

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 066 996

21 N° d'enregistrement national : 17 54905

51 Int Cl⁸ : B 63 C 11/52 (2017.01), B 63 G 8/00

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 02.06.17.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 07.12.18 Bulletin 18/49.

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 :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : KOPADIA Société par actions simpli-
fiée — FR.

72 Inventeur(s) : RICHER DE FORGES HERVE et
GROUSSET THIERRY.

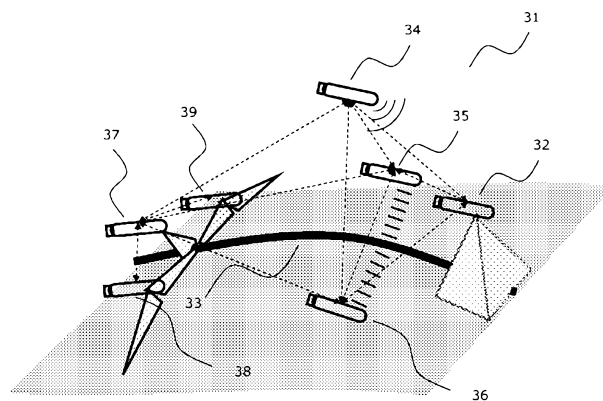
73 Titulaire(s) : KOPADIA Société par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : CABINET ABPI.

54 SYSTEME COLLABORATIF DE VEHICULES SUBAQUATIQUES DE SUIVI D'ELEMENTS LINEAIRES
IMMERGES ET PROCEDE METTANT EN OEUVRE CE SYSTEME.

57 La présente invention concerne un système collaboratif de véhicules subaquatiques (10) apte à suivre un élément linéaire (1,33) immergé capable de faire varier ou de produire un champ magnétique comprenant au moins un premier véhicule subaquatique (13, 37, 38, 39) destiné au suivi de la position de l'élément linéaire(1,33), un deuxième véhicule subaquatique (11,35) comprenant au moins un premier système apte à indiquer sa position et au moins un premier moyen de mesure (28) dudit champ magnétique apte à indiquer un premier angle (26) mesuré entre la verticale et une première direction (30) dudit champ magnétique, un troisième véhicule subaquatique (12, 36) comprenant au moins un deuxième système apte à indiquer sa position et au moins un deuxième moyen de mesure (29) dudit champ magnétique apte à indiquer un deuxième angle (27) mesuré entre la verticale et une deuxième direction (31) dudit champ magnétique, le premier véhicule subaquatique (13, 37, 38, 39) étant situé à la verticale ou en arrière des deuxième et troisième véhicules subaquatiques (11, 35, 12, 36), au moins un desdits véhicules subaquatiques (13, 37, 38, 39, 11, 12) comportant un moyen de calcul de ladite position dudit élément linéaire (1, 33) et le premier véhicule subaquatique (13, 37, 38, 39) étant apte à utiliser la position dudit

élément linéaire (1, 33) afin de le suivre.



FR 3 066 996 - A1



Système collaboratif de véhicules subaquatiques de suivi d'éléments linéaires immergés et procédé mettant en œuvre ce système

La présente invention concerne d'une manière générale un système
5 collaboratif de véhicules subaquatiques de suivi d'éléments linéaires tels que
des pipelines, des câbles électriques, des fibres optiques ou des chaînes
d'ancrage, de préférence autonomes et n'utilisant pas de références de
positionnement à la surface de l'eau. L'invention a également pour un objet un
procédé mettant en œuvre ce système collaboratif.

10

L'industrie pétrolière utilise traditionnellement des véhicules sous-
marins reliés à un navire et pilotés à distance afin d'inspecter les conduites
permettant l'acheminement du pétrole et du gaz provenant de puits situés
dans les fonds marins, appelées plus communément pipelines. Ces pipelines
15 sont en général posés sur le fond marin. Ces véhicules sous-marins ont pour
objectif de détecter des défauts sur les pipelines tels que la corrosion, les
fissures, les entailles, les ouvertures ou leurs déplacements ou de surveiller
l'état d'éléments associés aux pipelines tels que leurs anodes, leurs vannes ou
leurs piquages. Il est vérifié si les anodes sont bien présentes ou le degré de
20 corrosion de celles-ci. Les défauts dus à la corrosion peuvent entraîner de
graves dommages aux pipelines, tels qu'une rupture, et par conséquent de
possibles dommages à l'environnement et des pertes financières importantes
étant donné qu'il est nécessaire d'intervenir pour les réparer ou même de les
remplacer, entraînant un arrêt de la production. Une autre industrie met
25 également en œuvre des éléments linéaires posés sur le fond marin, il s'agit
de l'industrie des télécommunications. Ces éléments linéaires sont, par
exemple, des câbles conducteurs d'électricité, en cuivre ou en aluminium, ou
des fibres optiques entourées d'une armure métallique ainsi que leurs
répétiteurs alimentés par un câble électrique, permettant de transmettre des
30 informations sous forme de signaux électriques. Ces câbles électriques posés
sur les fonds marins sont également utilisés dans d'autres industries, telles
que l'industrie des éoliennes marines afin d'exporter l'énergie.

Il est ainsi primordial de mettre en œuvre, de manière préventive, des

méthodes d'inspection d'éléments linéaires métalliques efficaces afin de limiter au minimum ces risques. La demande de brevet US 2016/0231281 décrit un exemple de véhicule sous-marin permettant l'inspection des pipelines. Il y est décrit un véhicule, communément appelé ROV (Remotely Operated Vehicle),
5 c'est-à-dire un véhicule contrôlé à distance et relié à un navire par un câble. Ce véhicule est directement posé sur le pipeline à inspecter et se déplace le long de celui-ci au moyen de roulettes 18, comme on peut le voir sur la figure 1 de cette demande de brevet. Ces roulettes permettent, notamment, de suivre les contours du pipeline lorsque celui-ci présente des zones non
10 rectilignes telles que des virages ou des rayons. Ce type de véhicule nécessite d'être en contact avec le pipeline afin de pouvoir en suivre les contours. L'inconvénient majeur d'un ROV est qu'il doit être surveillé en permanence, ce qui implique une supervision humaine. Il est ainsi nécessaire de mettre en place un navire dédié ainsi qu'une équipe si l'on souhaite inspecter de manière
15 continue, 24 heures sur 24, un pipeline. Ces moyens représentent un coût considérable. En outre, lorsque les conditions météorologiques sont mauvaises, en cas de tempête par exemple, il n'est plus possible d'utiliser le ROV pendant une période pouvant aller jusqu'à plusieurs jours. L'inspection à l'aide d'un tel véhicule prend également beaucoup de temps étant donné que
20 la vitesse du navire, auquel il est relié, est relativement faible, à savoir moins de 1 mètre par seconde.

Afin de diminuer le temps d'inspection, il est employé un véhicule sous-marin qui n'est plus en contact avec l'élément linéaire métallique à inspecter. Ce type de véhicule présente une grande souplesse d'utilisation car
25 il peut être mis à l'eau à partir d'un navire et récupéré par ce dernier. Un tel véhicule est décrit dans la demande de brevet WO 2016/178045. L'inconvénient de ce type de véhicule est qu'il n'est pas complètement autonome étant donné qu'il suit un trajet prédéterminé afin de suivre les contours du pipeline à inspecter, ce qui implique d'en connaître parfaitement
30 la géométrie ainsi que son emplacement sur le fond marin. Actuellement, il est compliqué de connaître en temps réel la position exacte des pipelines car ils sont perpétuellement en mouvement. En effet, en raison du phénomène de marée, des courants marins ou de la pression interne, les pipelines ont

tendance à se mouvoir. Cela nécessite des relevés de positions fréquents à l'aide, par exemple, d'un navire équipé d'un sondeur multifaisceaux et le maintien d'une base de données à jour ce qui est extrêmement contraignant et complexe. Par ailleurs, avant chaque intervention, il est nécessaire de programmer le véhicule afin qu'il ait en mémoire la géométrie du pipeline à 5 contrôler. Il est également possible de piloter le véhicule à distance, à partir de la surface, en utilisant une connexion sans fil, mais cette solution présente l'inconvénient qu'il faut mobiliser une équipe en charge du pilotage du véhicule. En outre, une connexion sans fil présente un temps de latence 10 relativement important. En effet, si le véhicule évolue à des profondeurs importantes, par exemple de l'ordre de 1500 mètres, le temps pour que le signal arrive au navire et revienne vers le véhicule est de l'ordre de 5 à 10 secondes. Dans de tels cas, le véhicule se perd et il est alors nécessaire que le véhicule remonte à la surface et soit reprogrammé avec une nouvelle 15 trajectoire. Par ailleurs, certains véhicules sont programmés afin d'effectuer des parcours en S, perpendiculaires à leur trajectoire, afin de tenter de retrouver le pipeline. Ces opérations prennent du temps et induisent un coût supplémentaire. En outre, certaines zones du pipeline ne sont pas contrôlées. . Ces divers problèmes ont été partiellement résolus par l'invention décrite 20 dans le brevet US 9,511,831. Il y est décrit un véhicule sous-marin d'inspection autonome mettant en œuvre un système de lasers et de sonars multifaisceaux ayant pour but de guider le véhicule le long du pipeline. Ce véhicule ne nécessite pas de contrôle à distance par une équipe localisée sur un navire ou sur terre. Ces systèmes permettent de détecter le degré de 25 courbure des conduites. Il est également connu la possibilité de mettre en œuvre des caméras permettant de déterminer la géométrie des conduites, la demande de brevet US 2012/0048171 décrit un tel exemple. L'inconvénient de ces véhicules équipés de tels systèmes est qu'ils ne peuvent pas suivre des conduites recouvertes par du sable ou des concrétions marines. Elles 30 deviennent alors invisibles et les véhicules sous-marins perdent la conduite à inspecter. Il est alors nécessaire de les récupérer et de poursuivre l'inspection manuellement, ce qui induit des coûts importants, comme déjà mentionné précédemment. Afin de résoudre ces problèmes, il est connu de l'art antérieur

d'utiliser un véhicule sous-marin équipé de magnétomètres. Ces magnétomètres vont permettre la détection d'un élément linéaire métallique devenu invisible du fait d'un recouvrement, par du sable par exemple, et parcouru par un courant électrique. Les magnétomètres sont installés de part
5 et d'autre du véhicule sous-marin. L'inconvénient de cette solution est que le risque de collision entre le véhicule sous-marin et l'élément à inspecter est important. Lorsque le champ magnétique émanant de l'élément à inspecter est faible, le véhicule sous-marin doit se rapprocher de celui-ci afin d'effectuer l'inspection de manière satisfaisante. Par conséquent, le risque de collision
10 augmente. Par ailleurs, cette configuration magnétométrique ne permet pas de déterminer précisément la position de l'élément linéaire, une incertitude importante subsiste toujours. Ainsi, certaines parties ne sont pas inspectées. Il est alors nécessaire de relancer une mission d'inspection.

15 L'objectif de la présente invention est donc d'améliorer les systèmes d'inspection par véhicules subaquatiques d'éléments linéaires tels que des pipelines, des câbles, des chaînes d'ancrage, des câbles électriques ou de télécommunications.

20 Pour ce faire, l'invention a notamment pour objet un système collaboratif de véhicules subaquatiques apte à suivre un élément linéaire immergé capable de faire varier ou de produire un champ magnétique comprenant au moins un premier véhicule subaquatique destiné au suivi de la position de l'élément linéaire, un deuxième véhicule subaquatique comprenant
25 au moins un premier système apte à indiquer sa position et au moins un premier moyen de mesure dudit champ magnétique apte à indiquer un premier angle mesuré entre la verticale et une première direction dudit champ magnétique, un troisième véhicule subaquatique comprenant au moins un deuxième système apte à indiquer sa position et au moins un deuxième
30 moyen de mesure dudit champ magnétique apte à indiquer un deuxième angle mesuré entre la verticale et une deuxième direction dudit champ magnétique, le premier véhicule subaquatique étant situé à la verticale ou en arrière des deuxième et troisième véhicules subaquatiques, au moins un desdits véhicules

subaquatiques comportant un moyen de calcul de ladite position dudit élément linéaire et le premier véhicule subaquatique étant apte à utiliser la position dudit élément linéaire afin de le suivre.

5 Outre les caractéristiques principales mentionnées au paragraphe précédent, le système collaboratif selon l'invention peut présenter une ou plusieurs caractéristiques complémentaires parmi les suivantes:

De préférence, au moins un des véhicules subaquatiques est autonome.

10 De préférence, le moyen de calcul est situé sur le premier véhicule subaquatique.

De préférence, au moins un moyen de mesure dudit champ magnétique est un magnétomètre-gradimètre.

De préférence, le système collaboratif comporte en outre au moins un véhicule subaquatique supplémentaire comportant un capteur optique.

15 L'invention a également pour objet système un collaboratif de véhicules subaquatiques apte à suivre un élément linéaire capable de faire varier ou de produire un champ magnétique comprenant au moins un premier véhicule subaquatique destiné au suivi de la position de l'élément linéaire, un
20 deuxième véhicule subaquatique comprenant au moins un premier moyen de mesure apte à indiquer sa position et au moins un premier moyen de mesure apte à mesurer une première amplitude dudit champ magnétique, un
25 troisième véhicule subaquatique comprenant au moins un deuxième système apte à indiquer sa position et au moins un deuxième moyen de mesure apte à mesurer une deuxième amplitude dudit champ magnétique, le premier véhicule subaquatique étant situé à la verticale ou en arrière des deuxième et troisième véhicules subaquatiques, au moins un desdits véhicules subaquatiques comportant un moyen de calcul de ladite position de l'élément linéaire et le premier véhicule subaquatique étant apte à utiliser la position dudit élément linéaire afin de le suivre.

30 L'invention a également pour objet un procédé de suivi d'un élément linéaire, ledit procédé comprenant les étapes suivantes:

- 1) mettre en œuvre un système collaboratif de véhicules subaquatiques selon l'une quelconque des revendications 1 à 6;
- 2) calculer la position dudit élément linéaire en se basant sur ladite position du deuxième véhicule subaquatique, ladite position du troisième véhicule subaquatique, la mesure dudit premier angle ou de la première amplitude et la mesure dudit deuxième angle ou de la deuxième amplitude;
- 3) utiliser la position calculée afin de suivre l'élément linéaire au moyen du au moins premier véhicule subaquatique.

Le procédé selon l'invention peut présenter une ou plusieurs caractéristiques complémentaires parmi les suivantes:

De préférence, l'élément linéaire est un pipeline.

De préférence, au moins un des véhicules subaquatiques comporte un moyen d'induction induisant un courant électrique dans l'élément linéaire. De préférence, le moyen d'induction comprend au moins une bobine.

20

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, faite en référence aux figures annexées, dans lesquelles :

- la figure 1 est une vue schématique dans laquelle un système collaboratif de véhicules subaquatiques est mis en œuvre selon un exemple de réalisation de l'invention;

- la figure 2 est un schéma de principe du système de mesure mis en œuvre dans un exemple de réalisation de l'invention;

- la figure 3 est une vue schématique d'un autre exemple de système collaboratif, selon l'invention, dans lequel une pluralité de véhicules subaquatiques est mise en œuvre.

Il est représenté sur la figure 1 un système collaboratif de véhicules subaquatiques 10 selon un mode de réalisation de l'invention. Un élément linéaire 1 à inspecter est posé sur un fond marin 2. Cet élément linéaire 1 peut être, par exemple, un pipeline permettant d'acheminer du gaz ou du pétrole brut provenant d'une plateforme pétrolière. Dans cet exemple de réalisation, le pipeline est en acier. L'invention peut s'appliquer à tout autre matériau capable de faire varier un champ magnétique ou de produire un champ magnétique. Il peut s'agir, par exemple, de matériaux ferromagnétiques ou de câbles traversés par un courant électrique. Un premier véhicule subaquatique 13 est représenté de manière schématique sur la figure 1. Le premier véhicule subaquatique 13, ainsi que tous les autres véhicules subaquatiques mis en œuvre dans les divers modes de réalisation de l'invention, peut être autonome et ainsi capable d'inspecter l'élément linéaire 1 sans assistance provenant de la surface, contrairement à ce qui est fait pour un ROV. Afin de se mouvoir, le premier véhicule 13, ainsi que tous les autres véhicules subaquatiques décrits ci-après, comprennent un corps dans lequel un système de propulsion est intégré (non représenté). Le système de propulsion comprend une ou plusieurs hélices et un moteur afin de leur fournir de l'énergie mécanique. De manière alternative, le système de propulsion comprend une ou plusieurs turbines. Le moteur est éventuellement contrôlé par un ordinateur. Le premier véhicule 13 peut comprendre également une unité de mesure inertielle (Inertial Measurement Unit, IMU) configurée de manière à guider le véhicule 13 vers une position souhaitée. L'IMU peut comprendre également des accéléromètres, des gyroscopes et d'autres capteurs de mouvement. Il est fourni initialement à l'IMU la position actuelle du véhicule 13 ainsi que sa vitesse. Cette information provient d'une autre source, par exemple, un opérateur, un GPS ou un autre IMU localisé sur un navire ou sur un autre véhicule subaquatique. Ensuite, l'IMU calcule sa propre position et sa vitesse en se basant sur les informations provenant de ses capteurs de mouvement et/ou de transducteurs. Le premier véhicule 13 peut également comporter un compas, un altimètre, pour mesurer son altitude, ou un capteur de pression pour mesurer sa profondeur. Par ailleurs, le premier véhicule 13 peut également comprendre un système pour éviter les obstacles, un système de

communication sans fil, par exemple par Wi-Fi, et un système de modem Haute Fréquence, acoustique ou optique, afin de déterminer son positionnement par rapport à un autre véhicule subaquatique. Le premier véhicule 13 comporte également des ailerons, des propulseurs transversaux, 5 latéraux et/ ou verticaux afin de le guider jusqu'à une position souhaitée. Ces ailerons peuvent être utilisés en combinaison avec le système de propulsion. Le premier véhicule 13 comporte également un système de flottaison de manière à contrôler sa profondeur par rapport à la surface de l'eau. En outre, le premier véhicule 13 peut comprendre une antenne et un système 10 acoustique basse fréquence associé afin de communiquer à longue distance avec un navire. Ce système acoustique peut être un modem acoustique apte à recevoir les ondes acoustiques et à les transformer en signaux électriques et vice versa. De manière alternative, ou en complément, le système acoustique comprend un système Ultra-Short Baseline (USBL) ou un système Long 15 baseline acoustic positioning (LBL). Ces systèmes mettent en œuvre un procédé de positionnement sous-marin acoustique. Un système USBL complet comprend un émetteur-récepteur, qui est installé sur un navire ou sur un autre véhicule subaquatique, et un transpondeur sur le premier véhicule 13. L'ordinateur est utilisé afin de calculer une position à partir des distances 20 mesurées par l'émetteur-récepteur. Par exemple, une impulsion acoustique est transmise par l'émetteur-récepteur et est détectée par le transpondeur, qui lui-même répond avec sa propre impulsion acoustique. Cette impulsion de retour est détectée par l'émetteur-récepteur sur le navire ou sur un autre véhicule subaquatique. Le temps entre la transmission de l'impulsion 25 acoustique initiale et la détection de la réponse est mesuré par le système USBL et converti en une distance. Afin de calculer la position du premier véhicule 13, le système USBL calcule la distance et l'angle à partir de l'émetteur-récepteur jusqu'au premier véhicule 13. Les angles sont mesurés par l'émetteur-récepteur qui comprend un ensemble de transducteurs. 30 L'émetteur-récepteur comporte, par exemple, au moins trois transducteurs séparés au plus de 30 cm. Un système LBL utilise des balises posées sur le fond de mer ayant une position connue.

Le premier véhicule 13 peut prendre plusieurs formes, par exemple une forme de sous-marin ayant une section transversale sensiblement cylindrique ou ellipsoïdale. De préférence, le corps du premier véhicule 13 est en composite carbone, en verre ou dans un matériau non conducteur d'électricité. Le premier véhicule 13 comporte un système de flottabilité pouvant comprendre deux chambres destinées à être remplies par l'eau environnante, ou vidées de celle-ci, afin de contrôler la profondeur du premier véhicule 13. Par ailleurs, comme vu précédemment, le premier véhicule 13 comporte un moteur destiné à faire tourner les hélices permettant de produire une poussée. Les hélices reçoivent de l'eau via un conduit formé dans le corps du premier véhicule 13. Elles peuvent être également disposées à l'extérieur du véhicule 13. Le conduit comporte une ouverture permettant l'entrée de l'eau et une ouverture permettant l'expulsion de l'eau. Ces ouvertures peuvent être localisées sur l'avant, l'arrière ou les côtés du corps du premier véhicule 13. Le corps du premier véhicule 13 peut également comporter des conduits ou turbines afin de contrôler ses mouvements de rotation et/ou translation. On peut également apercevoir sur la figure 1, un deuxième véhicule subaquatique 11, de préférence autonome, et un troisième véhicule subaquatique 12, de préférence également autonome, appelés respectivement deuxième véhicule 11 et troisième véhicule 12. Les deuxième et troisième véhicules ont les mêmes caractéristiques que celles vues précédemment pour le premier véhicule 13. Le deuxième véhicule 11 est positionné d'un côté du pipeline et le troisième véhicule 12 est positionné à l'opposé de ce côté de manière à ce que le pipeline 1 se situe entre le deuxième véhicule 11 et le troisième véhicule 12. Par ailleurs, et de préférence, les axes longitudinaux des deuxième et troisième véhicules 11,12 sont sensiblement parallèles à la direction du pipeline 1 se situant entre les deuxième et troisième véhicules 11,12. Chacun des deuxième et troisième véhicules 11,12 comporte au moins un moyen de mesure du champ magnétique (non représenté), par exemple un magnétomètre trois axes. Chaque moyen de mesure du champ magnétique mesure la direction de celui-ci. La figure 2 est une illustration de la configuration mettant en œuvre le deuxième véhicule 11 et le troisième véhicule 12 permettant cette mesure. Les véhicules subaquatiques se

positionnent les uns par rapport aux autres à l'aide d'un réseau de positionnement et de communication acoustique comportant au moins un moyen de positionnement relatif de grande précision, de l'ordre de quelques centimètres, d'une portée de communication inférieure à 200 mètres et d'un

5 taux de transfert de données élevé, d'environ 100 bytes par seconde, permettant ainsi une comparaison à haute fréquence, c'est-à-dire plusieurs fois par seconde, des données provenant des capteurs installés sur chaque véhicule, tels que les capteurs de profondeur ou les moyens de mesure du champ magnétique. Sur la figure 2, on aperçoit la surface de l'eau 20, le fond

10 de mer 2 ainsi que le pipeline 1 dans une position partiellement ensouillée. On aperçoit également le deuxième véhicule 11 et le troisième véhicule 12 positionnés de part et d'autre du pipeline 1. Le deuxième véhicule 11 est situé à une première profondeur 21 et une première position X_1, Y_1, Z_1 par rapport à la surface de l'eau 20 et le troisième véhicule 12 est situé à une deuxième

15 profondeur 22 et une deuxième position X_2, Y_2, Z_2 par rapport à la surface de l'eau 20. Ces profondeurs et positions sont déterminées grâce à des capteurs de profondeur utilisés classiquement dans le domaine, tels que des sonars légers, l'IMU, le GPS ou le système USBL décrits précédemment, mais un positionnement absolu des véhicules n'est pas nécessaire, un positionnement

20 relatif des véhicules entre eux est suffisant. Un positionnement absolu peut être utile lorsqu'on veut, par exemple, tenir à jour la carte des positions d'un pipeline. Le deuxième véhicule 11 comporte un premier magnétomètre 28 indiquant la direction du pipeline 1 et le troisième véhicule 12 comporte un deuxième magnétomètre 29 indiquant la direction du pipeline 1. En effet, le

25 pipeline 1 fait varier le champ magnétique terrestre permettant ainsi aux premier et deuxième magnétomètres d'en déterminer la direction. Plus précisément, le premier magnétomètre 28 indique un premier angle 26 mesuré entre la verticale et une première direction 30 et le deuxième magnétomètre 29 indique un deuxième angle 27 mesuré entre la verticale et

30 une deuxième direction 31. Par ailleurs, les deuxième et troisième véhicules 11, 12 sont écartés d'une distance 23. La distance 23 est déterminée grâce aux divers moyens de positionnement, vus précédemment, qui sont installés sur chaque véhicule subaquatique. En effectuant un calcul de trigonométrie

faisant intervenir le premier angle 26, le deuxième angle 27 et les positions du deuxième véhicule 11 et du troisième véhicule 12 il est alors possible de déterminer précisément la position du pipeline 1. Le pipeline se situe à l'intersection de la première direction 30 et de la deuxième direction 31. Cette position est transmise au véhicule 13, appelé véhicule mesureur, qui adapte son trajet, en profondeur et également dans un plan horizontal par rapport à la surface de l'eau, en fonction de cette position afin de suivre précisément le pipeline pour effectuer une inspection, par exemple par caméra. Les images sont stockées dans l'ordinateur du véhicule 13 ou sinon envoyées directement par ondes acoustiques, WI-FI, RF, GSM ou Iridium vers un navire afin qu'elles soient analysées en temps réel. Dans un autre mode de réalisation de l'invention, il est possible de remplacer les magnétomètres directifs 28,29 décrits précédemment par des magnétomètres scalaires 28', 29' montés en gradiomètre. Dans ce mode de réalisation, le deuxième véhicule 11 et le troisième véhicule 12 se situent à la même profondeur. Le deuxième véhicule 11 comprend au moins un magnétomètre scalaire 28' mesurant une première amplitude du champ magnétique et le troisième véhicule 12 comprend au moins un magnétomètre scalaire 29' mesurant une deuxième amplitude du champ magnétique. Le pipeline 1 se situe à la verticale du barycentre des amplitudes mesurées. Il a été décrit une configuration mettant en œuvre des magnétomètres, mais il est également possible de monter en gradiomètre les magnétomètres 28,29, ou tout autre moyen de mesure de champ magnétique, tel qu'un système inductif de type bobine. De préférence et afin d'augmenter la précision de mesure, il peut être installé sur chaque véhicule au moins trois magnétomètres, fonctionnant en gradiomètre deux à deux: un premier magnétomètre à l'extrémité d'un premier aileron et un second à l'extrémité d'un deuxième aileron et finalement un troisième magnétomètre approximativement situé au milieu du véhicule subaquatique. Il est également possible de les installer transversalement ou longitudinalement par rapport au corps du véhicule. Il a été décrit jusqu'à maintenant un mode de réalisation de l'invention permettant d'inspecter un élément linéaire faisant varier le champ magnétique terrestre ou produisant un champ magnétique, comme par exemple un pipeline, une conduite ou même un câble électrique alimenté en

électricité. En revanche, lorsque l'élément linéaire est de petites dimensions, ou si celui-ci est un câble électrique non alimenté, son magnétisme est faible, voire nul, le mode de réalisation précédemment décrit ne fonctionne plus correctement. Un autre mode de réalisation de l'invention permet de résoudre

5 ce problème. Au moins l'un des deuxième et troisième véhicules 11,12 comporte en outre un système de bobines permettant d'induire un courant électrique dans l'élément linéaire 1 afin qu'il y soit induit un champ magnétique mesurable par les premier et deuxième magnétomètres 28,29. Ce mode de réalisation est particulièrement intéressant lorsque qu'on est amené

10 à inspecter des câbles électriques pouvant être éventuellement rompus, mais il peut également être mis en œuvre pour inspecter une chaîne d'ancrage, un tuyau de faibles dimensions, une fibre optique entourée d'une armure métallique ou des répéteurs liés à une fibre optique. Dans ce cas, étant donné que le câble électrique est rompu, il n'est plus traversé par un courant

15 électrique et par conséquent aucun champ magnétique n'est généré. L'arrangement entre le premier véhicule 13, le deuxième véhicule 11 et le troisième véhicule 12 est le même que celui montré sur les figures 1 et 2, hormis que le deuxième véhicule 11 et/ou le troisième véhicule 12 et/ou le premier véhicule 13 et/ou un quatrième véhicule comporte un système de

20 bobines apte à générer un courant électrique dans l'élément linéaire 1.

Il est montré sur la figure 3 un autre mode de réalisation de la présente invention. Il est représenté un système collaboratif de véhicules subaquatiques 31, de préférence autonomes. Ce système collaboratif 31 comprend un premier véhicule 32, appelé éclaireur, comportant un capteur

25 optique, tel qu'une caméra, afin de détecter les parties visibles de l'élément linéaire 33, par un exemple un pipeline, et ainsi déterminer sa trajectoire. Pour les cas où l'élément linéaire 33 n'est pas visible, car il recouvert de sable par exemple, le premier véhicule 32 ne fournit pas d'informations quant à sa trajectoire. Pour de tels cas, et afin d'améliorer le positionnement du système

30 collaboratif 31, un deuxième véhicule 34 comportant un capteur acoustique, tel qu'un sondeur de sédiments, ou une sonde multifaisceaux permet de déterminer si l'élément linéaire 33 est ensouillé. Une sonde multifaisceaux comporte plusieurs faisceaux afin de mesurer simultanément la profondeur

selon plusieurs directions. Dans un autre mode de réalisation, le premier véhicule 32 peut comporter un sondeur de sédiments à la place du capteur optique ou une sonde multifaisceaux ou une combinaison quelconque de ces trois capteurs. Afin de déterminer la position de l'élément linéaire 33

5 recouvert, il est mis également en œuvre un troisième véhicule 35 comprenant un premier magnétomètre et un quatrième véhicule 36 comportant un deuxième magnétomètre dans une configuration identique à celle décrite précédemment et telle que représentée sur les figures 1 et 2. Les informations provenant du premier véhicule 32, du troisième véhicule 35 et du quatrième

10 véhicule 36 sont transmises au deuxième véhicule 34 qui les fusionne et les traite afin de déterminer précisément la position de l'élément linéaire 33. Ces informations sont ensuite transmises à un cinquième véhicule 37, appelé mesureur. Le véhicule 37 se positionne par rapport au premier véhicule 32, au deuxième véhicule 34, au troisième véhicule 35 et au quatrième véhicule 36. Il

15 est chargé d'effectuer l'inspection de l'élément linéaire 33 au moyen, par exemple, d'une sonde multifaisceaux. Le cinquième véhicule 37 transmet ensuite les informations qui lui ont été transmises ainsi que les données acquises par lui-même à un sixième véhicule 38 et un septième véhicule 39 comportant chacun, par exemple, des sonars latéraux afin d'inspecter les

20 côtés ou au-dessous de l'élément linéaire 33. Pour le cas où l'élément linéaire 33 est un pipeline, cette inspection au-dessous de celui-ci va permettre de déterminer s'il est correctement posé sur le fond de mer et non entre deux dunes. En effet, cette configuration induit des contraintes dans le pipeline générant ainsi des problèmes de fatigue. Dans une autre configuration du

25 système collaboratif 31, les informations provenant du deuxième véhicule 34 sont transmises directement aux sixième et septième véhicules 38,39 sans passer par le cinquième véhicule 37. Les informations recueillies par le cinquième véhicule 37 sont transmises aux sixième et septième véhicules 38,39 et traitées directement par eux. Dans un autre mode de réalisation, les

30 sixième et septième véhicules 38,39 sont esclaves du cinquième véhicule 37 et suivent exactement la même trajectoire que ce dernier.

Dans tous les modes de réalisation, au moins un des véhicules subaquatiques peut comporter un ou plusieurs capteurs ou dispositifs tels que

des détecteurs ou mesureurs d'hydrocarbures, dans le cas de missions d'inspection de pipelines, des sonars latéraux, des sonars multifaisceaux, des caméras vidéos ou des mesureurs de profil ou tout autre système permettant de déterminer la géométrie, l'état de surface et les paramètres physicochimiques de l'environnement de l'élément linéaire(1, 33).

REVENDEICATIONS

1. Système collaboratif de véhicules subaquatiques (10) apte à suivre
5 un élément linéaire (1,33) immergé capable de faire varier ou de
produire un champ magnétique comprenant au moins un premier
véhicule subaquatique (13, 37, 38, 39) destiné au suivi de la position de
l'élément linéaire(1,33), un deuxième véhicule subaquatique (11,35)
10 comprenant au moins un premier système apte à indiquer sa position et
au moins un premier moyen de mesure (28) dudit champ magnétique
apte à indiquer un premier angle (26) mesuré entre la verticale et une
première direction (30) dudit champ magnétique, un troisième véhicule
subaquatique (12, 36) comprenant au moins un deuxième système apte
15 dudit champ magnétique apte à indiquer un deuxième angle (27)
mesuré entre la verticale et une deuxième direction (31) dudit champ
magnétique, le premier véhicule subaquatique (13, 37, 38, 39) étant
situé à la verticale ou en arrière des deuxième et troisième véhicules
subaquatiques (11, 35, 12, 36), au moins un desdits véhicules
20 subaquatiques (13, 37, 38, 39, 11, 12) comportant un moyen de calcul
de ladite position dudit élément linéaire (1, 33) et le premier véhicule
subaquatique (13, 37, 38, 39) étant apte à utiliser la position dudit
élément linéaire (1, 33) afin de le suivre.
2. Système collaboratif (10) selon la revendication 1, caractérisé en ce
25 qu'au moins un des véhicules subaquatiques (13, 37, 38, 39, 11, 12)
est autonome.
3. Système collaboratif (10) selon l'une quelconque des revendications
précédentes, caractérisé en ce que le moyen de calcul est situé sur le
premier véhicule subaquatique (13, 37, 38, 39).

4. Système collaboratif (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins un moyen de mesure (28, 29) dudit champ magnétique est un magnétomètre-gradiomètre.
5. Système collaboratif (10) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte en outre au moins un véhicule subaquatique (32) supplémentaire comportant un capteur optique.
6. Système collaboratif de véhicules subaquatiques (10) apte à suivre un élément linéaire (1,33) capable de faire varier ou de produire un champ magnétique comprenant au moins un premier véhicule subaquatique (13, 37, 38, 39) destiné au suivi de la position de l'élément linéaire (1,33), un deuxième véhicule subaquatique (11, 35) comprenant au moins un premier moyen de mesure apte à indiquer sa position et au moins un premier moyen de mesure (28') apte à mesurer une première amplitude dudit champ magnétique, un troisième véhicule subaquatique (12, 36) comprenant au moins un deuxième système apte à indiquer sa position et au moins un deuxième moyen de mesure (29') apte à mesurer une deuxième amplitude dudit champ magnétique, le premier véhicule subaquatique (13, 37, 38, 39) étant situé à la verticale ou en arrière des deuxième et troisième véhicules subaquatiques (11, 35, 12, 36), au moins un desdits véhicules subaquatiques (13, 37, 38, 39, 11, 12) comportant un moyen de calcul de ladite position de l'élément linéaire (1, 33) et le premier véhicule subaquatique (13, 37, 38, 39) étant apte à utiliser la position dudit élément linéaire (1, 33) afin de le suivre.
7. Procédé de suivi d'un élément linéaire (1,33), ledit procédé comprenant les étapes suivantes:
- 1) mettre en œuvre un système collaboratif de véhicules subaquatiques (10) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6;

- 5 2) calculer la position dudit élément linéaire (1,33) en se basant sur ladite position du deuxième véhicule subaquatique (11, 35), ladite position du troisième véhicule subaquatique (12, 36), la mesure dudit premier angle (26) ou de la première amplitude et la mesure dudit deuxième angle (27) ou de la deuxième amplitude;
- 3) utiliser la position calculée afin de suivre l'élément linéaire (1,33) au moyen du au moins premier véhicule subaquatique (13, 37, 38, 39).
- 10 8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'élément linéaire (1, 33) est un pipeline.
9. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'au moins un des véhicules subaquatiques (11, 12, 35, 36) comporte un moyen d'induction induisant un courant électrique dans l'élément linéaire (1, 33).
- 15 10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le moyen d'induction comprend au moins une bobine.

2/3

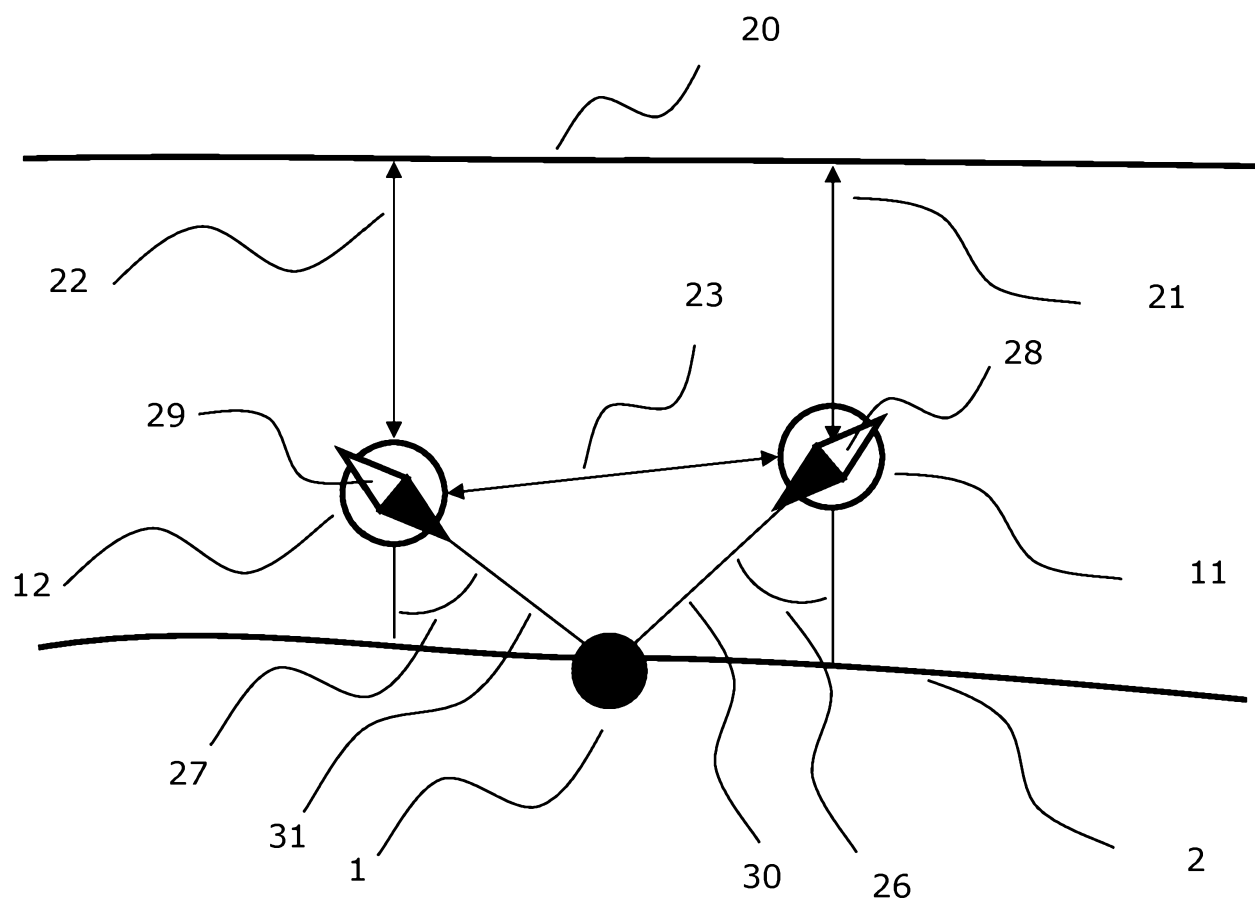


FIG. 2



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 841545
FR 1754905

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	US 5 894 450 A (SCHMIDT HENRIK [US] ET AL) 13 avril 1999 (1999-04-13) * colonne 5, ligne 27 - ligne 47 * * colonne 4, ligne 65 - colonne 5, ligne 4 * * colonne 9, ligne 60 - ligne 65 * * colonne 10, ligne 12 - ligne 35; revendication 26 * * colonne 4, ligne 19 - ligne 26 *	1-9	B63C11/52 B63G8/00
A	US 2016/146758 A1 (GOROSHEVSKIY VALERIAN [RU] ET AL) 26 mai 2016 (2016-05-26) * le document en entier *	1-9	
A	WO 2015/134473 A2 (C & C TECHNOLOGIES INC [US]) 11 septembre 2015 (2015-09-11) * le document en entier *	1	
A	EP 2 452 868 A1 (ATLAS ELEKTRONIK GMBH [DE]) 16 mai 2012 (2012-05-16) * le document en entier *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B63G G01C G01N G01S G01V H04B
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		24 janvier 2018	Barré, Vincent
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1754905 FA 841545**

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 **24-01-2018**
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
US 5894450	A	13-04-1999	AUCUN	

US 2016146758	A1	26-05-2016	AUCUN	

WO 2015134473	A2	11-09-2015	EP 3113971 A2	11-01-2017
			US 2017074664 A1	16-03-2017
			WO 2015134473 A2	11-09-2015

EP 2452868	A1	16-05-2012	CA 2756907 A1	11-05-2012
			EP 2452868 A1	16-05-2012
			US 2012118217 A1	17-05-2012
