboratoire ou lors de campagnes de mesures embarquées en mer en fonction de l'excitation monomodale. Selon un autre mode de réalisation, la donnée relative au ballotement est déterminée par une modélisation numérique préalablement établie exprimant le ballotement en fonction de l'excitation monomodale.
- [0010] L'état de la houle et/ou l'état de mer du vent définissent des données environnementales du navire. Selon un mode de réalisation, L'état de la houle comprend une hauteur significative de la houle et/ou une période de pic de la houle et/ou une direction de la houle par rapport à un axe longitudinal du navire. Selon un mode de réalisation, l'état de mer du vent comprend une hauteur significative de mer du vent et/ou une période de pic de mer du vent et/ou une direction de mer du vent par rapport un axe longitudinal.
- [0011] Selon un mode de réalisation, l'état de la houle et/ou l'état de mer du vent sont déterminés en temps réel par des capteurs prévus dans le navire et configurés pour mesurer une hauteur significative de la houle et/ou une période de pic de la houle et/ou une direction de la houle et une hauteur significative de mer du vent et/ou une période de pic de mer du vent et/ou une direction de mer du vent.
- [0012] Selon un mode de réalisation, l'état de la houle et/ou l'état de mer du vent sont déterminés de façon indirecte à partir des conditions météorologiques et océaniques.
- [0013] Selon un mode de réalisation, l'état de la houle et/ou l'état de mer du vent sont dé-

terminés par prédiction météorologique.

- [0014] L'excitation monomodale peut être déterminée de différentes manières. Selon un mode de réalisation, l'état de la houle comprend une hauteur significative la houle et l'état de mer du vent comprend une hauteur significative de mer du vent, et l'excitation monomodale présente une hauteur significative totale égale à une moyenne quadratique de ladite hauteur significative la houle et de ladite hauteur significative de mer du vent.
- [0015] Selon un mode de réalisation, l'état de la houle comprend une période de pic de la houle et l'état de mer du vent comprend une période de pic de mer du vent, et l'excitation monomodale présente une période de pic totale égale à l'une parmi la période de pic de la houle et la période de pic de mer du vent sélectionnée en tant que la période engendrant le ballotement du chargement le plus sévère. Dans ce cas, le procédé peut comprendre une étape pour sélectionner la période de pic totale parmi la période de pic de la houle et la période de pic de mer du vent par :
- une première consultation de base de données, par exemple données acquises par l'expérimentation, pour déterminer un premier ballotement engendré par la période de pic de la houle ,
 - une deuxième consultation de base de données pour déterminer un deuxième ballotement engendré par la période de pic de mer de vent, et
 - une détermination du ballotement le plus sévère parmi le premier ballotement et le deuxième ballotement.
- [0016] Selon un mode de réalisation, l'état de la houle comprend une direction de la houle et l'état de mer du vent comprend une direction de mer du vent, et l'excitation monomodale présente une direction totale équivalente à l'une parmi la direction de la houle et la direction de mer du vent la plus proche d'une direction perpendiculaire à l'axe longitudinal du navire.
- [0017] Selon un mode de réalisation, le procédé comporte une étape de détermination d'une probabilité d'endommagement d'une cuve du navire comprenant la totalité ou une partie du chargement en fonction de la donnée relative au ballotement et d'un niveau de remplissage de ladite cuve. En particulier, la probabilité d'endommagement est relative à une densité de probabilité de rencontrer une pression sur une surface interne de la cuve supérieure à une résistance interne de la cuve en fonction de la donnée relative au ballotement et du niveau de remplissage de la cuve.
- [0018] En particulier, le niveau de remplissage de la cuve peut être déterminée par des capteurs de niveau de remplissage agencés dans ladite cuve.
- [0019] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape d'émission d'un signal sonore ou visuel pour un opérateur du navire lorsque la donnée relative au ballotement est supérieure à un seuil prédéterminé.

- [0020] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre une étape consistant à détecter que le navire est soumis à une excitation significativement multimodale. Dans ce cas, une excitation significativement multimodale est détectée lorsque :
- la hauteur significative de la houle et de la hauteur significative de mer du vent sont non nulles, et
 - une différence entre la direction de la houle et de la direction de mer du vent est supérieure à 15° , et
 - la hauteur significative de la houle et la hauteur significative de mer du vent sont inférieures à 85% d'une moyenne quadratique de la hauteur significative de la houle et de la hauteur significative de mer du vent.
- [0021] Selon ce mode de réalisation, le procédé comprend suite à la détection que le navire est soumis à une excitation significativement multimodale, une étape de détermination d'une donnée relative au ballotement en fonction de l'état de mer du vent et l'état de la houle de l'excitation significativement multimodale. Le procédé peut comporter en outre, en réponse à la détection que le navire n'est pas soumis à une excitation significativement multimodale, une étape de détermination de la donnée relative au ballotement du chargement en fonction d'une excitation monomodale recombinaison correspondant à l'état de la houle et l'état de mer du vent. Dans ce cas, l'excitation monomodale recombinaison est fournie par des services météorologiques ou océaniques.
- [0022] Selon un mode de réalisation, le liquide est un gaz liquéfié, par exemple du gaz naturel liquéfié.
- [0023] Selon un autre aspect de l'invention, il est proposé un dispositif de détermination du ballotement d'un chargement liquide d'un navire, ledit dispositif comprenant un processeur configuré pour mettre en œuvre le procédé précité.
- [0024] Un tel dispositif ou procédé de détermination du ballotement peut être installé dans une structure flottante, côtière ou en eau profonde, notamment un navire méthanier, une unité flottante de stockage et de regazéification (FSRU), une unité flottante de production et de stockage déportée (FPSO), une barge et autres. En outre, un tel dispositif ou procédé de détermination du ballotement peut être implémenté pour le dimensionnement de la structure flottante en particulier le dimensionnement d'une cuve d'un navire ou dudit navire en fonction de la donnée relative au ballotement du chargement déterminée par un tel dispositif ou un tel procédé. Un tel dispositif ou procédé de détermination du ballotement peut aussi être implémenté pour déterminer des consignes de navigation par exemple une vitesse du navire, une direction, à exécuter automatiquement ou par un conducteur du navire, afin de réduire ou d'éviter un niveau de ballotement du navire.
- [0025] Selon un autre aspect de l'invention, il est proposé un navire par exemple pour le transport d'un produit liquide froid tel que le gaz naturel liquéfié, comportant au

moins une cuve comprenant un chargement et le dispositif de détermination du ballotement précité.

Brève description des figures

- [0026] L'invention sera mieux comprise, et d'autres buts, détails, caractéristiques et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement au cours de la description suivante de plusieurs modes de réalisation particuliers de l'invention, donnés uniquement à titre illustratif et non limitatif, en référence aux dessins annexés.
- [0027] [Fig.1] la figure 1 est une représentation schématique en coupe longitudinale d'un navire comportant une pluralité de cuves comprenant un chargement liquide.
- [0028] [Fig.2] la figure 2 est une représentation schématique d'un état de mer du vent et d'un état de houle auxquels peut être soumis le navire de la figure 1.
- [0029] [Fig.3] la figure 3 est une représentation schématique d'un procédé de détermination du ballotement du navire de la figure 1.
- [0030] [Fig.4] la figure 4 est une représentation schématique d'un dispositif de détermination du ballotement du navire de la figure 1.

Description des modes de réalisation

- [0031] Les figures sont décrites ci-après dans le cadre d'un navire 1 comportant une double coque formant une structure porteuse dans laquelle sont agencées une pluralité de cuves étanches et thermiquement isolantes. Une telle structure porteuse présente par exemple une géométrie polyédrique, par exemple de forme prismatique.
- [0032] De telles cuves étanche et thermiquement isolante sont prévues par exemple pour le transport de gaz liquéfié. Le gaz liquéfié est stocké et transporté dans de telles cuves à une température basse ce qui nécessite des parois de cuve thermiquement isolantes afin de maintenir le gaz liquéfié à cette température. Il est donc particulièrement important de maintenir intacte l'intégrité des parois de cuves d'une part pour conserver l'étanchéité de la cuve et éviter les fuites de gaz liquéfié hors des cuves et, d'autre part, éviter les dégradations des caractéristiques isolantes de la cuve afin de maintenir le gaz sous sa forme liquéfiée.
- [0033] De telles cuves étanches et thermiquement isolantes comportent aussi une barrière isolante ancrée sur la double coque de navire et portant au moins une membrane étanche. A titre d'exemple, de telles cuves peuvent être réalisées selon les technologies de type Mark III®, tel que décrit par exemple dans FR2691520, de type NO96® tel que décrit par exemple dans FR2877638, ou autre tel que décrit par exemple dans WO14057221.
- [0034] La figure 1 illustre un navire 1 comportant quatre cuves 2 étanches et thermiquement isolantes. Sur un tel navire 1, les cuves 2 sont connectées entre elles par un système de manutention de cargaison (non illustré) pouvant inclure de nombreux composants, par

exemple des pompes, des vannes et des conduites de manière à permettre le transfert de liquide depuis l'une des cuves 2 vers une autre cuve 2.

- [0035] Les quatre cuves 2 présentent sur la figure 1 un état de remplissage initial. Dans cet état initial, les cuves sont partiellement remplies. Une première cuve 3 est remplie à environ 60% de sa capacité. Une deuxième cuve 4 est remplie à environ 35% de sa capacité. Une troisième cuve 5 est remplie à environ 35% de sa capacité. Une quatrième cuve 6 est remplie à environ 40% de sa capacité.
- [0036] Ce remplissage partiel des cuves 3, 4, 5, 6 peut engendrer des risques important d'endommagement desdites cuves 3, 4, 5, 6 lorsque le navire 1 navigue en mer. En effet, lorsqu'il est en mer, le navire 1 est sujet à de nombreux mouvements liés aux conditions de navigation.
- [0037] En particulier, le navire 1 est sujet d'une part à une première excitation de mer du vent représentée par l'axe 10 et à une deuxième excitation de la houle représentée par l'axe 12 sur la Fig.2. La mer du vent induit des vagues ayant une direction de mer du vent parallèle à l'axe 10 par rapport à un axe longitudinal 16 du navire 1, une hauteur significative de mer du vent et une période de pic de mer du vent. De façon similaire, la houle provoque des vagues ayant une direction de la houle parallèle à l'axe 12 par rapport à l'axe longitudinal 16, une hauteur significative de la houle et une période de pic de la houle. La rencontre des vagues induites par la houle et la mer du vent engendre une excitation multimodale du navire 1 provoquant les mouvements du navire 1. Ces mouvements du navire 1 se répercutent sur le liquide contenu dans les cuves 3, 4, 5, 6 qui, en conséquence, est sujet à du ballotement dans les cuves 3, 4, 5, 6 en produisant des impacts sur les parois de cuves. Lorsque le ballotement dépasse la capacité des parois de cuves à absorber ou disperser le ballotement, les impacts sur les parois de cuves 3, 4, 5, 6 peuvent dégrader les parois de cuves 3, 4, 5, 6. Or il est important de conserver l'intégrité des parois de cuves 3, 4, 5, 6 pour conserver l'étanchéité et les caractéristiques d'isolation des cuves 3, 4, 5, 6. Il est donc important de déterminer le ballotement afin d'éviter de telles dégradations.
- [0038] Pour cela, un procédé 200, représenté sur la Fig.3, de détermination du ballotement peut être mis en œuvre par le navire 1 pour estimer une excitation monomodale représentée par l'axe 14 sur la Fig.2 équivalente à l'excitation totale du navire 1 provoquée par la rencontre de l'excitation de mer du vent 10 et l'excitation de la houle 12.
- [0039] Le procédé 200 comprend les étapes suivantes :
- étape 202 : acquisition d'un état de mer du vent comprenant la hauteur significative de mer du vent $Hs_{windsea}$, la période de pic de mer du vent $Tp_{windsea}$ et la direction de mer du vent $Hg_{windsea}$ par rapport à l'axe longitudinal 16,

étape 204 : acquisition d'un état de la houle comprenant la hauteur significative de la houle Hs_{swell} , la période de pic de la houle Tp_{swell} et la direction de la houle Hg_{swell} par rapport à l'axe longitudinal 16,

étape 206 : détermination de l'excitation monomodale par détermination d'une hauteur totale Hs_{tot} , la période de pic totale Tp_{tot} et la direction totale Hg_{tot} , en fonction de l'état de mer du vent et de l'état de la houle,

étape 208 : détermination d'une donnée relative au ballotement du liquide compris dans le navire 1 en fonction de l'excitation monomodale déterminée à l'étape 206.

- [0040] Selon un mode de réalisation, les étapes 202 et 204 sont réalisées par acquisition de mesures relatives à l'état de mer du vent et à l'état de la houle par des capteurs déployés dans le navire 1. Alternativement, les étapes 202 et 204 sont réalisées par acquisition de prédictions de l'état de la houle et l'état de mer du vent préalablement déterminés.
- [0041] Selon un mode de réalisation, la hauteur totale Hs_{tot} est déterminée à l'étape 206 par résolution de l'équation suivante :
- [0042] [Math.1]
- $$Hs_{tot} = \sqrt{Hs_{windsea}^2 + Hs_{swell}^2}$$
- [0043] Selon un mode de réalisation, la période de pic totale Tp_{tot} est déterminée à l'étape 206 par détermination de la période de pic parmi celles de la houle Tp_{swell} et de la mer du vent $Tp_{windsea}$ engendrant le ballotement du chargement le plus sévère en excitation monomodale, par exemple par consultation d'une base de données ou par calcul numérique.
- [0044] Selon un mode de réalisation, la direction totale Hg_{tot} est déterminée à l'étape 206 par détermination de la direction parmi la direction de la houle Hg_{swell} et la direction de mer du vent $Hg_{windsea}$ la plus proche d'une direction perpendiculaire 18 à l'axe longitudinal 16 du navire 1. Dans un cas où ces deux directions sont symétriques par rapport à la direction perpendiculaire 18, on retient l'excitation qui vient de l'avant du navire.
- [0045] L'étape 208 peut être réalisée par consultation d'une base de données préalablement établie pour le navire 1 ou par calcul numérique à partir d'une modélisation numérique préalablement établie exprimant le ballotement en fonction de l'excitation monomodale 14.
- [0046] Selon un mode de réalisation, le procédé 200 comprend une étape 210 de détermination d'un risque d'endommagement $Risk_{ope}$ d'une cuve 2 en fonction de la donnée relative au ballotement déterminée à l'étape 208 et le niveau de remplissage de ladite cuve 2. En particulier, le risque d'endommagement $Risk_{ope}$ est déterminé par l'équation

suivante :

[0047] [Math.2]

$$Risk_{ope} = \int_0^{surf t_{ope}} \int_0^{surf} prob_{tk} (Pres_{surf} > Res_{surf}, SC(fl)) . dt . dsurf$$

[0048] avec SC étant un niveau de ballotement engendré par la donnée relative au ballotement pour le niveau de remplissage fl de la cuve,

$prob_{tk}$ représente la densité de probabilité de rencontrer une pression $Pres_{surf}$ sur une surface interne de la cuve supérieure à la résistance Res_{surf} de ladite surface interne de la cuve en fonction du niveau de ballotement $SC(fl)$,

$surf$ est la surface interne de la cuve impactée par le liquide, et

t_{ope} est la durée d'opération de navigation du navire 1 soumis à l'état de mer du vent et la houle engendrant le niveau de ballotement $SC(fl)$ pour le niveau de remplissage fl .

[0049] La loi $prob_{tk}$ est une loi statistique par exemple de type GEV, Weibull, Pareto, Gumbel. Un, plusieurs ou l'ensemble des paramètres de cette loi sont par exemple définis à partir d'essais monomodaux de mouvement liquide en laboratoire ou de campagnes de mesures monomodales à la mer.

[0050] La figure 4 illustre un dispositif 300 de détermination du ballotement pouvant être embarqué sur le navire 1. Ce dispositif 300 comporte une unité centrale 302 configurée pour réaliser les différentes étapes du procédé 200 pour déterminer la donnée relative au ballotement du navire et/ou le risque d'endommagement d'une cuve 2 du navire 1.

[0051] L'unité centrale 302 est connectée à une pluralité de capteurs 304 embarqués permettant d'obtenir les différentes grandeurs indiquées ci-dessus. Ainsi, les capteurs 304 comportent, par exemples et de manière non exhaustive, un capteur de niveau de remplissage 306 de chaque cuve, différents capteurs 308 (accéléromètre, jauge de contrainte, jauge de déformation, son, lumière) permettant à l'unité centrale 302 via un algorithme dédié de détecter les impacts liés aux mouvements du liquide dans les cuves 3, 4, 5, 6, etc.

[0052] Le dispositif 300 comporte en outre une interface homme-machine 310. Cette interface homme machine 310 comporte un moyen d'affichage 312 permettant à un opérateur du navire 1 d'obtenir les différentes informations, par exemples des informations sur la donnée relative au ballotement déterminée en mettant en œuvre les étapes du procédé 200, le risque d'endommagement d'une des cuves 2 du navire 1, les grandeurs obtenues par les capteurs 308 telles que l'intensité des mouvements de liquide dans les cuves, des informations sur les impacts liés à ces mouvements de liquide, les mouvements du navire, l'état de chargement du navire ou encore des informations météorologiques.

- [0053] L'interface homme-machine 310 comporte en outre un moyen d'acquisition 314 permettant à l'opérateur de fournir manuellement des grandeurs à l'unité centrale 302, typiquement pour fournir à l'unité centrale 302 des données ne pouvant pas être obtenues par des capteurs car le navire ne comporte pas le capteur nécessaire ou que ce dernier est endommagé. Par exemple, dans un mode de réalisation, le moyen d'acquisition permet à l'opérateur d'entrer des informations sur l'état de mer du vent et/ou l'état de la houle.
- [0054] Le dispositif 300 comporte une base de données 316. Cette base de données 316 comporte par exemple certaines grandeurs obtenues en laboratoire ou lors de campagnes de mesures embarquées en mer. Par exemple, la base de données 316 peut comporter les données relatives au ballotement en fonction de l'excitation monomodale. En particulier, la base de données peut stocker des données représentatives des contraintes globales ou locales exercées sur la paroi de cuve, pour chaque valeur de d'amplitude, de fréquence et d'incidence de l'excitation monomodale. Ces données représentatives des contraintes exercées sur la paroi de cuve peuvent être par exemple une distribution de la pression exercée sur la paroi de cuve, à savoir la fonction P_{surf} .
- [0055] Dans un mode de réalisation, les calculs du risque d'endommagement sont également préétablis et la base de données peut stocker directement des données représentatives du risque d'endommagement $Risk_{\text{ope}}$ pour chaque valeur de la hauteur significative, de période de pic et de direction de l'excitation monomodale.
- [0056] Le dispositif 300 comporte également une interface de communication 318 permettant à l'unité centrale 302 de communiquer avec des dispositifs distants par exemple pour obtenir des données météorologiques, des données de position du navire ou autre.
- [0057] Selon un mode de réalisation, l'unité centrale 302 est configurée pour déterminer une donnée de navigation, par exemple un cap du navire, une vitesse, etc., en fonction de la donnée relative au ballotement et/ou au risque d'endommagement.
- [0058] Certains éléments représentés, notamment l'unité de centrale 302, peuvent être réalisés sous différentes formes, de manière unitaire ou distribuée, au moyen de composants matériels et/ou logiciels. Des composants matériels utilisables sont les circuits intégrés spécifiques ASIC, les réseaux logiques programmables FPGA ou les microprocesseurs. Des composants logiciels peuvent être écrits dans différents langages de programmation, par exemple C, C++, Java ou VHDL. Cette liste n'est pas exhaustive.
- [0059] Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec plusieurs modes de réalisation particuliers, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci

entrent dans le cadre de l'invention.

[0060] L'usage du verbe « comporter », « comprendre » ou « inclure » et de ses formes conjuguées n'exclut pas la présence d'autres éléments ou d'autres étapes que ceux énoncés dans une revendication.

[0061] Dans les revendications, tout signe de référence entre parenthèses ne saurait être interprété comme une limitation de la revendication.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé (200) de détermination du ballotement d'un chargement liquide d'un navire (1), ledit procédé (200) comprenant :
- une étape (206) de détermination d'une excitation monomodale en fonction d'une excitation multimodale à laquelle est soumis ledit navire, l'excitation multimodale comprenant un état de la houle et un état de mer du vent, dans lequel l'état de la houle comprend une direction de la houle et l'état de mer du vent comprend une direction de mer du vent, et dans lequel l'excitation monomodale présente une direction totale équivalente à l'une parmi la direction de la houle et la direction de mer du vent la plus proche d'une direction perpendiculaire à l'axe longitudinal du navire,
- une étape (208) de détermination d'une donnée relative au ballotement dudit chargement en fonction de l'excitation monomodale, dans lequel la donnée relative au ballotement est déterminée en fonction de l'excitation monomodale par consultation d'une base de données préalablement établie, ladite base de données comportant des données relatives au ballotement exprimant le ballotement en fonction de l'excitation monomodale, dans lequel les données relatives au ballotement sont déterminées par des mesures expérimentales, et
- une étape (210) de détermination d'une probabilité d'endommagement d'une cuve (2) du navire (1) comprenant la totalité ou une partie du chargement en fonction de la donnée relative au ballotement et d'un niveau de remplissage de ladite cuve,
- dans lequel la probabilité d'endommagement est relative à une densité de probabilité de rencontrer une pression sur une surface interne de la cuve supérieure à une résistance interne de la cuve en fonction de la donnée relative au ballotement et du niveau de remplissage de la cuve.
- [Revendication 2] Procédé (200) selon la revendication 1, dans lequel l'état de la houle comprend une hauteur significative de la houle et/ou une période de pic de la houle et/ou une direction de la houle par rapport à un axe longitudinal du navire.
- [Revendication 3] Procédé (200) selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, dans lequel l'état de mer du vent comprend une hauteur significative de mer du vent et/ou une période de pic de mer du vent et/ou une direction de mer du vent par rapport un axe longitudinal.
- [Revendication 4] Procédé (200) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans

lequel l'état de la houle comprend une hauteur significative la houle et l'état de mer du vent comprend une hauteur significative de mer du vent, et

dans lequel l'excitation monomodale présente une hauteur significative totale égale à une moyenne quadratique de ladite hauteur significative la houle et de ladite hauteur significative de mer du vent.

[Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'état de la houle comprend une période de pic de la houle et l'état de mer du vent comprend une période de pic de mer du vent, et dans lequel l'excitation monomodale présente une période de pic totale égale à l'une parmi la période de pic de la houle et la période de pic de mer du vent sélectionnée en tant que la période engendrant le ballotement du chargement le plus sévère.

[Revendication 6] Procédé selon la revendication 5, comprenant une étape pour sélectionner la période de pic totale parmi la période de pic de la houle et la période de pic de mer du vent par :
une première consultation de base de données pour déterminer un premier ballotement engendré par la période de pic de la houle ,
une deuxième consultation de base de données pour déterminer un deuxième ballotement engendré par la période de pic de mer de vent et,
une détermination du ballotement le plus sévère parmi le premier ballotement et le deuxième ballotement.

[Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comportant en outre une étape consistant à détecter que le navire est soumis à une excitation significativement multimodale.

[Revendication 8] Procédé selon la revendication 7, dans lequel une excitation significativement multimodale est détectée lorsque :
la hauteur significative de la houle et de la hauteur significative de mer du vent sont non nulles, et
une différence entre la direction de la houle et de la direction de mer du vent est supérieure à 15° , et
la hauteur significative de la houle et la hauteur significative de mer du vent sont inférieures à 85% d'une moyenne quadratique de la hauteur significative de la houle et de la hauteur significative de mer du vent.

[Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, comprenant une étape d'émission d'un signal sonore ou visuel pour un opérateur du navire lorsque la donnée relative au ballotement est supérieure à un seuil prédéterminé.

- [Revendication 10] Dispositif (300) de détermination du ballotement d'un chargement liquide d'un navire, ledit dispositif comprenant un processeur (302) configuré pour mettre en œuvre le procédé (200) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9.
- [Revendication 11] Navire (1) comprenant un dispositif (300) selon la revendication 10.