

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale

WO 2016/166477 A1

(43) Date de la publication internationale
20 octobre 2016 (20.10.2016)

WIPO | PCT

- (51) Classification internationale des brevets :
G01N 33/24 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2016/050860
- (22) Date de dépôt international :
14 avril 2016 (14.04.2016)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1553355 15 avril 2015 (15.04.2015) FR
- (71) Déposant : INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE
POUR L'EXPLOITATION DE LA MER - IFREMER
[FR/FR]; 155 rue Jean-Jacques Rousseau, 92138 Issy-les-
moulineaux Cedex (FR).
- (72) Inventeurs : WOERTHER, Patrice; 14 route de Toul-
broch, 29280 Plouzane (FR). JEGOU, Paul; 18 rue Vau-
venargues, 29200 Brest (FR). GUILLEMOT, Anne; 735
rue de Kervilon, 29810 Plouarzel (FR). LE VOURC'H,
Damien; Kerveur, 29870 Lannilis (FR). LE PIVER, Da-
vid; 3 rue Jacques Bergeret, 29200 Brest (FR). FER-
RANT, Antony; Impasse des Cyprès, 29810 Plouarzel
(FR). COAIL, Jean-Yves; Kerborc'hel, 29280 Plouzane
(FR). ROUDAUT, Mickael; 12 rue de Rugleis, 29890
Plouneour Trez (FR).
- (74) Mandataire : HAYS, Bertrand; Novagraaf Technologies,
12 place des Halles Saint Louis, 56108 Lorient (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD OF DETERMINING THE INTERSTITIAL PRESSURE IN THE MARINE SEDIMENT AND CORRESPONDING DEVICE

(54) Titre : PROCÉDÉ DE DÉTERMINATION DE LA PRESSION INTERSTITIELLE DANS LE SEDIMENT MARIN ET DISPOSITIF CORRESPONDANT

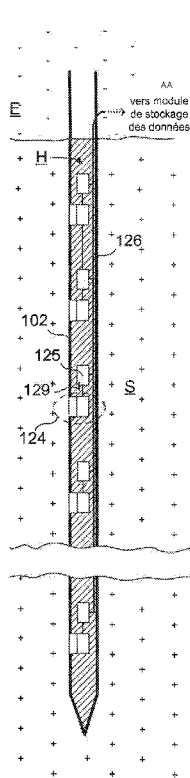


FIG.6

(57) Abstract : The present invention relates to a method of determining the interstitial pressure in the marine sediment at various depths, characterized in that it comprises the following steps: - sinking into the marine sediment a hollow rod equipped with a plurality of pressure sensors and temperature sensors disposed along the rod, said rod being filled with dielectric liquid, - measuring by means of the pressure sensors the pressure in the sediment with respect to the pressure of the dielectric liquid in the rod for a plurality of depth levels, - determining by means of the temperature sensors the temperature in proximity to the pressure sensors, and determining a real value of interstitial pressure for each of the depth levels on the basis of the pressure measurements provided by the pressure sensors and the temperature measurements provided by the temperature sensors.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé de détermination de la pression interstitielle dans le sédiment marin à différentes profondeurs, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes: - enfoncer dans le sédiment marin une tige creuse équipée d'une pluralité de capteurs de pression et de capteurs de température disposés le long de la tige, ladite tige étant remplie de liquide diélectrique, - mesurer au moyen des capteurs de pression la pression dans le sédiment par rapport à la pression du liquide diélectrique dans la tige pour une pluralité de niveaux de profondeur, - déterminer au moyen des capteurs de température la température à proximité des capteurs de pression, et déterminer une valeur réelle de pression interstitielle pour chacun des niveaux de profondeur à partir des mesures de pression fournies par les capteurs de pression et les mesures de température fournies par les capteurs de température.

AA To data storage module

WO 2016/166477 A1



HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,

DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h)

**PROCÉDÉ DE DÉTERMINATION DE LA PRESSION INTERSTITIELLE
DANS LE SEDIMENT MARIN ET DISPOSITIF CORRESPONDANT**

Domaine technique

5 La présente invention se rapporte au domaine de la géotechnique pour la mesure de la pression interstitielle dans le sédiment marin. L'invention concerne un procédé de détermination de la pression interstitielle dans le sédiment marin à différents
10 niveaux de profondeur et un dispositif pour mettre en œuvre ledit procédé.

Etat de la technique

Il existe actuellement des dispositifs de mesure de pression interstitielle in-situ dans le sédiment marin.
15 On connaît notamment le dispositif, appelé piézomètre V2, développé par l'IFREMER pour mesurer la pression interstitielle et la température dans le sédiment marin à des profondeurs allant jusqu'à 6000 mètres. Un tel dispositif est représenté schématiquement aux figures 1
20 à 3. Les figures étant des représentations schématiques, les proportions des éléments du dispositif ne sont pas nécessairement respectées.

En référence aux figures 1 et 2, ce dispositif, référencé 1 dans la figure 1, comprend essentiellement
25 une tige instrumentée perdable 2 et un lest 3 et un module électronique 4 tous deux récupérables. Le module électronique et le lest sont disposés à l'extrémité supérieure de la tige. La tige 2 est équipée d'une

pluralité de capteurs de pression associés à des cartes électroniques d'acquisition des mesures et est destinée à être enfoncée dans le sédiment S de façon gravitaire au moyen du lest 3.

5 Le module électronique 4 comprend des moyens de stockage pour stocker les mesures de pression, des moyens d'alimentation pour alimenter en énergie les cartes électroniques associées aux capteurs de pression, un largueur acoustique pour libérer le module
10 électronique et des moyens pour le faire remonter à la surface après la phase de mesure.

Des moyens de largage (non représentés) sont également prévus au niveau du lest 3 pour le déconnecter de la tige après le "planté" de cette dernière dans le
15 sédiment.

La tige 2 perdable comprend une pluralité de tronçons de tube 20 reliés entre eux par des éléments de liaison 21, un cône de pénétration 22 à son extrémité inférieure pour faciliter l'enfoncement de la tige dans
20 le sédiment et une jupe 23 dans sa partie supérieure pour éviter que la tige ne s'enfonce entièrement dans le sédiment.

La tige 2 est par ailleurs équipée de capteurs de pression 24 disposés au niveau des éléments de liaison
25 21, de cartes électroniques associées 25 pour l'acquisition des résultats de mesure issus des capteurs de pression, d'un bus numérique de communication 26 pour relier les cartes électroniques 25 au module électronique 4. Les tronçons de tube et

les éléments de liaison sont connectés entre eux par vissage ou tout autre moyen de liaison.

La tige est réalisée en un matériau rigide pour éviter qu'elle ne se déforme au moment de son enfoncement dans le sédiment. Les capteurs de pression 24 sont placés à intervalles prédéfinis, au niveau des éléments de liaison 21, le long de la tige. Ce sont des capteurs différentiels qui mesurent la différence entre la pression hydrostatique d'une colonne d'eau reliée à l'interface eau/sédiment et la pression dans le sédiment au niveau du capteur. A cet effet, l'extrémité supérieure de la tige 2 est ouverte sur le milieu extérieur, à savoir le milieu marin, pour que l'eau puisse parvenir jusqu'aux capteurs de pression.

Une vue schématique partielle en coupe de la tige au niveau d'un élément de liaison 21 est montrée à la figure 3. L'élément de liaison 21 est représenté en trait hachuré. Il comprend une cavité débouchant sur le milieu extérieur pour recevoir le capteur de pression 24. Ce capteur comprend deux éléments sensibles 24a et 24b à la pression à ses deux extrémités. Lorsque la tige est enfoncée dans le sédiment, l'élément sensible 24a est en contact avec le sédiment via une pierre poreuse 27. L'autre élément sensible, 24b, est en contact avec une colonne d'eau reliée à l'interface eau/sédiment (extrémité supérieure ouverte de la tige). Pour assurer la continuité de la colonne d'eau entre l'extrémité ouverte de la tige (présente au niveau de l'interface eau/sédiment) et l'élément sensible 24b, l'élément de liaison 21 est pourvu d'un canal interne

21a traversant de part en part dans le sens vertical l'élément de liaison. L'élément sensible 24b est en contact avec l'eau présente dans ce canal interne.

Par ailleurs, tous les circuits électroniques à l'intérieur de la tige, à savoir les cartes électroniques 25, la partie électronique des capteurs 24 et le bus numérique de communication 26, sont isolés de la partie de la tige remplie d'eau et sont disposés dans une partie remplie d'huile. A cet effet, l'élément de liaison 21 comporte un autre canal interne, référencé 21b, traversant de part en part l'élément de liaison et dans lequel sont disposés la partie électronique du capteur de pression 24, la carte électronique 25 associée au capteur et le bus numérique de communication 26. Les canaux internes 21b des éléments de liaison 21 successifs sont connectés entre eux par des tuyaux souples 28 remplis d'huile. Des joints toriques 29 sont prévus à divers endroits de l'élément de liaison 21 pour assurer l'étanchéité entre le sédiment et l'intérieur de la tige ainsi que l'étanchéité entre la partie en huile et la partie en eau.

Avec ce dispositif, le capteur de pression mesure la différence entre la pression hydrostatique d'une colonne d'eau reliée à l'interface eau/sédiment (pression captée par l'élément sensible 24b) et la pression dans le sédiment au niveau du capteur (pression captée par l'élément sensible 24a). Cette mesure est transmise au module électronique 4 via la

carte électronique 25 et le bus numérique de communication 26.

Ce dispositif présente les inconvénients suivants. La longueur de la tige de ce dispositif est actuellement
5 limitée à 15 mètres en raison des contraintes de taille des appareils de mise à l'eau et de récupération du dispositif. On est donc limité à 6 ou 10 capteurs disposés le long de la tige.

Par ailleurs, ce dispositif nécessite un diamètre de
10 tige suffisamment grand pour recevoir les capteurs de pression différentielle, les cartes électroniques, le bus numérique de communication et les deux réseaux de liquide, à savoir le réseau d'eau renfermant la colonne d'eau nécessaire à la mesure de pression différentielle
15 et un réseau d'huile pour l'électronique du système.

Résumé de l'invention

Un objet de l'invention est de proposer un procédé et un dispositif de mesure de pression interstitielle qui permette d'effectuer des mesures de pression à de plus
20 grandes profondeurs dans le sédiment tout en ayant un encombrement réduit au moment de sa mise à l'eau.

A cet effet, l'invention concerne un procédé de détermination de la pression interstitielle dans le sédiment marin à différentes profondeurs, ledit procédé
25 comportant les étapes suivantes:

- enfoncer dans le sédiment marin une tige creuse équipée d'une pluralité de capteurs de pression et de

capteurs de température disposés le long de la tige, ladite tige étant remplie de liquide diélectrique,

- mesurer au moyen des capteurs de pression la pression dans le sédiment par rapport à la pression du liquide diélectrique dans la tige pour une pluralité de niveaux de profondeur,
- déterminer au moyen des capteurs de température la température à proximité des capteurs de pression, et
- déterminer une valeur réelle de pression interstitielle pour chacun des niveaux de profondeur à partir des mesures de pression fournies par les capteurs de pression et les mesures de température fournies par les capteurs de température.

Ainsi, selon l'invention, la tige est remplie de liquide diélectrique qui peut être de l'huile, les capteurs de pression sont des capteurs relatifs aptes à mesurer chacun la pression dans le sédiment par rapport à la pression du liquide diélectrique dans la tige pour un niveau de profondeur donné et les capteurs de température sont aptes à mesurer la température du liquide diélectrique à proximité des capteurs de pression. Cela permet d'utiliser des capteurs avec un encombrement réduit et de supprimer la partie remplie d'eau (réseau d'eau) des dispositifs de l'art antérieur. La mesure de pression n'est plus réalisée par une mesure différentielle entre la pression dans le sédiment et la pression d'une colonne d'eau comme dans les dispositifs de l'art antérieur. La suppression de la partie en eau (ou réseau d'eau) dans la tige et l'utilisation de capteurs de pression relatifs permet de réduire le diamètre de la tige et de faciliter son

cintrage et son décintrage. La mesure de température permet de corriger la mesure de pression relative ou de calculer les flux de chaleur.

Selon un mode de réalisation particulier, les capteurs
5 de température sont présents à l'intérieur de la tige pour mesurer la température du liquide diélectrique au niveau de chaque capteur de pression.

Selon un mode de réalisation particulier, la tige est
10 enfoncée dans le sédiment marin à l'aide d'un pénétromètre à tambour, ladite tige étant enroulée par cintrage autour du tambour avant enfoncement. Une fois posé sur le fond marin, la tige est déroulée puis redressée mécaniquement par le pénétromètre avant d'être enfoncée dans le sédiment.

15 Selon un mode de réalisation particulier, le liquide diélectrique est de l'huile.

L'invention concerne également un dispositif de mesure de pression interstitielle dans le sédiment marin comprenant:

- 20 - une tige creuse remplie de liquide diélectrique et destinée à être enfoncée dans le sédiment marin,
- une pluralité de capteurs de pression disposés le long de la tige pour mesurer la pression interstitielle dans le sédiment marin à différentes profondeurs,
25 - une pluralité de capteurs de température disposés à proximité des capteurs de pression pour mesurer la température à proximité des capteurs de pression,
- une pluralité de cartes d'acquisition des mesures connectées chacune à un capteur de pression et à un

capteur de température, et un bus numérique de communication pour transmettre les données de mesure vers l'extérieur de la tige, ladite pluralité de cartes d'acquisition de mesure et le bus numérique de communication étant disposés à l'intérieur de la tige remplie de liquide diélectrique, dans lequel les capteurs de pression sont des capteurs relatifs et sont agencés dans la tige pour chacun mesurer, pour une profondeur donnée, la pression dans le sédiment par rapport à la pression du liquide diélectrique dans la tige.

Selon un mode de réalisation particulier, les capteurs de température sont présents à l'intérieur de la tige pour mesurer la température du liquide diélectrique au niveau de chaque capteur de pression.

Selon un mode de réalisation particulier, la tige comporte une pluralité de tronçons (120) assemblés entre eux par des éléments de liaison (121) étanches.

Selon un mode de réalisation particulier, les tronçons de tube et les éléments de liaison sont réalisés en un matériau ductile, tel que de l'acier inoxydable X2CrNiMo 17-12-2.

Selon un mode de réalisation particulier, la tige comporte un capteur de pression et un capteur de température par tronçon de tube ou par élément de liaison.

Selon un mode de réalisation particulier, le liquide diélectrique à l'intérieur de la tige est de l'huile.

L'invention concerne également un système de mesure de pression interstitielle dans le sédiment marin à différents niveaux de profondeur, comprenant un dispositif tel que défini précédemment et un
5 pénétromètre pour enfoncer la tige dans le sédiment marin, ledit pénétromètre comprenant un tambour autour duquel est enroulée la tige avant enfoncement et des moyens d'enfoncement de la tige dans le sédiment marin, la tige étant apte à être au moins une fois enroulée
10 par cintrage autour du tambour et déroulée du tambour et lesdits moyens d'enfoncement étant aptes à dérouler et redresser mécaniquement la tige du tambour puis l'enfoncer dans le sédiment marin.

L'utilisation d'un pénétromètre à tambour et d'une tige apte être enroulée par cintrage autour de ce tambour
15 puis déroulée par décintrage permet d'atteindre de très grandes profondeurs dans le sédiment tout en ayant un encombrement réduit au moment de la mise à l'eau du système.

20 D'autres avantages pourront encore apparaître à l'homme du métier à la lecture des exemples ci-dessous, illustrés par les figures annexées, donnés à titre illustratif.

Brève description des figures

25 – La figure 1, déjà décrite, est une vue d'ensemble d'un système de mesure de pression interstitielle dans le sédiment marin selon l'art antérieur;

- La figure 2, déjà décrite, est une vue schématique en coupe de la tige équipée de capteurs de pression du système de la figure 1;
- La figure 3, déjà décrite, est une vue en coupe
5 détaillée de la tige du système des figures 1 et 2 au niveau d'un élément de liaison de la tige;
- La figure 4 est une vue d'ensemble d'un système de mesure de pression interstitielle dans le sédiment marin selon l'invention, avant enfoncement de la tige
10 dans le sédiment;
- La figure 5 est une vue d'ensemble du système de la figure 4 après enfoncement de la tige dans le sédiment;
- La figure 6 est une vue schématique en coupe de
15 la tige équipée de capteurs de pression du système des figures 4 et 5; et
- La figure 7 est une vue en coupe détaillée de la tige du système des figures 4 et 5 au niveau d'un élément de liaison de la tige.

20 **Description détaillée de l'invention**

Selon l'invention, la tige instrumentée du système de mesure de pression interstitielle est conçue pour être enfoncée dans le sédiment à l'aide d'un pénétromètre à tambour, tel que le pénétromètre PENFELD. A cet effet,
25 les tronçons de tube et les éléments de liaison de la tige sont réalisées en un matériau ductile de manière à ce que la tige puisse être cintrée puis enroulée autour

du tambour du pénétromètre. Par ailleurs, les capteurs de pression employés sont des capteurs de mesure relative aptes à mesurer la pression dans le sédiment par rapport à la pression dans une partie de la tige
5 remplie d'un liquide diélectrique tel que de l'huile.

Nous allons tout d'abord décrire ce qu'est un pénétromètre à tambour, et plus particulièrement le pénétromètre Penfeld. Un tel pénétromètre est par exemple décrit dans l'article intitulé "Le pénétromètre
10 Penfeld" de J.Meunier, N.Sultan, P.Jégou, F.Harmegnies, SeatechWeek 2004, caractérisation des fonds, 21-22 octobre 2004.

Le pénétromètre Penfeld est un équipement lourd développé au début des années 2000 par Ifremer pour
15 effectuer des mesures géotechniques sur les fonds sédimentaires immergés allant des zones côtières peu profondes aux plaines abyssales de 6000 mètres de fond. C'est un engin opérationnel d'investigation géotechnique des sols sous-marins capable d'enfoncer à
20 une vitesse constante une tige continue de 36 mm de diamètre extérieur.

Le pénétromètre est déposé sur le fond marin à l'aide d'un câble d'un navire et y reste pendant toute la durée des opérations de mesure géotechnique ou de
25 déploiement de la tige instrumentée. Il est habituellement utilisé pour enfoncer dans le sédiment une tige, d'un seul tenant, muni au niveau de son extrémité inférieure (ou pointe) d'un ou plusieurs capteurs. La tige est stockée enroulée sur un tambour
30 de 2,25 m de diamètre, ce qui permet d'obtenir un engin

dont l'encombrement est réduit et adapté aux conditions de transport terrestre et maritime. La tige est enroulée autour du tambour selon la méthode du «coiled tubing» qui consiste à cintrer la tige par déformation
5 plastique. Pour son enfoncement dans le sédiment, la tige est redressée plastiquement puis poussée dans le sol.

En référence à la figure 4, le pénétromètre, référencé 100, comporte sommairement un châssis 101 supportant
10 les différents éléments du pénétromètre et destiné à être posé sur le fond marin, un tambour 104 comprenant un axe cylindrique autour duquel est enroulée la tige 102 par cintrage et un moyen d'enfoncement 105 de la tige, appelé «injecteur», qui enserre la tige entre
15 deux chaînes entraînées par un moteur, la déroule du tambour, la redresse au moyen de galets et l'enfonce dans le sédiment marin.

Le poids de l'engin dans l'air est de 93 kN. Son poids dans l'eau est de 65 kN. La réaction du sol est limitée
20 à 50 kN.

Selon l'invention, ce pénétromètre est utilisé pour enfoncer une tige formée d'une pluralité de tronçons de tube assemblés entre eux par des éléments de liaison et équipée d'une pluralité de capteurs de pression et de
25 température disposés le long de celle-ci. Le pénétromètre étant connu pour enfoncer une tige d'un seul tenant ayant des capteurs uniquement au niveau de sa pointe, l'invention a consisté à réaliser une tige tel que précitée (formée de plusieurs tronçons de tube)
30 qui puisse supporter au moins une opération de cintrage

et une opération de décintrage sans endommager les capteurs et sans dégrader la tenue mécanique et l'étanchéité de la tige. L'invention a également consisté à réaliser une tige ayant un diamètre
5 identique à celui des tiges enfoncées habituellement par le pénétromètre Penfeld, à savoir un diamètre de l'ordre de 36 mm, pour ne pas avoir à modifier ce dernier. Cette réduction de diamètre de la tige a notamment été obtenue par l'utilisation de capteurs de
10 mesure de pression relative plus compacts que les capteurs de mesure de pression différentielle habituellement employés.

Un système de mesure de pression interstitielle conforme à l'invention est décrit en référence aux
15 figures 4 à 7.

La figure 4, déjà décrite partiellement ci-dessus, est une vue d'ensemble d'un système de mesure de pression interstitielle conforme à l'invention avant enfoncement de la tige 102 dans le sédiment. La tige est alors
20 enroulée autour du tambour 103 du pénétromètre. La figure 5 représente la même vue après enfoncement de la tige 102 dans le sédiment marin.

La tige 102 est composée d'une pluralité de tronçons de tube 120 assemblés entre eux par des éléments de
25 liaison 121 visibles sur les figures 4 et 5. Elle comporte une pointe 122 à son extrémité inférieure. Les tronçons de tube 120 sont connectés aux éléments de liaison 121 par vissage. A cet effet, les extrémités de tronçon de tube à assembler comportent un filetage
30 intérieur et les extrémités des éléments de liaison un

filetage extérieur (filetages visibles sur la figure 7).

La tige est équipée de capteurs de pression 124 répartis le long de la tige. Dans l'exemple présenté,
5 les capteurs 124 sont présents au niveau des éléments de liaison 121. Selon une variante, les capteurs peuvent être disposés au niveau de tronçons de tube. La tige comporte également des capteurs de température 129, un capteur de température 129 étant disposé à
10 proximité de chacun des capteurs de pression 124.

La figure 6 est une vue schématique en coupe de la tige 102 selon l'invention et la figure 7 est une vue partielle plus détaillée de cette tige. La tige creuse est remplie d'un liquide diélectrique tel que de
15 l'huile H. Chaque capteur de pression 124 et chaque capteur de température 129 est relié à une carte électronique d'acquisition des mesures 125. Dans les figures 6 et 7, la carte électronique 125 étant disposée à proximité du capteur de pression 124, le
20 capteur de température 126 est monté directement sur la carte électronique 125.

Les cartes électroniques 125 sont reliées à un module de stockage des données (extérieur à la tige) par un bus numérique de communication 126.

25 Les cartes électroniques 125 et le bus numérique de communication sont présents dans la partie en huile de la tige.

Selon un premier aspect important de l'invention, les tronçons de tube 120 et les éléments de liaison 121 sont réalisés en un matériau ductile de manière à ce que la tige puisse être enroulée autour du tambour du pénétrromètre et puisse être déroulée pendant la phase de pénétration dans le sédiment S. Lors des opérations de cintrage et de décintrage, le filetage des tronçons et des éléments de liaison peut se déformer. Cependant l'utilisation d'un matériau ductile permet à la tige de conserver une bonne tenue mécanique et une parfaite étanchéité. Selon un mode de réalisation particulier, les tronçons de tube 120 et les éléments de liaison 121 sont réalisés en acier inoxydable X2CrNiMo 17-12-2 (316L).

Selon un autre aspect important de l'invention, les capteurs 124 sont des capteurs de mesure de pression relative aptes à mesurer, pour un niveau de profondeur donné, la pression dans le sédiment par rapport à la pression de l'huile dans la tige. Chacun des capteurs est disposé dans une cavité transversale de l'élément de liaison 121 de pouvoir à être en contact, d'un côté, avec le sédiment S au travers d'une pierre poreuse 127, et, de l'autre côté, avec l'huile H présente dans la tige. A cet effet, l'élément de liaison comporte un canal interne, référencé 121a, traversant verticalement et de part en part l'élément de liaison et dans lequel sont disposés la partie électronique du capteur de pression 124, la carte électronique 125, le capteur de température 129 et le bus numérique de communication 126.

Des joints toriques 128 sont prévus à divers endroits de l'élément de liaison 121 pour assurer l'étanchéité entre le sédiment et l'intérieur de la tige.

Les capteurs 124 mesurent la pression dans le sédiment par rapport à celle exercée par l'huile H sur le capteur. L'huile utilisée est par exemple une huile minérale.

Une fois cette mesure effectuée, il faut y apporter une correction pour obtenir la valeur réelle de la pression interstitielle dans le sédiment. Cette correction est fonction de la température du milieu au niveau du capteur. Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, on mesure la température de l'huile à l'intérieur de la tige au niveau du capteur. A cet effet, la carte électronique 125 est équipée d'une sonde de température 129 pour mesurer la température du milieu à proximité du capteur. En variante, on mesure la température du sédiment au niveau du capteur pour déterminer la correction à apporter. En pratique, la température à l'intérieur de la tige et à l'extérieur de la tige tend à s'équilibrer, ce qui fait que la mesure de la température de l'huile revient à mesurer la température du sédiment.

La correction ΔP à apporter à la mesure de pression est la suivante:

$$\Delta P = \rho_{\text{eau}} * g * h - \rho_{\text{huile}} * g * h = (\rho_{\text{eau}} - \rho_{\text{huile}}) * g * h$$

Où ρ_{huile} désigne la masse volumique de l'huile pour une température et une pression données;

- ρ_{eau} désigne la masse volumique de l'eau de mer pour une température et une pression données;

- h désigne la distance entre le capteur et l'interface eau / sédiment.

5 Pour une mesure effectuée à 50 mètres sous l'interface eau/sédiment à 15 °C, à faible profondeur, la correction ΔP à apporter est égale à:

$$\Delta P = g \cdot h \cdot (\rho_{\text{eau}} - \rho_{\text{huile}}) = 9,81 \cdot 50 \cdot (1,029 - 0,851) = 87,3 \text{ kPa.}$$

10 Cette valeur ΔP est à additionner à la valeur mesurée par le capteur.

Un capteur de mesure de pression relative présente un encombrement réduit par rapport à un capteur de mesure différentielle. L'utilisation d'un tel capteur permet à la fois de supprimer la partie en eau présente dans les systèmes de l'art antérieur et réduire le diamètre de la tige pour qu'elle soit proche des diamètres de tige exploitables par le pénétromètre Penfeld.

20 Le mode de réalisation décrit ci-dessus est donné à titre d'exemple. Il est évident pour l'homme de l'art qu'il peut être modifié, notamment quant à la position des capteurs de pression, des capteurs de température et des cartes électroniques associées. Ces éléments peuvent par exemple être déportés dans les tronçons de tube 120.

25

REVENDICATIONS

1) Procédé de détermination de la pression interstitielle dans le sédiment marin à différentes profondeurs, caractérisé en ce qu'il comporte les
5 étapes suivantes:

- enfoncer dans le sédiment marin une tige creuse équipée d'une pluralité de capteurs de pression et de capteurs de température disposés le long de la tige, ladite tige étant remplie d'un liquide diélectrique,

10 - mesurer au moyen des capteurs de pression la pression dans le sédiment par rapport à la pression du liquide diélectrique dans la tige pour une pluralité de niveaux de profondeur,

15 - déterminer au moyen des capteurs de température la température à proximité des capteurs de pression, et

- déterminer une valeur réelle de pression interstitielle pour chacun des niveaux de profondeur à partir des mesures de pression fournies par les capteurs de pression et les mesures de température
20 fournies par les capteurs de température.

2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les capteurs de température sont présents à l'intérieur de la tige pour mesurer la température du
25 liquide diélectrique au niveau de chaque capteur de pression.

3) Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la tige est enfoncée dans le
30 sédiment marin à l'aide d'un pénétromètre à tambour,

ladite tige étant enroulée autour du tambour avant enfoncement.

4) Procédé selon l'une quelconque des
5 revendications précédentes, caractérisé en ce que le liquide diélectrique est de l'huile.

5) Dispositif de mesure de pression
interstitielle dans le sédiment marin caractérisé en ce
10 qu'il comprend:

- une tige (102) creuse remplie de liquide diélectrique (H) et destinée à être enfoncée dans le sédiment marin,

- une pluralité de capteurs de pression (124)
15 disposés le long de la tige pour mesurer la pression interstitielle dans le sédiment marin à différentes profondeurs,

- une pluralité de capteurs de température (129)
disposés à proximité des capteurs de pression pour
20 mesurer la température à proximité des capteurs de pression,

- une pluralité de cartes (125) d'acquisition des mesures connectées chacune à un capteur de pression et à un capteur de température, et un bus numérique de
25 communication (126) pour transmettre les données de mesure vers l'extérieur de la tige, ladite pluralité de cartes d'acquisition de mesure et le bus numérique de communication étant disposés à l'intérieur de la tige remplie de liquide diélectrique,

30 et en ce que les capteurs de pression sont des capteurs relatifs et sont agencés dans la tige pour

chacun mesurer, pour une profondeur donnée, la pression dans le sédiment par rapport à la pression de du liquide diélectrique dans la tige.

5 6) Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que les capteurs de température sont présents à l'intérieur de la tige pour mesurer la température du liquide diélectrique au niveau de chaque capteur de pression.

10

7) Dispositif selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que la tige comporte une pluralité de tronçons (120) assemblés entre eux par des éléments de liaison (121) étanches.

15

8) Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que les tronçons de tube et les éléments de liaison sont réalisés en un matériau ductile, tel que de l'acier inoxydable X2CrNiMo 17-12-2.

20

9) Dispositif selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce que la tige comporte un capteur de pression et un capteur de température par tronçon de 25 tube ou par élément de liaison.

10) Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 9, caractérisé en ce que le liquide diélectrique est de l'huile.

30

11) Système de mesure de pression interstitielle dans le sédiment marin à différents niveaux de profondeur, comprenant un dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 10,

5 caractérisé en ce qu'il comporte en outre un pénétromètre (101) pour enfoncer la tige dans le sédiment marin (S), ledit pénétromètre comprenant un tambour (104) autour duquel est enroulée la tige avant enfoncement et des moyens d'enfoncement (105) de la
10 tige dans le sédiment marin, la tige étant apte à être au moins une fois enroulée par cintrage autour du tambour et déroulée du tambour et lesdits moyens d'enfoncement étant aptes à dérouler et redresser mécaniquement la tige du tambour puis l'enfoncer dans
15 le sédiment marin.

|

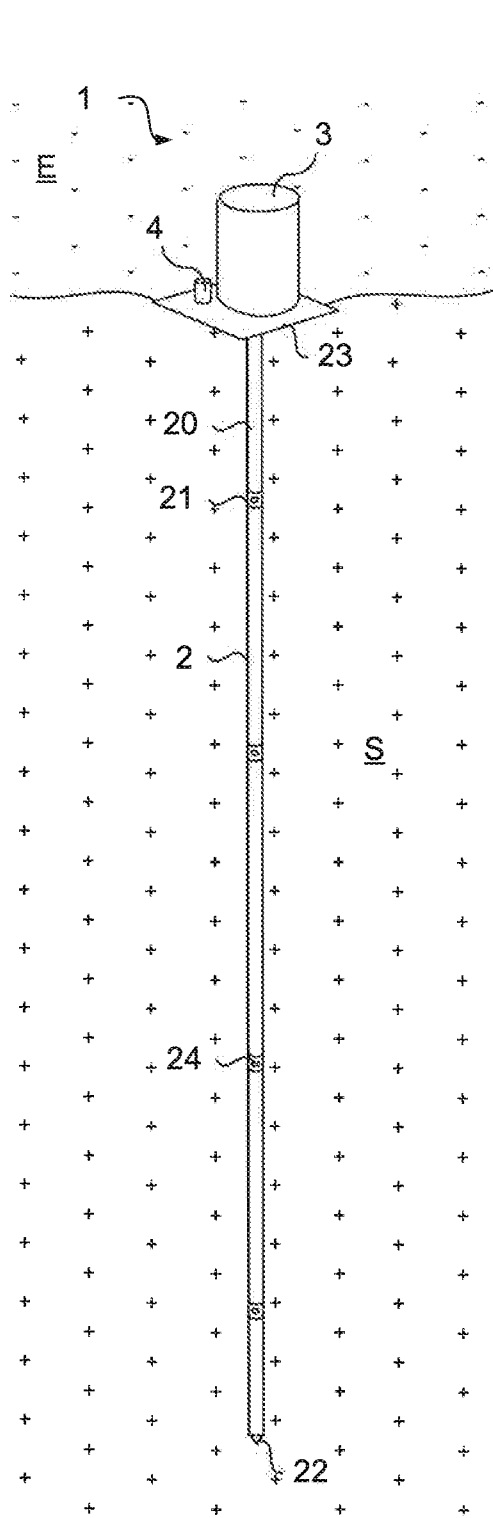


FIG. 1
(Art antérieur)

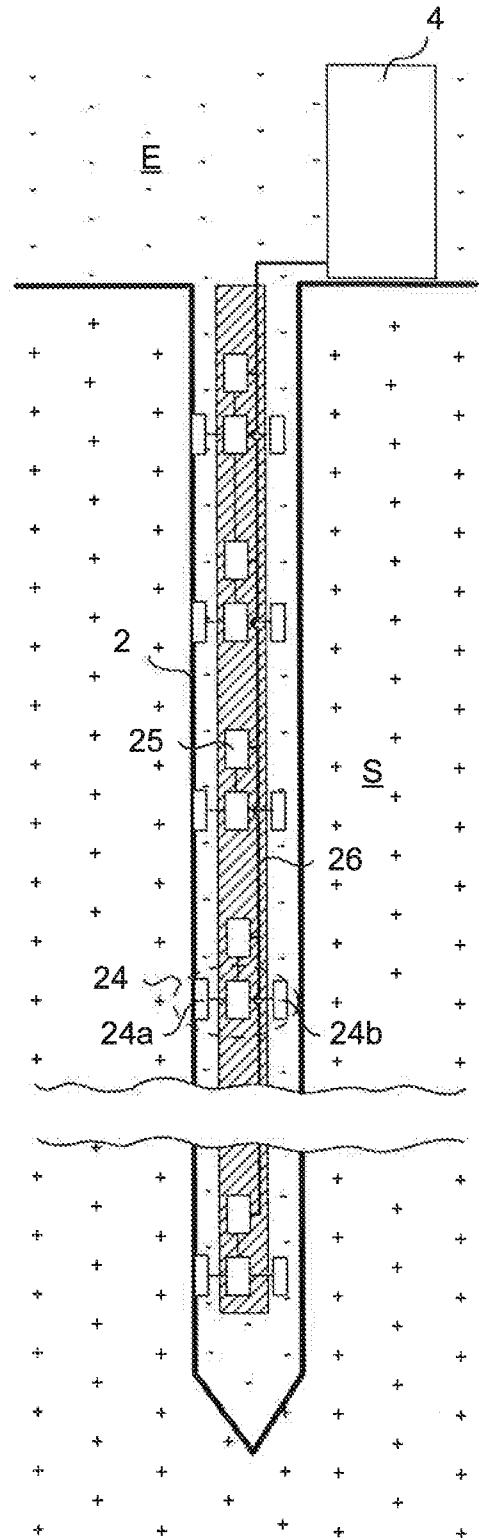


FIG. 2
(Art antérieur)

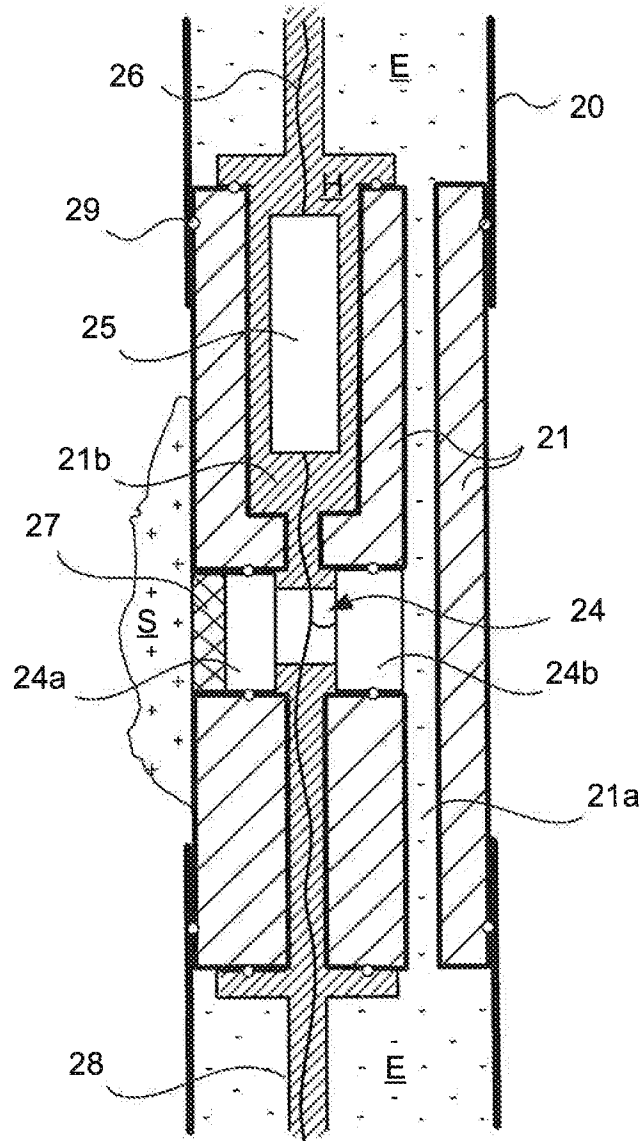


FIG.3
(Art antérieur)

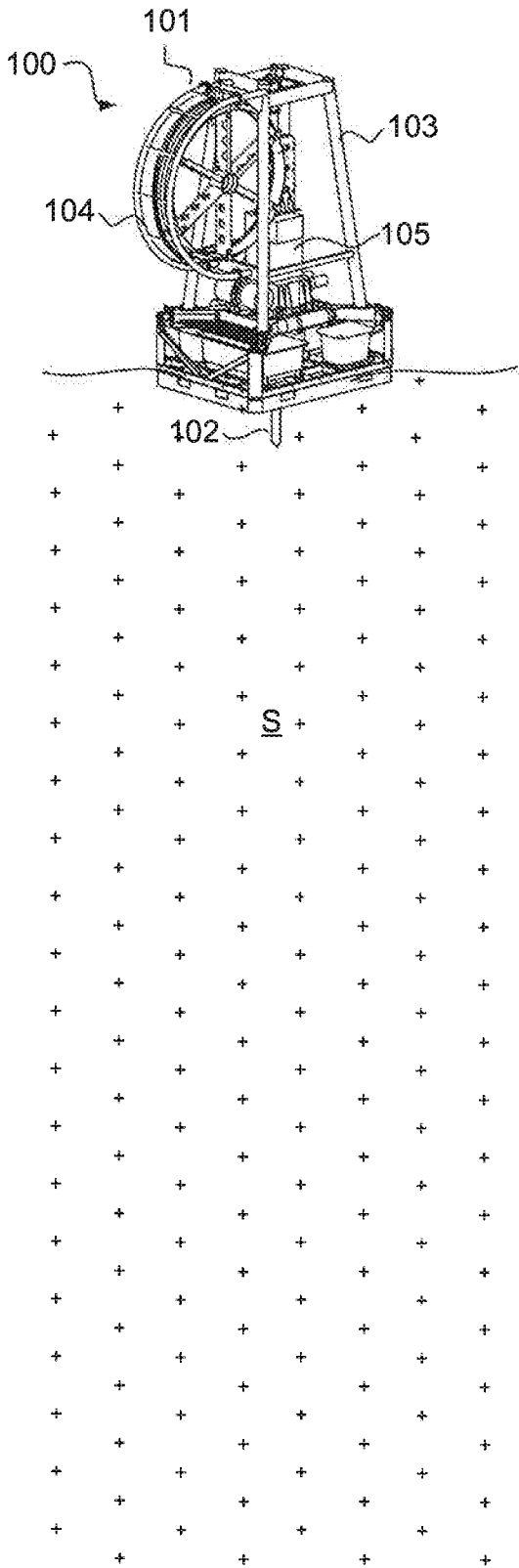


FIG.4

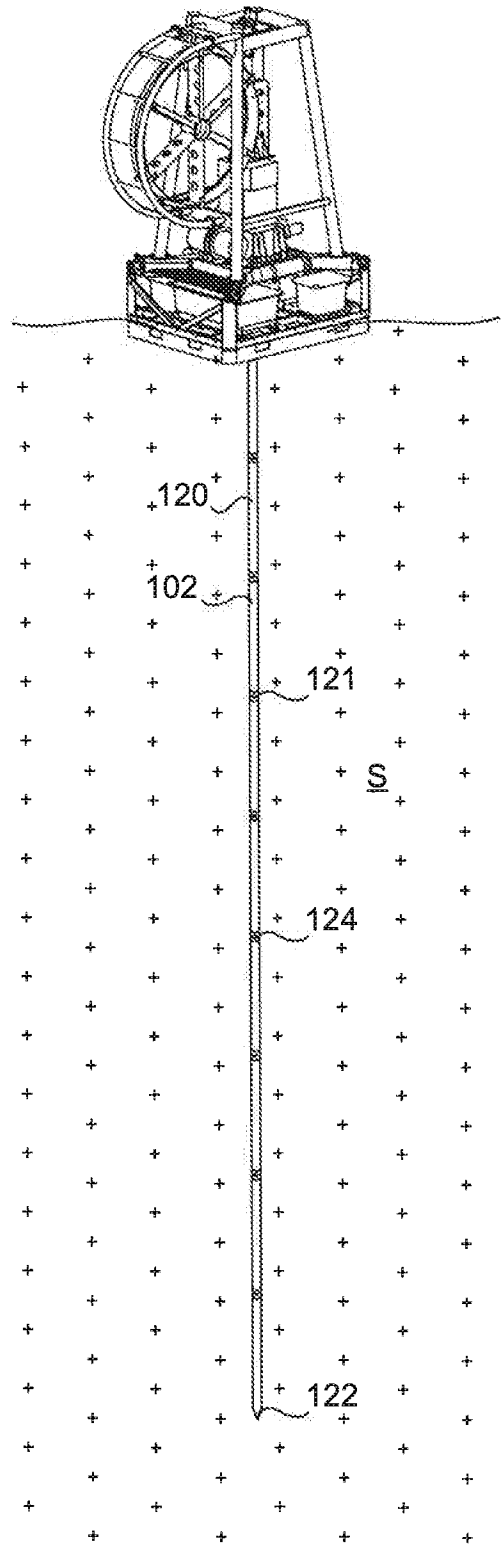


FIG.5

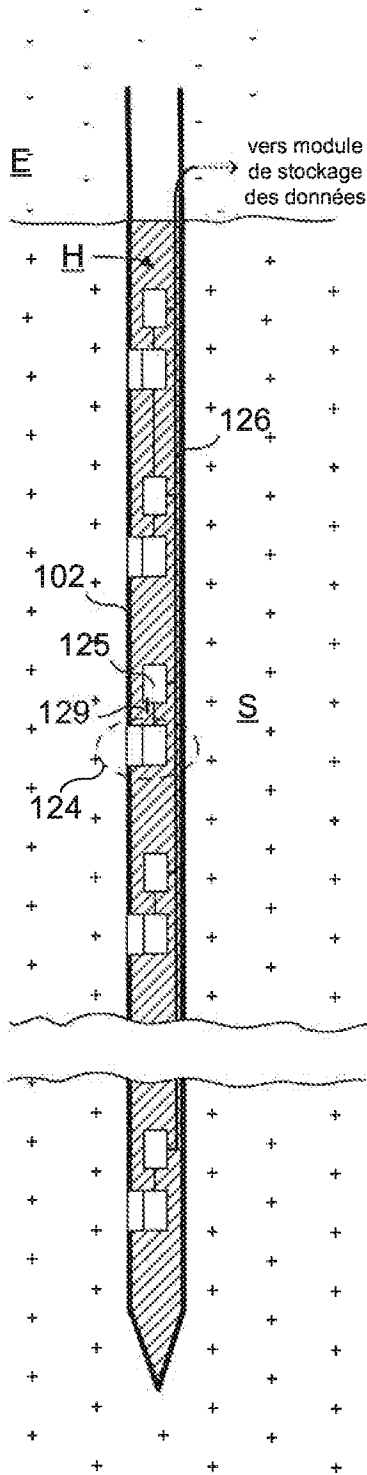


FIG. 6

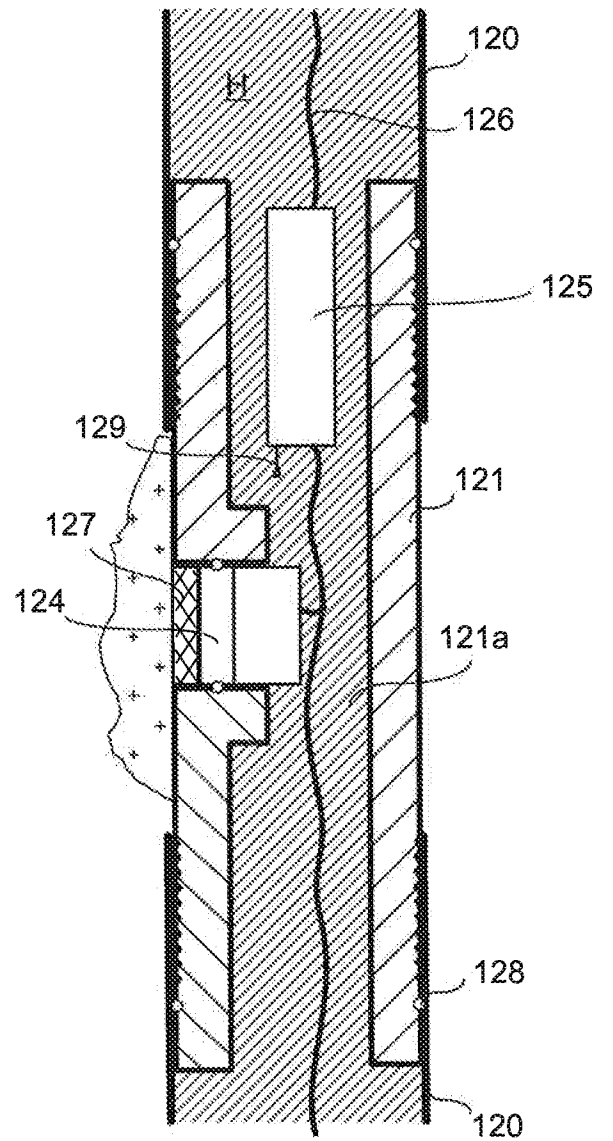


FIG. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2016/050860

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N33/24
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N E21B G01L

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Nke Instrumentation: "Piezometer V2", 25 October 2010 (2010-10-25), XP055297965, Retrieved from the Internet: URL:http://www.nke-instrumentation.com/media/pdf/file3/nke-piezometer-light-10-1290591698.pdf [retrieved on 2016-08-26]	1,2,5-9
Y	the whole document	3,11
A		4,10
Y	----- WO 2014/131085 A1 (THALASSIC SUBSEA PTY LTD [AU]) 4 September 2014 (2014-09-04)	3,11
A	paragraphs [0007], [0157]; figures 1A,1B,9A -----	1,2,4-10
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 26 August 2016	Date of mailing of the international search report 07/09/2016
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Gilow, Christoph

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2016/050860

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JACQUES MEUNIER ET AL: "First Tests of Penfeld : a New Seabed Penetrometer", THE FOURTEENTH INTERNATIONAL OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING CONFERENCE, 28 May 2004 (2004-05-28), pages 338-345, XP055248291, the whole document	1-11
A	----- US 4 150 578 A (SWARTZ ROBERT B [US]) 24 April 1979 (1979-04-24) column 1, line 1 - column 3, line 8; figures 1-3	1-11
A	----- US 5 804 715 A (BENNETT RICHARD H [US]) 8 September 1998 (1998-09-08) column 4, line 65 - column 6, line 50; figures 1,2	1-11
A	----- Paolo Favali ET AL: "Seafloor observations and observatory activities in the Sea of Marmara" In: "SEAFLOOR OBSERVATORIES", 1 January 2015 (2015-01-01), Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, XP055248969, ISBN: 978-3-642-11374-1 pages 59-79, DOI: 10.1007/978-3-642-11374-1_4, figure 4.6	1-11
A	----- US 2004/118199 A1 (FROST JAMES DAVID [US] ET AL) 24 June 2004 (2004-06-24) abstract; figures 3,7 -----	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2016/050860

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2014131085	A1	04-09-2014	NONE
US 4150578	A	24-04-1979	NONE
US 5804715	A	08-09-1998	NONE
US 2004118199	A1	24-06-2004	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2016/050860

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01N33/24 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01N E21B G01L		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	Nke Instrumentation: "Piezometer V2", 25 octobre 2010 (2010-10-25), XP055297965, Extrait de l'Internet: URL: http://www.nke-instrumentation.com/media/pdf/file3/nke-piezometer-light-10-1290591698.pdf [extrait le 2016-08-26]	1,2,5-9
Y	le document en entier	3,11
A		4,10
Y	----- WO 2014/131085 A1 (THALASSIC SUBSEA PTY LTD [AU]) 4 septembre 2014 (2014-09-04) alinéas [0007], [0157]; figures 1A,1B,9A	3,11
A	----- -/--	1,2,4-10
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 26 août 2016		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 07/09/2016
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Gilow, Christoph

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	JACQUES MEUNIER ET AL: "First Tests of Penfeld : a New Seabed Penetrometer", THE FOURTEENTH INTERNATIONAL OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING CONFERENCE, 28 mai 2004 (2004-05-28), pages 338-345, XP055248291, le document en entier	1-11
A	----- US 4 150 578 A (SWARTZ ROBERT B [US]) 24 avril 1979 (1979-04-24) colonne 1, ligne 1 - colonne 3, ligne 8; figures 1-3	1-11
A	----- US 5 804 715 A (BENNETT RICHARD H [US]) 8 septembre 1998 (1998-09-08) colonne 4, ligne 65 - colonne 6, ligne 50; figures 1,2	1-11
A	----- Paolo Favali ET AL: "Seafloor observations and observatory activities in the Sea of Marmara" In: "SEAFLOOR OBSERVATORIES", 1 janvier 2015 (2015-01-01), Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, XP055248969, ISBN: 978-3-642-11374-1 pages 59-79, DOI: 10.1007/978-3-642-11374-1_4, figure 4.6	1-11
A	----- US 2004/118199 A1 (FROST JAMES DAVID [US] ET AL) 24 juin 2004 (2004-06-24) abrégé; figures 3,7	1-11

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2016/050860

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2014131085	A1	04-09-2014	AUCUN	
US 4150578	A	24-04-1979	AUCUN	
US 5804715	A	08-09-1998	AUCUN	
US 2004118199	A1	24-06-2004	AUCUN	