

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 19.12.12.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 20.06.14 Bulletin 14/25.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : *TECHNIP FRANCE Société par
actions simplifiée — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : CARMONA MIKAEL, JOUANET
LAURENT, SPRYNSKI NATHALIE, DELCROIX OLI-
VIER et LESTANC PATRICK.

⑦3 Titulaire(s) : TECHNIP FRANCE Société par actions
simplifiée.

⑦4 Mandataire(s) : OPILEX Société à responsabilité limi-
tée.

⑤4 PROCÉDE DE DETERMINATION DE LA COURBURE D'UNE STRUCTURE TUBULAIRE.

⑤7 L'invention concerne un procédé de détermination de
la courbure d'une structure tubulaire (50), comportant :

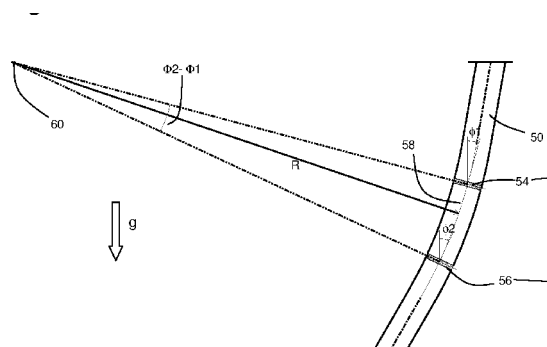
- la détermination de l'inclinaison de premier et deuxième
objets rigides (54, 56) fixés en des emplacements distincts,
comprenant pour chaque objet :

- la fourniture de deux accéléromètres (A-1,...AN) reliés
par l'objet et mesurant une accélération selon au moins une
direction de mesure (vj), les directions de mesure respec-
tives des accéléromètres étant non colinéaires ;
- la mesure des composantes du champ de gravité ter-
restre le long desdites directions de mesure ;
- la résolution de l'équation matricielle pour déterminer
l'inclinaison Φ de l'objet (54) :

$$M = A \begin{bmatrix} \cos(\phi) \\ -\sin(\phi) \sin(\eta) \\ -\sin(\phi) \cos(\eta) \end{bmatrix}$$

- la détermination de la courbure de la structure tubulaire
à partir des inclinaisons déterminées pour les premier et

deuxième objets.



PROCEDE DE DETERMINATION DE LA COURBURE D'UNE STRUCTURE TUBULAIRE

L'invention concerne un procédé de détermination de la courbure d'une
5 structure tubulaire. L'invention concerne également une structure tubulaire
instrumentée comportant un dispositif pour déterminer sa courbure.

La présente invention concerne notamment les structures tubulaires, en
particulier les structures tubulaires destinées au transport d'hydrocarbures
10 utilisées à distance des côtes. De telles tubulures sont typiquement des
conduites sous-marines. L'exploitation offshore d'un gisement pétrolier ou gazier
situé à grande profondeur est généralement faite à partir d'un système flottant
de production situé à la surface, par exemple à partir d'un FPSO (« Floating
Production Storage and Offloading ») ou d'une plateforme pétrolière flottante.
15 Or, ces systèmes flottants ne sont pas statiques et se déplacent sous l'effet des
courants, de la houle, des vagues et du vent. Par suite, les conduites sous-
marines utilisées pour faire remonter les hydrocarbures depuis le fond marin
jusqu'à la surface doivent être capables de se déformer pour accommoder les
mouvements du système flottant.

20 Ces conduites sont donc conçues pour résister durablement (20 ans et
plus) aux courbures et aux variations de courbures répétées qu'elles devront
subir en service. En l'absence de mesure, les courbures sont estimées par
calcul, ce qui conduit à prendre des marges de sécurité importantes et donc à
sur-dimensionner inutilement les conduites. C'est pourquoi il est souhaitable de
25 pouvoir mesurer en service la courbure d'une conduite, préférentiellement dans
les zones les plus sollicitées en fatigue, ce que vise la présente invention.

Dans le cas d'une conduite montante (« riser » en anglais) reliant le fond
marin à un support flottant, la zone la plus critique est généralement située en
partie supérieure, à proximité de la connexion avec le support flottant. En effet,
30 à cet endroit, la conduite subit d'une part une très forte tension liée à son poids
pendu (couramment plusieurs centaines de tonnes), et d'autre part de fortes
variations de courbure liées aux mouvements du support flottant. Ces
chargements statique et dynamique combinés peuvent générer à cet endroit un
phénomène de fatigue de la conduite. Selon la configuration de la conduite, il
35 peut y avoir d'autres zones critiques, notamment à proximité du point de contact
entre la conduite et le fond marin (« touch down point » en anglais). Les zones
critiques sont généralement sous-marines et peu accessibles du fait d'un
environnement hostile, ce qui complique le problème de mesure de courbure.

Le document WO2009/109745 décrit l'utilisation d'un inclinomètre fixé sur
40 la conduite et d'un système de positionnement fixé sur le support flottant. Le
document décrit la détermination de l'inclinaison relative de la conduite par

rapport au support flottant. Cependant ce document ne fournit aucune information détaillée sur la mesure d'inclinaison, ni sur la façon de déterminer la courbure à partir des mesures effectuées.

- 5 La présente invention vise à proposer une solution fiable et robuste de mesure de la courbure d'une structure tubulaire, permettant d'éviter de devoir accéder à cette structure tubulaire en environnement hostile.

L'invention porte ainsi sur un procédé de détermination de la courbure
10 d'une structure tubulaire, comportant :

- la détermination de l'inclinaison de premier et deuxième objets rigides dans un repère de référence fixe (X, Y, Z) par rapport à la direction du champ de gravité terrestre, lesdits objets rigides étant fixés en des emplacements distincts le long de ladite structure tubulaire, la détermination de l'inclinaison
15 de chacun desdits objets comprenant :
 - la fourniture de plusieurs accéléromètres reliés de façon rigide par l'objet, chacun de ces accéléromètres étant apte à mesurer une accélération selon au moins une direction de mesure, les directions de mesure respectives d'au moins deux desdits accéléromètres étant non
20 colinéaires ;
 - la mesure, par lesdits accéléromètres, des composantes du champ de gravité terrestre le long desdites directions de mesure, cette mesure fournissant, pour chacune desdites directions, une valeur de mesure, notée m_i pour une direction de mesure d'indice i ;
 - 25 - la résolution de l'équation matricielle suivante pour déterminer l'inclinaison Φ de l'objet (54) par rapport au repère de référence :

$$30 \quad M = A \begin{bmatrix} \cos(\phi) \\ -\sin(\phi) \sin(\eta) \\ -\sin(\phi) \cos(\eta) \end{bmatrix}$$

- avec M le vecteur dont la i -ième composante est définie par la mesure m_i ,
A une matrice définie par les directions de mesure des accéléromètres dans un référentiel solidaire de l'objet, et η un angle de rotation de ce
35 référentiel solidaire par rapport au référentiel fixe ;
- la détermination de la courbure de la structure tubulaire à partir des inclinaisons déterminées pour les premier et deuxième objets.

Selon une variante, au moins deux accéléromètres de chacun desdits
40 objets sont distants.

Selon encore une variante, la résolution de l'équation matricielle lors d'une détermination d'une inclinaison comprend la minimisation d'un critère $L(\Phi, \eta)$ défini par l'équation suivante :

$$L(\phi, \eta) = \left\| M - A \begin{bmatrix} \cos(\phi) \\ -\sin(\phi) \sin(\eta) \\ -\sin(\phi) \cos(\eta) \end{bmatrix} \right\|^2$$

10

Selon une autre variante, lesdits accéléromètres de chacun desdits objets sont au moins au nombre de quatre, sont répartis sur un cercle et présentent chacun une direction de mesure définie par le rayon reliant cet accéléromètre au centre du cercle.

15

Selon encore une autre variante, lesdits accéléromètres sont répartis de façon uniforme sur ledit cercle.

Selon une variante, les accéléromètres présentent un bruit statistique de mesure gaussien et centré, la résolution comprenant la minimisation d'un critère $L(\Phi, \eta)$ défini par l'équation suivante :

20
$$L(\theta, \eta) = (\sin(\phi) \underline{f}(\eta) - \underline{m})^T \times \underline{\Gamma}^{-1} \times (\sin(\phi) \underline{f}(\eta) - \underline{m})$$

avec $\underline{f}(\eta)$ un vecteur dont la i -ième composante est égale à $-\sin(\alpha_i + \eta)$, avec $\underline{\Gamma}$ une matrice de covariance correspondant aux bruits statistiques de mesure des accéléromètres pour lesdites directions de mesure.

25

Selon encore une variante, les bruits statistiques des accéléromètres sont statistiquement indépendants, et la matrice de covariance $\underline{\Gamma}$ est une matrice diagonale et définie positive dont le i -ième coefficient est égal à la variance σ_i^2 pour la i -ième direction de mesure.

30

Selon une autre variante, ladite structure tubulaire présente une accélération propre maximale par rapport au repère de référence au moins dix fois inférieure à l'amplitude du champ de gravité g , de préférence au moins vingt fois inférieure à l'amplitude du champ de gravité g durant lesdites mesures.

35

Selon encore une autre variante, lesdites inclinaisons utilisées pour la détermination de ladite courbure sont basées sur des mesures simultanées des accéléromètres des premier et deuxième objets.

Selon une variante, la courbure de la structure tubulaire entre les premier et deuxième objets est déterminée au moyen de la formule suivante :

$$k(S) = \frac{d\phi(s)}{ds}$$

40

où $k(S)$ est la courbure au point S d'abscisse curviligne s entre les premier et deuxième objets, $\phi(s)$ étant l'inclinaison de la structure tubulaire au point S d'abscisse curviligne s .

L'invention porte par ailleurs sur une structure déformable tubulaire, 5 comprenant :

- des premier et deuxième objets rigides ;
- pour chacun desdits objets, plusieurs accéléromètres reliés de façon rigide par leur objet respectif, chacun de ces accéléromètres étant apte à mesurer une composante du champ de gravité terrestre selon au moins une direction 10 de mesure pour fournir une valeur de mesure notée m_j pour une direction de mesure d'indice i , les directions de mesure respectives d'au moins deux desdits accéléromètres étant non colinéaires ;
- un dispositif de calcul programmé pour :
 - déterminer l'inclinaison Φ de chacun desdits premier et deuxième objets 15 par rapport à un repère de référence fixe par rapport à la direction du champ de gravité terrestre, par résolution de l'équation matricielle suivante :

$$20 \quad M = A \begin{bmatrix} \cos(\phi) \\ -\sin(\phi) \sin(\eta) \\ -\sin(\phi) \cos(\eta) \end{bmatrix}$$

- avec M le vecteur dont la i -ième composante est définie par la mesure m_j ,
 A une matrice définie par les directions de mesure des accéléromètres 25 dans un référentiel solide dudit objet, et η un angle de rotation de ce référentiel solide par rapport au référentiel fixe ;
- déterminer la courbure de la structure tubulaire entre lesdits premier et deuxième objets à partir des inclinaisons déterminées pour les premier et 30 deuxième objets.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est faite ci-après, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 illustre schématiquement un objet comportant un dispositif de 35 mesure de l'inclinaison de cet objet, cet objet présentant une inclinaison nulle par rapport à une direction verticale ;

-la figure 2 illustre schématiquement un dispositif de calcul de l'inclinaison de l'objet de la figure 1 ;

- la figure 3 est un organigramme d'un procédé d'utilisation du dispositif de 40 la figure 1 ;

-la figure 4 illustre schématiquement l'objet de la figure 1 dans une position inclinée par rapport à la direction verticale.

-la figure 5 illustre schématiquement, selon une vue de profil, une portion d'une structure tubulaire comportant deux objets selon la figure 1 ;

- 5 -les figures 6 et 7 illustrent schématiquement, selon des vues de profil une portion de structure tubulaire instrumentée dans deux positions différentes, d'une part une position courbée et d'autre part une position rectiligne.

10 Dans la présente demande, le terme 'structure tubulaire' couvre à la fois les conduites flexibles, les conduites rigides et les ombilicaux utilisés dans le domaine de l'exploitation pétrolière ou gazière, et d'autre part les accessoires du type raidisseur ou limiteur de courbure pouvant être fixés autour des conduites ou des ombilicaux. Ces conduites peuvent être de type flexible ou rigide en fonction de l'application.

15 Les conduites pétrolières offshore sont généralement utilisées pour transporter les hydrocarbures extraits d'un gisement, mais elles peuvent aussi être utilisées pour transporter de l'eau de mer pressurisée destinée à être injectée dans un gisement en vue d'augmenter la quantité d'hydrocarbures
20 extraite de ce dernier. Le diamètre intérieur de ces conduites pétrolières est typiquement compris entre 50mm et 500mm. Elles peuvent être utilisées à grande profondeur (couramment à plus de 1000m) et sont dans ce cas conçues pour résister à une pression externe très élevée. La pression des hydrocarbures transportés est couramment supérieure à 10 MPa et peut parfois atteindre 100
25 MPa. En outre, la température des hydrocarbures transportés est parfois supérieure à 100 °C, par exemple de l'ordre de 120 °C.

30 Les conduites pétrolières flexibles ont généralement une structure complexe. Elles comportent au moins une couche tubulaire flexible étanche renforcée par au moins un profilé enroulé hélicoïdalement. En général, la couche tubulaire flexible étanche est un tube en matériau polymère, et les profilés de renfort sont des fils en acier ou en matériau composite. De telles conduites flexibles sont notamment décrites dans le document normatif API RP
35 17B « Recommended Practice for Flexible Pipe » publié par l'American Petroleum Institute. Elles sont généralement utilisées dans les zones où une grande flexibilité est requise, notamment dans les zones très dynamiques des colonnes montantes.

40 Les conduites rigides sont généralement réalisées par assemblage par soudage ou vissage d'éléments tubulaires rigides en acier de forte épaisseur. Elles peuvent en outre comporter d'autres couches, notamment des couches d'isolation thermique ou de protection contre la corrosion. Les conduites rigides

peuvent aussi être réalisées en matériau composite, par exemple à partir d'un tube étanche de faible épaisseur renforcé par un chemisage en matériau composite. Les conduites rigides sont normalement réservées aux applications statiques, mais elles peuvent aussi être utilisées pour certaines applications faiblement dynamiques, notamment en combinaison avec des supports flottants présentant une grande stabilité.

Des conduites flexibles cryogéniques sont utilisées pour transporter du gaz naturel liquéfié (« GNL » en Français, « LNG » en anglais), typiquement depuis une unité de liquéfaction vers un navire de transport ou depuis un navire de transport vers une unité de stockage. La couche tubulaire flexible étanche de ces conduites flexibles est généralement un tube métallique ondulé de faible épaisseur.

Les ombilicaux sont des structures tubulaires comportant plusieurs composants parmi lesquels au moins un tube, les autres composants pouvant être des tubes, des câbles électriques, ou des câbles à fibre optique. Les composants sont assemblés entre eux par enroulement en hélice ce qui confère une grande flexibilité à l'ensemble. Les ombilicaux sont généralement utilisés pour piloter à partir de la surface des installations sous-marines du type tête de puits, vanne ou pompe. Ils peuvent aussi avoir d'autres fonctions et notamment servir à injecter dans les conduites pétrolières des fluides facilitant l'écoulement du pétrole ou encore des inhibiteurs de corrosion. Les ombilicaux sont notamment décrits dans le document normatif API RP 17E « Specification for Subsea Umbilicals » publié par l'American Petroleum Institute.

Le procédé de détermination de la courbure d'une structure tubulaire selon la présente invention est basé sur des mesures d'inclinaison pouvant être réalisées uniquement à l'aide d'accéléromètres. Les accéléromètres sont des capteurs robustes et économiques, ce qui constitue un premier avantage de l'invention. De plus, le procédé ne suppose aucune connaissance préalable sur la position angulaire absolue des accéléromètres par rapport à un repère de référence, ce qui permet d'éviter d'avoir à faire un tel étalonnage des mesures une fois la structure tubulaire installée sur site. En effet, les structures tubulaires visées par la présente invention sont généralement très difficiles d'accès une fois installées en mer. Par suite, un étalonnage des mesures d'inclinaison basé sur une comparaison avec d'autres mesures de référence effectuées sur site après installation serait complexe et prohibitive à mettre en œuvre. La suppression d'un tel étalonnage constitue donc un deuxième avantage de l'invention. En outre, les mesures d'inclinaison effectuées selon l'invention s'avèrent précises même pour de faibles valeurs d'inclinaison, ce qui permet de

déterminer une courbure et une fatigue d'une tubulure avec une grande précision, ce qui constitue un troisième avantage de l'invention.

On va dans un premier temps décrire un procédé de calcul d'inclinaison
5 mis en œuvre pour réaliser un calcul de courbure selon l'invention.

La figure 1 représente un objet 2 instrumenté, comportant un dispositif 4 configuré pour déterminer l'inclinaison de l'objet 2 par rapport à une direction de référence D. La direction de référence D est la direction selon laquelle s'applique la gravité à laquelle est soumis l'objet 2. Par exemple, l'objet 2 est
10 soumis à la gravité terrestre ; la direction de référence D est la direction du champ de gravité terrestre, représentée par le vecteur g et définissant une direction verticale.

L'objet 2 est dans l'exemple un solide considéré comme indéformable, c'est-à-dire que la distance séparant entre eux des points quelconques de l'objet
15 2 ne varie pas lorsque cet objet 2 subit un déplacement. Cet objet 2 est ici de forme cylindrique. On définit ici un repère orthonormé défini par les vecteurs U, V, W et solide de l'objet 2, U étant le vecteur de la direction de l'axe du cylindre (dans un cas général, on peut associer de façon arbitraire un repère orthonormé, à un objet pas nécessairement cylindrique). Pour simplifier, cet
20 objet 2 est dessiné en pointillés sur la figure 1 (et sur la figure 4). L'objet 2 peut par exemple être réalisé sous forme de collier indéformable destiné à être fixé sur une structure tubulaire déformable

Dans cette description, pour caractériser l'inclinaison de l'objet 2, on définit un repère orthonormé R, dit « repère de référence ». Ce repère R est
25 composé de trois directions orthonormales X, Y et Z. La direction verticale, notée Z, est parallèle à la direction D du champ de gravité g dans l'exemple. Le champ de gravité g sera exprimé par le vecteur $[0 ; 0 ; 1]$ dans le repère R. L'inclinaison de l'objet 2 est ici définie comme étant l'angle formé entre la direction D et l'axe U suivant lequel s'étend l'objet 2. Sur la figure 1, l'objet 2 est
30 illustré avec une inclinaison nulle, les directions D et U sont donc parallèles.

On va dans un premier temps étudier un cas général de mise en œuvre de l'invention.

Les vecteurs unitaires du repère orthonormé solide de l'objet 2 peuvent
35 être définis de la façon suivante dans le repère R. :

$$\begin{aligned}
 5 \quad U &= \begin{bmatrix} \sin(\phi) \cos(\theta) \\ \sin(\phi) \sin(\theta) \\ \cos(\phi) \end{bmatrix} \\
 10 \quad V &= \begin{bmatrix} \cos(\eta) \sin(\theta) + \sin(\eta) \cos(\phi) \cos(\theta) \\ -\cos(\eta) \cos(\theta) + \sin(\eta) \cos(\phi) \sin(\theta) \\ -\sin(\phi) \sin(\eta) \end{bmatrix} \\
 W &= U \wedge V
 \end{aligned}$$

Avec Φ l'inclinaison de l'objet 2 par rapport à la direction D, θ l'azimuth de U, et η un angle de rotation du référentiel solide de l'objet 2 par rapport au référentiel R, $\wedge$ l'opérateur produit vectoriel.

Le dispositif 4 est donc configuré pour déterminer l'inclinaison Φ de l'objet 2 par rapport à la direction D. η est un paramètre intermédiaire, utilisé dans la formalisation du problème. Ce dispositif 4 comporte au moins deux accéléromètres. Ce dispositif ne fait cependant pas appel à un magnétomètre ou à un gyromètre pour déterminer cette inclinaison. Chacun de ces accéléromètres est configuré pour mesurer une accélération selon au moins une direction de mesure. Ces accéléromètres sont :

- liés entre eux par une liaison rigide ;
- aptés à mesurer le champ de gravité terrestre et pas seulement l'accélération relative de l'objet 2 ;
- placés de façon à ce qu'au moins deux accéléromètres présentent des directions de mesure respectives qui ne sont pas mutuellement colinéaires. Avantageusement, l'angle entre ces directions est au moins égal à 30° , de préférence au moins égal à 45° , et encore plus préférentiellement au moins à 60° . Les coordonnées des directions de mesure ou de sensibilité des accéléromètres sont connues dans le repère U, V, W. Les accéléromètres sont avantagement distants pour diminuer les incertitudes de l'estimation des mesures.

Dans cet exemple, le dispositif 4 comporte N accéléromètres A_1 à A_N , où N est un nombre entier avantagement supérieur ou égal à trois, quatre ou à sept ou à dix. Ces accéléromètres sont ici mono-axiaux, c'est-à-dire que chaque accéléromètre ne possède qu'une seule direction de mesure. Ces accéléromètres A_1 à A_N ont ici une liaison encastrement avec l'objet 2. L'objet 2 forme ici une liaison rigide entre les accéléromètres A_1 à A_N .

L'invention peut bien entendu également être mise en œuvre en incluant un ou plusieurs accéléromètres à 2 ou 3 directions de mesure parmi les accéléromètres. De tels accéléromètres seront traités comme plusieurs accéléromètres mono-axiaux parmi les accéléromètres A_1 à A_N et ayant chacun
 5 une direction de mesure. Dans cette description, on désigne le i -ième accéléromètre par la référence A_i où i est un nombre entier supérieur ou égal à 1 et inférieur ou égal à N . La direction de mesure de ce i -ième accéléromètre mono-axial est notée v_i . Dans le cas général, on fera référence à ce i -ième accéléromètre pour désigner des propriétés générales desdits accéléromètres.

10 Pour simplifier, l'emplacement de chacun de ces accéléromètres est matérialisé par un emplacement ponctuel. Pour simplifier, sur les figures 1 et 4, seuls les accéléromètres A_1 , A_2 , A_j et A_N sont illustrés.

L'accélération mesurée par chacun de ces accéléromètres correspond à la projection géométrique du champ de gravité g sur la direction de mesure de
 15 cet accéléromètre.

La direction de mesure v_i de n'importe lequel des accéléromètres A_i est déterminée par l'équation suivante, avec des coefficients $a_{i,1}$, $a_{i,2}$, $a_{i,3}$ étant des coefficients connus par hypothèse, invariants au cours du temps du fait de la
 20 liaison rigide entre les accéléromètres A_1 à A_N .

$$v_i = a_{i,1}U + a_{i,2}V + a_{i,3}W$$

Chaque accéléromètre effectue ainsi une mesure m_i suivante,
 25 correspondant à la projection du champ de gravité sur sa direction de mesure :

$$m_i = a_{i,1}(U^T g) + a_{i,2}(V^T g) + a_{i,3}(W^T g)$$

30 Ainsi, $m_i = v_i^T g$, où T désigne la transposition matricielle.

On définit par M le vecteur $[m_1, \dots, m_N]^T$ contenant les différentes mesures des accéléromètres.

On introduit une matrice A définie par :

35

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{N,1} & a_{N,2} & a_{N,3} \end{bmatrix}$$

40

En notant que $U^T g = \cos(\Phi)$, $V^T g = -\sin(\Phi)\sin(\eta)$ et $W^T g = -\sin(\Phi)\cos(\eta)$, on peut réaliser la concaténation des équations précédentes sous la forme suivante :

$$M = A \begin{bmatrix} \cos(\phi) \\ -\sin(\phi) \sin(\eta) \\ -\sin(\phi) \cos(\eta) \end{bmatrix}$$

On peut donc retrouver les angles Φ et η lorsque la matrice A (dont les coefficients sont connus) est au moins de rang 2, c'est-à-dire lorsqu'au moins deux directions de mesure sont non colinéaires.

La résolution de cette équation matricielle peut être réalisée en minimisant le critère suivant :

$$L(\phi, \eta) = \left\| M - A \begin{bmatrix} \cos(\phi) \\ -\sin(\phi) \sin(\eta) \\ -\sin(\phi) \cos(\eta) \end{bmatrix} \right\|^2$$

$\| \cdot \|$ définissant la norme euclidienne de vecteurs à trois dimensions. Cette résolution reste valable même lorsque l'équation matricielle de M est perturbée par des incertitudes d'amplitudes au moins 10 fois inférieures à l'amplitude du champ de gravité g .

La minimisation de ce critère L permet de maximiser la fonction de vraisemblance du système. La résolution fournit des valeurs Φ_0 et η_0 minimisant le critère L . Des algorithmes de minimisation sont connus de l'homme du métier.

Un tel procédé de détermination de l'inclinaison permet ainsi d'obtenir une bonne précision dès l'utilisation de deux directions de mesure et cela sans magnétomètre. Une telle inclinaison est obtenue par rapport à l'axe U , dans n'importe quel plan incluant cet axe U . En outre, un tel procédé permet en pratique d'obtenir une bonne précision de détermination de l'inclinaison, dès de faibles valeurs d'inclinaison, ce qui s'avère intéressant pour des applications où l'inclinaison varie dans une plage relativement limitée. Par comparaison, un gyroscope ne fournit pas de mesure fiable pour une faible valeur d'inclinaison et est sensible au bruit et à l'environnement. Etant données les contraintes appliquées sur une conduite sous-marine, la connaissance précise de l'inclinaison d'une section de cette conduite dès les plus petites déviations par rapport à la verticale est prépondérante en vue de calculer de façon fiable la courbure de celle-ci et la durée de vie restante vis-à-vis du critère de fatigue.

On va maintenant décrire une mise en œuvre spécifique de la détermination de l'inclinaison illustrée en référence à la figure 1, et s'avérant particulièrement avantageuse.

5 Les accéléromètres sont ici positionnés sur un cercle C, passant par chacun des accéléromètres et tel que les directions de mesure des accéléromètres soient contenues dans le plan incluant ce cercle. D'autre part, la normale au plan incluant le cercle C coïncide avec la direction définie par le vecteur U. Par exemple, ces accéléromètres sont des accéléromètres
10 commercialisés par la société « Colibrys » sous la référence commerciale « MS9002 ».

La direction de mesure de l'accéléromètre A1 est choisie colinéaire à l'axe V pour cet exemple. Ici, la direction de mesure v_i du i-ième accéléromètre s'étend radialement depuis le centre du cercle C. Cette direction v_i est ici
15 représentée par un vecteur, dont la direction est une droite passant par l'emplacement ponctuel du i-ième accéléromètre et par le centre du cercle C.

La direction de mesure v_i s'écrit :

$$20 \quad v_i = \cos(\alpha_i)V + \sin(\alpha_i)W$$

Avec α_i l'angle de positionnement connu de l'accéléromètre A_i par rapport à un accéléromètre de référence (A_1 dans cet exemple) autour de l'axe U.

25 Dans cet exemple, la matrice A s'exprime alors :

$$30 \quad A = \begin{bmatrix} 0 & \cos(\alpha_1) & \sin(\alpha_1) \\ 0 & \cos(\alpha_2) & \sin(\alpha_2) \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \cos(\alpha_N) & \sin(\alpha_N) \end{bmatrix}$$

35 Le vecteur de mesure M s'exprime alors avec l'expression théorique suivante :

$$M = -\sin(\phi) \begin{bmatrix} \sin(\alpha_1 + \eta) \\ \sin(\alpha_2 + \eta) \\ \dots \\ \sin(\alpha_N + \eta) \end{bmatrix}$$

La résolution de cette équation matricielle peut être réalisée en minimisant le critère suivant :

$$L(\phi, \eta) = \left\| M + \sin(\phi) \begin{bmatrix} \sin(\alpha_1 + \eta) \\ \sin(\alpha_2 + \eta) \\ \dots \\ \sin(\alpha_N + \eta) \end{bmatrix} \right\|^2$$

20

Ici, le signal de mesure m_i est entaché d'un bruit statistique pour chacun des accéléromètres. Le signal de mesure se décompose donc en deux termes et est de la forme suivante : $M = \sin(\Phi).f(\eta) + b$, avec b un vecteur représentatif de l'erreur de mesure du fait des bruits statistiques b_i respectifs des capteurs A_i , $\underline{f}(\eta)$ étant un vecteur dont la i -ième composante est égale à $-\sin(\alpha_i + \eta)$.

Dans cet exemple, chaque bruit statistique est un processus statistique gaussien et centré, ce qui correspond à une bonne approximation de la réalité pour un grand nombre d'accéléromètres. La variance de ce bruit statistique, pour le i -ième accéléromètre, est notée σ_i^2 . On définit la matrice de covariance $\underline{\Gamma}$ associée à ce processus statistique.

Les bruits statistiques respectifs des N accéléromètres sont ici statistiquement indépendants. Ainsi, dans cet exemple, cette matrice $\underline{\Gamma}$ est une matrice diagonale et définie positive, dont le i -ième coefficient diagonal est égal à la variance σ_i^2 du i -ième accéléromètre.

35

La résolution de l'équation matricielle peut alors être réalisée en minimisant le critère suivant :

$$L(\phi, \eta) = (\sin(\phi) \underline{f}(\eta) - \underline{m})^T \times \underline{\Gamma}^{-1} \times (\sin(\phi) \underline{f}(\eta) - \underline{m})$$

40

Avantageusement, pour réduire l'erreur totale sur l'inclinaison de l'objet 2 provenant du bruit statistique des accéléromètres individuels, ces accéléromètres sont placés sur le cercle C de la manière suivante :

- si les variances respectives des accéléromètres satisfont la condition
5 suivante (dite condition d'optimalité) :

$$\sigma_{\max}^{-2} \leq \frac{1}{2} Tr(\underline{\Gamma}^{-1})$$

- où $\sigma_{\max}^{-2}$ est l'inverse maximal des inverses σ_j^{-2} des variances des
10 accéléromètres, Tr désigne l'opérateur mathématique trace et $\underline{\Gamma}$ est la matrice de covariance, alors les accéléromètres sont placés sur le cercle C de manière à satisfaire les relations suivantes :

$$\sum_{j=1}^N \sigma_j^{-2} \sin(2\alpha_j) = 0$$

15 et

$$\sum_{j=1}^N \sigma_j^{-2} \cos(2\alpha_j) = 0$$

- si les variances respectives des accéléromètres ne satisfont pas la condition d'optimalité, alors l'accéléromètre présentant la variance d'inverse
20 maximale $\sigma_{\max}^{-2}$ est placé à un emplacement quelconque sur le cercle C et tous les autres accéléromètres sont placés, sur ce cercle C, à un angle de 90° de cet accéléromètre.

- Le dispositif 4 comporte en outre un dispositif de calcul 10, configuré pour
25 calculer automatiquement l'inclinaison de l'objet 2. La figure 2 représente schématiquement ce dispositif 10. Ce dispositif 10 comporte :

- un support d'enregistrement 12 d'informations,
- un calculateur 14 électronique programmable,
- une interface 16 d'échange de données.

- 30 Le calculateur 14 est notamment programmé pour exécuter des informations contenues sur le support 12. Le support 12 contient des instructions pour l'exécution du procédé de la figure 3. L'interface 16 permet notamment l'acquisition, par le calculateur 14, des valeurs de mesures $m(j)$ fournies par les accéléromètres du dispositif 4. Par exemple, l'interface 16
35 comporte un bus de données, tel qu'un bus série (pour « Serial Peripheral Interface » en langue anglaise), relié électriquement aux accéléromètres A_1 à A_N .

De nombreux autres modes de réalisation sont possibles.

- 40 L'objet 2 peut présenter une forme différente. L'inclinaison de l'objet 2 peut être définie autrement que par rapport à l'axe U.

Les accéléromètres ne sont pas forcément tous mono-axiaux. Par exemple, les accéléromètres sont des accéléromètres tri-axiaux, tels ceux commercialisés par la société « STMicroelectronics » sous la référence commerciale « LSM303DLH ».

- 5 Les accéléromètres du dispositif 4 peuvent être placés différemment par rapport à l'objet 2. Notamment, ces accéléromètres peuvent présenter une autre configuration spatiale que le cercle C.

Un accéléromètre peut ne pas présenter de bruit statistique. Dans ce cas, pour chaque direction de mesure v_j associée à cet accéléromètre, le bruit $b(j)$
10 est nul et les coefficients σ_j^2 qui apparaissent dans l'estimateur L sont fixés à 1.

On combine au moins deux objets 2 pour déterminer la courbure d'une structure tubulaire déformable.

- La figure 5 représente à cet effet une portion d'une structure tubulaire
15 déformable 40 sur laquelle sont placés des objets instrumentés 42 et 44, par exemple identiques à l'objet 2. Des propriétés de déformation de la structure 40 peuvent ainsi être indirectement calculées à partir de l'inclinaison de chacun des objets 42 et 44. On peut considérer que les objets 42 et 44 sont indéformables par rapport à la structure tubulaire 40 si les déformations induites sur ces objets
20 sont négligeables par rapport aux déplacements relatifs entre ces objets, déplacements dus aux déformations de la structure tubulaire 40.

- Dans cet exemple, la structure tubulaire 40 est déformable par flexion. Les objets 42 et 44 sont ici maintenus solidaires de la structure 40 par une liaison encastrement. Les objets 42 et 44 sont par exemple des colliers
25 métalliques rigides serrés autour de la structure tubulaire 40. Ces objets 42 et 44 sont par exemple connectés, par un bus de données, à une unité de calcul configurée pour déterminer la courbure d'une direction médiane 46 de la structure 40, à partir des inclinaisons mesurées simultanément par chacun des objets 42 et 44. Pour simplifier, ce bus de données et cette unité de calcul ne
30 sont pas illustrés sur la figure 5. L'inclinaison de ces objets 42 et 44 est ici définie par rapport à la direction du champ de gravité g , ici verticale.

Cette unité de calcul est notamment programmée pour :

- évaluer l'inclinaison en tout point de la structure 40, à partir des mesures
35 simultanées fournies par les objets 42 et 44, par exemple, au moyen de méthodes d'interpolation telles que l'interpolation par splines cubiques ;
- calculer, à partir de la connaissance de cette inclinaison en tout point de la structure 40, la courbure k en tout point de la direction 46 de la structure 40, par exemple au moyen de la formule suivante (en supposant que la direction
40 médiane de la structure n'est pas gauche) :

$$k(S) = \frac{d\phi(s)}{ds}$$

où $k(S)$ est la courbure de la direction 46 au point S d'abscisse curviligne
 5 s (l'origine des abscisses curvilignes étant fixée arbitrairement, $\Phi(s)$ étant
 l'inclinaison de la structure 40 au point S d'abscisse curviligne s.

Ces exemples de méthodes d'interpolation et de reconstruction sont par
 exemple décrits dans le chapitre 1 de la thèse de doctorat de N. Sprynski,
 « Reconstruction de courbes et surfaces à partir de données tangentielles »,
 10 Université Joseph Fourier, Grenoble, France, 2007.

Lorsque plusieurs objets 42, 44 sont utilisés conjointement sur une même
 structure 20 pour déterminer des propriétés de cette structure 40, alors le
 dispositif de calcul 10 peut présenter une forme différente. Par exemple, ce
 15 dispositif 10 n'est pas forcément incorporé dans chacun des objets 42, 44. Un
 unique dispositif 10 peut alors être placé à l'extérieur de ces objets 42, 44, dans
 une unité de traitement de données configurée pour recevoir les données de
 mesure des accéléromètres des objets 42 et 44.

20 Les figures 6 et 7 représentent une même portion de structure tubulaire
 50 dans deux positions différentes. A la figure 6, la structure tubulaire 50 est
 courbée et présente localement un rayon de courbure égal à R. A la figure 7, la
 structure tubulaire 50 est droite (rayon de courbure infini). Sur cette structure 50,
 des colliers indéformables instrumentés 54 et 56 sont disposés, par exemple
 25 identiques à l'objet 2.

Les colliers indéformables instrumentés 54, 56 sont serrés autour de la
 structure tubulaire 50 de sorte qu'ils ne puissent pas glisser le long de celle-ci
 lorsque cette dernière est fléchie. La distance L séparant les centres des deux
 colliers 54, 56, distance mesurée le long de l'axe de la structure tubulaire 50 est
 30 donc constante et indépendante de la courbure de la structure tubulaire 50.

Les inclinaisons Φ_1 et Φ_2 des colliers indéformables 54, 56 sont d'abord
 déterminées selon le procédé défini précédemment. Ensuite, la courbure locale
 k de la structure tubulaire 50 peut être calculée à partir de l'inclinaison de
 chacun des colliers 54 et 56 en utilisant par exemple la formule approchée
 35 suivante (avec R le rayon des colliers indéformables 54 et 56) :

$$k = \frac{1}{R} = \frac{d\phi}{ds} \approx \frac{\phi_2 - \phi_1}{L}$$

où les inclinaisons Φ_1 et Φ_2 sont exprimées en radians, R et L sont
 40 exprimés en mètres, et la courbure k est exprimée en m^{-1} .

Il ressort de cette formule que l'erreur d'estimation de la courbure est d'autant plus faible que les colliers 54 et 56 sont rapprochés. Ainsi, avantageusement, la distance L séparant les deux colliers 54, 56 est inférieure à 1 mètre, et préférentiellement inférieure à 50 centimètres.

5

Un exemple de détermination de la courbure d'une structure tubulaire 50 va maintenant être décrit en détail, en référence à l'organigramme de la figure 3.

Les informations des matrices A respectives des accéléromètres des deux colliers 54 et 56 sont définies au préalable, éventuellement avec les propriétés de bruit statistique de ces accéléromètres.

A un instant t, la structure tubulaire 50 est à une position initiale avec une configuration donnée. Puis, lors d'une étape 22, la structure tubulaire subit une déformation vers une nouvelle configuration. Durant cette déformation, chaque collier 54 et 56 connaît un déplacement de sa position initiale vers une position dans laquelle il présente une nouvelle inclinaison par rapport à la direction de référence D. Par exemple, les colliers 54 et 56 subissent des rotations respectives par rapport au repère R. Ici, à l'issue de ces rotations, les colliers 54 et 56 présentent des angles d'inclinaison respectifs notés Φ_1 et Φ_2 , non nuls, par rapport à la direction D (Figure 4).

Lors d'une étape 24, les accélérations subies par les accéléromètres des colliers 54 et 56 sont mesurées. Chaque accéléromètre fournit une mesure m_i d'accélération.

Lors de la mesure, la structure tubulaire 50 est dans un état quasi-statique, puisque la détermination des inclinaisons utilise une résolution basée sur les mesures du champ de gravité g par les différents accéléromètres. On peut considérer que la structure tubulaire 50 est dans un état quasi-statique lorsque l'accélération propre (c'est-à-dire correspondant au mouvement de la structure) maximale de la structure tubulaire 50 par rapport au repère R est au moins dix fois ou vingt fois ou cinquante fois inférieure à l'amplitude de la gravité g. Ainsi, la mesure est adaptée pour une structure tubulaire 50 dont les conditions normales d'utilisation sont de type quasi-statique.

Lors d'une étape 26, les inclinaisons respectives des colliers 54 et 56 sont déterminées automatiquement à partir des mesures m_i . Durant cette étape, une opération 28 inclut la résolution de l'équation du type

35

$$M = A \begin{bmatrix} \cos(\phi) \\ -\sin(\phi) \sin(\eta) \\ -\sin(\phi) \cos(\eta) \end{bmatrix}$$

40

pour chaque collier 54 et 56.

Lors d'une étape 30, les inclinaisons déterminées à l'étape 26 sont utilisées pour calculer la courbure locale (entre les colliers 54 et 56) de la structure tubulaire 50.

- 5 Des étapes du procédé de la figure 3 peuvent être exécutées dans un ordre différent et/ou peuvent être simultanées.

Lors de l'étape 20, la structure tubulaire 50 n'est pas forcément placée dans un état initial présentant une inclinaison nulle, mais peut présenter une inclinaison non nulle. Le déplacement (étape 22) de la structure tubulaire 50 et
10 la mesure des accélérations (étape 24) peuvent être concomitants, à condition que la structure tubulaire 50 reste quasi-statique pendant son déplacement.

Le calcul de la courbure a été décrit sur la base de deux colliers rigides. On peut cependant également envisager d'utiliser un plus grand nombre de colliers rigides répartis sur une structure tubulaire, pour affiner le calcul de
15 courbure de la structure tubulaire.

L'invention ne se limite pas au cas où les objets rigides équipés d'accéléromètres et fixés en des emplacements distincts le long de la structure tubulaire sont des colliers rigides serrés autour de cette dernière. Ces objets peuvent aussi être encastrés à l'intérieur de la structure tubulaire. Ainsi, par
20 exemple, dans le cas où structure tubulaire est une conduite, ces objets peuvent être encastrés à l'intérieur de la paroi de la conduite.

Dans le cas d'une conduite flexible montante (« flexible riser » en anglais) la partie supérieure est couramment équipée d'un raidisseur afin de limiter les variations de courbures. Afin de mesurer la courbure de la conduite au niveau
25 de cette zone critique, les objets rigides équipés d'accéléromètres peuvent être soit fixés autour du raidisseur, soit encastrés à l'intérieur du raidisseur, soit fixés autour de la conduite au niveau du raidisseur, soit encastrés à l'intérieur de la paroi de la conduite au niveau du raidisseur, avec toutes les combinaisons possibles. On peut par exemple utiliser des colliers rigides instrumentés serrés
30 autour de la conduite elle-même, puis chemisés localement sur toute la longueur du raidisseur par une gaine polymérique présentant un diamètre extérieur légèrement inférieur au diamètre intérieur du raidisseur, de sorte que le raidisseur puisse s'adapter autour de la conduite équipée de ces colliers et de ce chemisage local.

35

REVENDICATIONS

1. Procédé de détermination de la courbure d'une structure tubulaire (50), caractérisé en ce que ce procédé comporte :
 - 5 -la détermination de l'inclinaison de premier et deuxième objets rigides (54, 56) dans un repère de référence fixe (X, Y, Z) par rapport à la direction du champ de gravité terrestre, lesdits objets rigides étant fixés en des emplacements distincts le long de ladite structure tubulaire, la détermination de l'inclinaison de chacun desdits objets comprenant :
 - 10 - la fourniture de plusieurs accéléromètres ($A_1, \dots, A_N$) reliés de façon rigide par l'objet, chacun de ces accéléromètres étant apte à mesurer une accélération selon au moins une direction de mesure (v_j), les directions de mesure respectives d'au moins deux desdits accéléromètres étant non colinéaires ;
 - 15 - la mesure, par lesdits accéléromètres, des composantes du champ de gravité terrestre le long desdites directions de mesure, cette mesure fournissant, pour chacune desdites directions, une valeur de mesure, notée m_j pour une direction de mesure d'indice i ;
 - la résolution de l'équation matricielle suivante pour déterminer l'inclinaison Φ de l'objet (54) par rapport au repère de référence :
 - 20

$$M = A \begin{bmatrix} \cos(\phi) \\ -\sin(\phi) \sin(\eta) \\ -\sin(\phi) \cos(\eta) \end{bmatrix}$$

- 25 avec M le vecteur dont la i -ième composante est définie par la mesure m_j , A une matrice définie par les directions de mesure des accéléromètres dans un référentiel solide de l'objet, et η un angle de rotation de ce référentiel solide par rapport au référentiel fixe ;
- 30 -la détermination de la courbure de la structure tubulaire à partir des inclinaisons déterminées pour les premier et deuxième objets.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel au moins deux accéléromètres de chacun desdits objets sont distants.
- 35 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la résolution de l'équation matricielle lors d'une détermination d'une inclinaison comprend la minimisation d'un critère $L(\Phi, \eta)$ défini par l'équation suivante :

$$L(\phi, \eta) = \left\| M - A \begin{bmatrix} \cos(\phi) \\ -\sin(\phi) \sin(\eta) \\ -\sin(\phi) \cos(\eta) \end{bmatrix} \right\|^2$$

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel lesdits accéléromètres de chacun desdits objets sont au moins au nombre de quatre, sont répartis sur un cercle (C) et présentent chacun une direction de mesure définie par le rayon reliant cet accéléromètre au centre du cercle.
5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel lesdits accéléromètres ($A_1, \dots, A_N$) sont répartis de façon uniforme sur ledit cercle.
6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, dans lequel les accéléromètres présentent un bruit statistique de mesure gaussien et centré, ladite résolution de l'équation matricielle comprenant la minimisation d'un critère $L(\Phi, \eta)$ défini par l'équation suivante :

$$L(\theta, \eta) = (\sin(\phi) \underline{f}(\eta) - \underline{m})^T \times \underline{\Gamma}^{-1} \times (\sin(\phi) \underline{f}(\eta) - \underline{m})$$
 avec $\underline{f}(\eta)$ un vecteur dont la i-ième composante est égale à $-\sin(\alpha_i + \eta)$, avec $\underline{\Gamma}$ une matrice de covariance correspondant aux bruits statistiques de mesure des accéléromètres pour lesdites directions de mesure.
7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel les bruits statistiques des accéléromètres ($A_1, \dots, A_N$) sont statistiquement indépendants, et dans lequel la matrice de covariance $\underline{\Gamma}$ est une matrice diagonale et définie positive dont le i-ième coefficient est égal à la variance σ_i^2 pour la i-ième direction de mesure.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite structure tubulaire présente une accélération propre maximale par rapport au repère de référence au moins dix fois inférieure à l'amplitude du champ de gravité g, de préférence au moins vingt fois inférieure à l'amplitude du champ de gravité g durant lesdites mesures.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel lesdites inclinaisons utilisées pour la détermination de ladite courbure sont basées sur des mesures simultanées des accéléromètres des premier et deuxième objets.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la courbure de la structure tubulaire (50) entre les premier et deuxième objets (54, 56) est déterminée au moyen de la formule suivante :

$$k(S) = \frac{d\phi(s)}{ds}$$

où $k(S)$ est la courbure au point S d'abscisse curviligne s entre les premier et deuxième objets, $\Phi(s)$ étant l'inclinaison de la structure tubulaire au point S d'abscisse curviligne s .

11. Structure déformable tubulaire (50), caractérisé en ce qu'elle comprend :

- des premier et deuxième objets rigides (54, 56) ;
- pour chacun desdits objets, plusieurs accéléromètres reliés de façon rigide par leur objet respectif, chacun de ces accéléromètres étant apte à mesurer une composante du champ de gravité terrestre selon au moins une direction de mesure pour fournir une valeur de mesure notée m_j pour une direction de mesure d'indice i , les directions de mesure respectives d'au moins deux desdits accéléromètres étant non colinéaires ;

- un dispositif de calcul programmé pour :

- déterminer l'inclinaison Φ de chacun desdits premier et deuxième objets par rapport à un repère de référence fixe par rapport à la direction du champ de gravité terrestre, par résolution de l'équation matricielle suivante :

$$M = A \begin{bmatrix} \cos(\phi) \\ -\sin(\phi) \sin(\eta) \\ -\sin(\phi) \cos(\eta) \end{bmatrix}$$

avec M le vecteur dont la i -ième composante est définie par la mesure m_j , A une matrice définie par les directions de mesure des accéléromètres dans un référentiel solide dudit objet, et η un angle de rotation de ce référentiel solide par rapport au référentiel fixe ;

- déterminer la courbure de la structure tubulaire entre lesdits premier et deuxième objets à partir des inclinaisons déterminées pour les premier et deuxième objets.

1/2

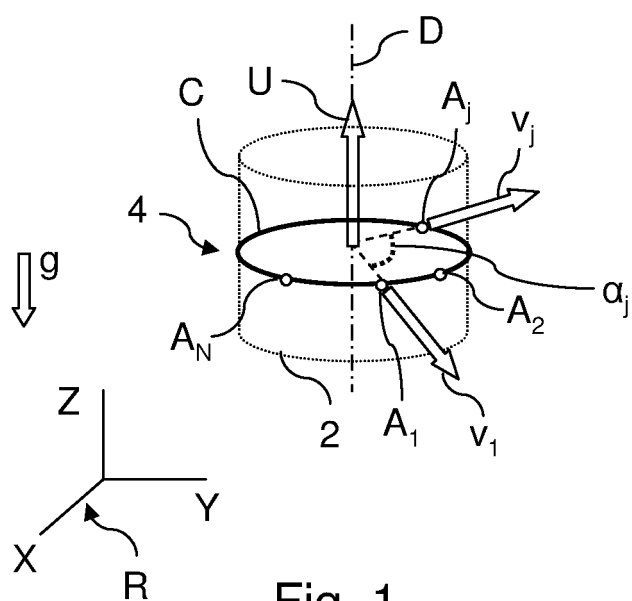


Fig. 1

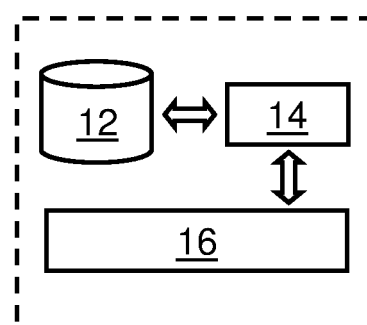


Fig. 2

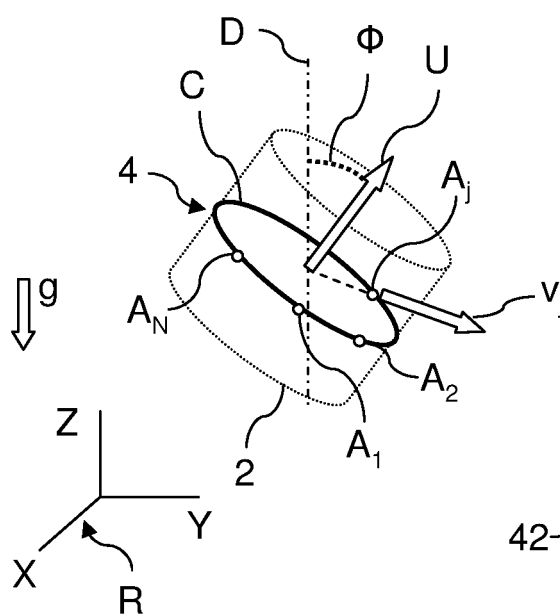


Fig. 4

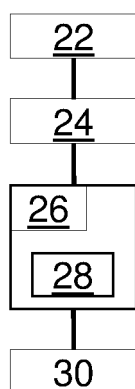


Fig. 3

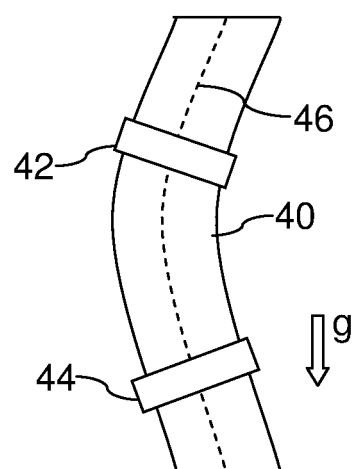
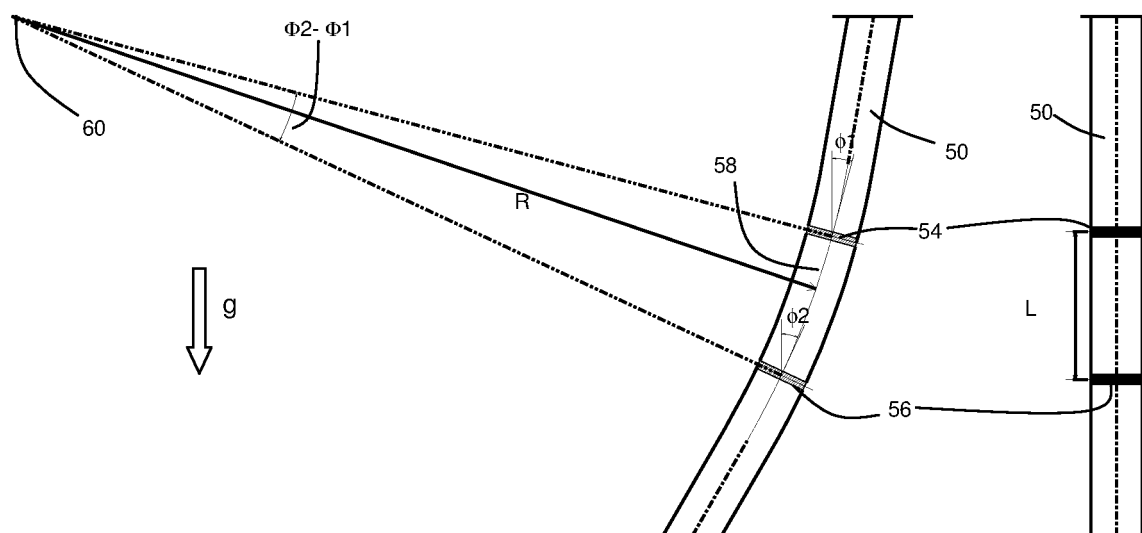


Fig. 5

2/2

Fig. 6

Fig. 7





RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 776057
FR 1262320

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	GB 2 086 055 A (SUNDSTRAND DATA CONTROL) 6 mai 1982 (1982-05-06)	1,2,11	G01B5/20 G01C9/00
Y	* pages 2,3,4; figures 1,2,3,13,15b *	1-11	
X	FR 2 610 100 A1 (SYMINEX SYSTEMES EXPL MINERALE [FR]) 29 juillet 1988 (1988-07-29)	1,11	
Y	* pages 5-12; figures 1,2 *	1-11	
Y	US 2008/211808 A1 (DAVID DOMINIQUE [FR] ET AL) 4 septembre 2008 (2008-09-04) * le document en entier *	1-11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
28 mai 2013		Grand, Jean-Yves	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1262320 FA 776057

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **28-05-2013**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 2086055	A	06-05-1982	AU 533909 B2	15-12-1983
			AU 7427381 A	01-07-1982
			CA 1166843 A1	08-05-1984
			DE 3135743 A1	19-05-1982
			FR 2492882 A1	30-04-1982
			GB 2086055 A	06-05-1982
			IT 1142908 B	15-10-1986
			JP S6015883 B2	22-04-1985
			JP S57100308 A	22-06-1982
			MX 150339 A	17-04-1984
			NL 8104801 A	17-05-1982
			NO 813568 A	26-04-1982
			SE 8105959 A	24-04-1982
			ZA 8107068 A	29-09-1982

FR 2610100	A1	29-07-1988	AUCUN	

US 2008211808	A1	04-09-2008	EP 1861679 A1	05-12-2007
			FR 2883073 A1	15-09-2006
			JP 2008533459 A	21-08-2008
			US 2008211808 A1	04-09-2008
			WO 2006095109 A1	14-09-2006
