

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

3 039 585

21 N° d'enregistrement national : 16 55952

51 Int Cl<sup>8</sup> : E 21 B 47/00 (2017.01)

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 27.06.16.

30 Priorité : 27.07.15 IB US2015/042252.

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 03.02.17 Bulletin 17/05.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC. — US.

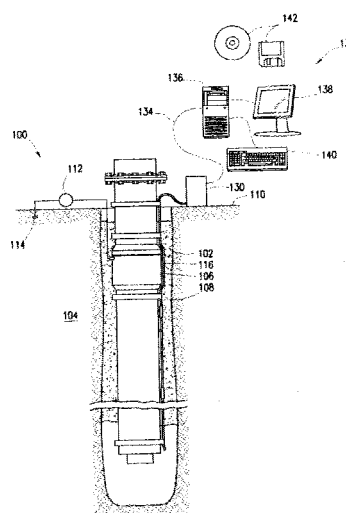
72 Inventeur(s) : MANDVIWALA TASNEEM A., FOUDA AHMED ELSAYED, DONDERICI BURKAY, SAMSON ETIENNE M. et WILSON GLENN ANDREW.

73 Titulaire(s) : HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC..

74 Mandataire(s) : GEVERS & ORES Société anonyme.

54 RÉSEAU DE DÉTECTION DE LA FORCE ÉLECTROMOTRICE.

57 La présente invention décrit des systèmes et des procédés permettant d'évaluer une formation et de surveiller un réservoir qui utilisent des mesures de la force électromotrice. Un système de surveillance de puits peut comprendre : une alimentation électrique qui génère un champ électromagnétique dans une formation souterraine; et un réseau de capteurs de la force électromotrice pour mesurer la force électromotrice au niveau d'un ou de plusieurs points le long d'une longueur du réseau de capteurs de la force électromotrice, le réseau de capteurs de la force électromotrice comprenant un guide d'onde optique et une couche de transduction électro-optique qui recouvre une ou plusieurs longueurs du guide d'onde optique.



FR 3 039 585 - A1



## RÉSEAU DE DÉTECTION DE LA FORCE ÉLECTROMOTRICE

### CONTEXTE

[0001] La présente invention décrit des systèmes et des procédés permettant de mesurer une force électromotrice et, plus particulièrement, des procédés et des systèmes pour l'évaluation de la formation et la surveillance du réservoir qui utilisent des mesures de la force électromotrice.

[0002] Une diversité de solutions électromagnétiques de surveillance du réservoir à base de fibre optique a été développée pour l'évaluation de la formation et la surveillance du réservoir. Un certain nombre de ces solutions de surveillance du réservoir à base de fibre optique comprend une technologie de capteurs spécialisés et des applications apparentées. Par ex., des procédés ont été développés pour une détection du champ électrique, du champ magnétique et de l'induction magnétique de la fibre optique basée sur des mesures de la contrainte de la fibre optique. Dans ces procédés, des capteurs électromagnétiques individuels peuvent être liés à un guide d'onde optique et interrogés à distance.

### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0003] Les dessins illustrent certains aspects de certains exemples des modes de réalisation de la présente invention, et ne doivent pas servir à limiter ou à définir l'invention.

[0004] La figure 1 est un schéma d'un exemple de système de détection de la force électromotrice.

[0005] La figure 2 est un schéma d'un exemple de guide d'onde optique recouvert placé dans un câble contenu dans un tube.

[0006] Les figures 3-5 sont des schémas illustrant différents exemples d'agencements d'un guide d'onde optique recouvert.

[0007] La figure 6 est un schéma d'un agencement alternatif pour l'installation d'un guide d'onde optique recouvert sur un tubage.

[0008] Les figures 7-10 sont des schémas illustrant différents exemples d'agencements de système de détection de la force électromotrice.

[0009] La figure 11 est un graphique illustrant un concept de méthanogénèse et de résistivité d'un gisement houiller.

[0010] La figure 12 est un schéma illustrant un exemple d'un modèle terrestre d'un réservoir de méthane d'un gisement houiller.

[0011] La figure 13 est un graphique de la résistivité de la houille versus la force électromotrice du modèle dans la figure 12.

[0012] La figure 14 est un graphique de la résistivité de la houille versus la sensibilité pour le modèle de la figure 12.

5

### DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0013] La présente invention décrit des systèmes et des procédés permettant de mesurer une force électromotrice et, plus particulièrement, des procédés et des systèmes pour l'évaluation de la formation et la surveillance du réservoir qui utilisent des mesures de la force électromotrice. Les systèmes et les procédés peuvent être utilisés dans le cadre d'un système de surveillance d'un réservoir électromagnétique, qui peut être déployé de façon permanente ou temporaire sur une surface (par ex., le plancher océanique) ou au fond du puits dans des puits uniques ou multiples. Les systèmes et les procédés peuvent être utilisés en association à des sources électriques et/ou électromagnétiques qui peuvent être déployées sur une surface (par ex., le plancher océanique) ou au fond du puits dans des puits uniques ou multiples.

10 [0014] Les systèmes et les procédés peuvent utiliser un guide d'onde optique ayant une ou plusieurs longueurs recouvertes d'une couche de transduction électro-optique pour devenir le capteur électromagnétique. Un champ électromagnétique peut être généré dans la formation qui peut ensuite être détecté le long de la longueur du guide d'onde optique isolé. Des intervalles distincts de guides d'onde optique isolés peuvent être interrogés à distance, qui peuvent être interrogés à distance, par ex., en utilisant l'interférométrie de Sagnac. L'interrogation peut mesurer la force électromotrice à différents points le long de la longueur du guide d'onde optique isolé et non pas la mesure directe du champ électromagnétique.

20 [0015] Un système de surveillance du puits peut être décrit. Sans limitation, un système de surveillance de puits sera maintenant décrit. Le système de surveillance de puits peut comprendre une alimentation électrique qui génère un champ électromagnétique dans une formation souterraine. Le système de surveillance de puits peut comprendre un réseau de capteurs de la force électromotrice pour la mesure d'une force électromotrice au niveau d'un ou de plusieurs points le long de la longueur du réseau de capteurs de la force électromotrice. Le réseau de capteurs de la force électromotrice peut comprendre un guide d'onde optique et une couche de transduction électro-optique sur une ou plusieurs longueurs du guide d'onde optique. Le réseau de capteurs de la force électromotrice peut être installé dans un puits de forage. Le réseau de capteurs de la force électromotrice peut être installé sur le plancher océanique. Le guide d'onde optique peut être enroulé autour d'un tubage installé dans un puits de forage. Le

30

réseau de capteurs de la force électromotrice peut être placé dans un intérieur d'un tubage installé dans un puits de forage. Le réseau de capteurs de la force électromotrice peut être couplé à un extérieur d'un tubage installé dans un puits de forage. Le réseau de capteurs de la force électromotrice peut être placé dans un câble de fibre optique qui comprend un faisceau de guides d'ondes optiques. La couche de transduction électro-optique peut comprendre un matériau choisi dans le groupe composé d'un matériau piézoélectrique, d'un matériau électrostrictif, et d'une combinaison de ceux-ci. La couche de transduction électro-optique peut comprendre un matériau de transduction électro-optique et un polymère. Une longueur du guide d'onde optique recouverte de la couche de transduction électro-optique peut aller de 1 m à 10 000 m. Le guide d'onde optique peut être périodiquement recouvert de la couche de transduction électro-optique pour donner des couches de transduction électro-optique espacées qui, chacune individuellement, a une longueur allant de 1 m à 1000 m et un espacement allant de 1 m à 1000 m. Le guide d'onde optique est recouvert d'un matériau entre les couches de transduction électro-optique espacées, dans lequel le matériau ne se lie pas à la couche de transduction électro-optique. Le système peut également comprendre un système informatique permettant de surveiller la force électromotrice mesurée.

[0016] Un système de surveillance de puits peut être décrit. Sans limitation, le procédé de surveillance de puits sera maintenant décrit. Le procédé peut comprendre la génération d'un champ électromagnétique dans une formation souterraine. Le procédé peut également comprendre la mesure d'une force électromotrice au niveau d'un ou de plusieurs points le long d'un réseau de capteurs de la force électromotrice. Le réseau de capteurs de la force électromotrice peut comprendre un guide d'onde optique et une couche de transduction électro-optique sur une ou plusieurs longueurs du guide d'onde optique. Le réseau de capteurs de la force électromotrice peut être installé dans un puits de forage. Le réseau de capteurs de la force électromotrice peut être installé sur un plancher océanique. Le guide d'onde optique peut être enroulé autour d'un tubage installé dans un puits de forage. Le réseau de capteurs de la force électromotrice peut être placé dans un intérieur d'un tubage installé dans un puits de forage. Le réseau de capteurs de la force électromotrice peut être couplé à un extérieur d'un tubage installé dans un puits de forage. Le réseau de capteurs de la force électromotrice peut être placé dans un câble de fibre optique qui comprend un faisceau de guides d'ondes optiques. La couche de transduction électro-optique peut comprendre un matériau choisi dans le groupe composé d'un matériau piézoélectrique, d'un matériau électrostrictif, et d'une combinaison de ceux-ci. La couche de transduction électro-optique peut comprendre un matériau de transduction électro-optique et un polymère. Une longueur du guide d'onde optique recouverte de la couche de

transduction électro-optique peut aller de 1 m à 10 000 m. Le guide d'onde optique peut être périodiquement recouvert de la couche de transduction électro-optique pour donner des couches de transduction électro-optique espacées qui, chacune individuellement, a une longueur allant de 1 m à 1000 m et un espacement allant de 1 m à 1000 m. Le guide d'onde optique est recouvert d'un matériau entre les couches de transduction électro-optique espacées, dans lequel le matériau ne se lie pas à la couche de transduction électro-optique. La mesure de la force électromotrice peut comprendre l'induction d'une contrainte dans le guide optique en réponse au champ électromagnétique. Le procédé peut également comprendre la génération de signal électromagnétique avec un outil câblé descendu dans le puits de forage ; la détection du signal électromagnétique avec le réseau de capteurs de la force électromotrice et la détermination de la réponse de l'impulsion électromotrice du réseau de capteurs de la force électromotrice au niveau d'une ou de plusieurs positions de l'outil câblé. Le procédé peut également comprendre la génération d'un champ électromagnétique avec un outil câblé descendu dans le puits de forage pour exciter le guide d'onde optique ; et la mesure d'un signal acoustique généré par le guide d'onde optique en réponse au champ électromagnétique à l'aide de transducteurs acoustique placés sur l'outil câblé. Le procédé peut également comprendre la surveillance de la force électromotrice mesurée afin de déterminer les intervalles de temps de substitutions de fluide dans la formation souterraine. Le procédé peut également comprendre la surveillance de la force électromotrice mesurée afin de déterminer l'assèchement d'un réservoir de méthane houiller.

[0017] La figure 1 illustre un exemple de système de surveillance de puits 100 pour une utilisation dans un puits souterrain. Même s'il n'est pas illustré, une plateforme de forage peut être utilisée pour creuser et compléter un puits de façon type. Le système de forage peut comprendre un train de forage ayant des capacités de mesure pendant le forage (MWD) ou de diagraphie pendant le forage (LWD). L'exemple illustratif de la figure 1 peut être utilisé avec l'un quelconque des procédés et des systèmes décrits ici.

[0018] Comme il est illustré, un puits de forage 102 peut se prolonger à travers la formation souterraine 104. Tandis que le puits de forage 102 est illustré comme se prolongeant globalement verticalement dans la formation souterraine 104, les principes décrits ici sont aussi applicables à des puits de forage qui se prolongent selon un certain angle à travers la formation souterraine 104, tels que des puits de forage horizontaux et déviés. Un tubage 106 peut être placé dans le puits de forage 102. Du ciment 108 peut entourer le tubage 106 dans le puits de forage 102. Le puits peut être adapté pour guider un fluide souhaité (par ex., du pétrole et/ou du gaz) à partir du fond de puits de forage 102 vers la surface 110.

[0019] Le système de surveillance du puits 100 peut comprendre une source d'alimentation 112 pour l'injection de courant dans la formation souterraine 104 à travers le tubage 106. La source d'alimentation 112 peut être couplée entre le tubage 106 et une électrode de retour 114. Étant donné que le tubage 106 peut être un matériau conducteur d'électricité (par ex., de l'acier au carbone), il peut agir comme une électrode source pour le flux de courant vers la formation souterraine 104 entourant le puits de forage 102. Le tubage 106 peut également être formé d'autres matériaux, tels que la fibre de verre, par ex., lorsqu'il n'est pas utilisé pour transmettre un courant à partir d'une source d'alimentation 112. La source d'alimentation 112 peut être couplée au tubage 106 au niveau d'une diversité d'emplacements appropriés, par ex., au niveau de la tête de puits ou du tubage 106 dans le puits de forage 102. De multiples connexions de la source d'alimentation 112 avec le tubage 106 peuvent être réalisées si nécessaire. Comme il est illustré, l'électrode de retour 114 doit être placée loin du tubage 106 et en dessous de la surface 110. La grandeur et la distribution du flux de courant dans la formation souterraine 104 peuvent varier selon la source de la tension et le profil de résistivité de la formation.

[0020] Le système de surveillance du puits 100 peut également comprendre un câble de fibre optique 116. Comme il est illustré, le câble de fibre optique 116 peut être placé dans le puits de forage 102. Par ex., le câble de fibre optique 116 peut être placé le long d'une partie externe du tubage 106. Par ailleurs, le câble de fibre optique 116 peut être placé dans, ou couplé à une partie interne, du tubage 106. Toujours en référence à la figure 2, qui illustre un exemple de câble de fibre optique 116 avec une partie découpée de sorte que l'intérieur du câble de fibre optique 116 soit illustré. Dans la figure 2, le câble de fibre optique 116 peut comprendre un faisceau de guides d'ondes optique 118. Les guides d'ondes optiques 118 peuvent chacun être un guide d'onde optique monomodal ou multimodal. Des exemples de guides d'ondes optiques 118 convenables peuvent comprendre des fibres optiques et/ou des rubans optiques avec un cœur en silice ou en plastique. Les guides d'ondes optiques 118 peuvent chacun être déposé dans un tampon polymère 120. Le tampon polymère 120 peut être un quelconque tampon polymère permettant de protéger l'intérieur des guides d'ondes optiques 118 contre les dommages, par ex., un tampon polymère en polyimide ou en acrylate. Comme l'illustre la figure 2, les guides d'ondes optiques 118 peuvent être regroupés en faisceaux dans une chemise 122. La chemise 122 peut comprendre une ou plusieurs couches et peut également comprendre un quelconque matériau approprié pour la protection des guides d'ondes optiques 118. Des exemples de tels matériaux peuvent comprendre, sans limitation, des plastiques, des métaux, etc. Dans la figure 2, la chemise 122 peut comprendre une couche de polymère 124 et une couche métallique 126. Alors que la FIG. 2 illustre un faisceau de guides d'ondes optiques 118 dans le câble de fibre

optique 116, d'autres configurations du câble de fibre optique 116 peuvent être utilisées, comme, par ex., un guide d'onde optique unique 118 placé dans la chemise 122.

[0021] Comme il est illustré dans la figure 2, au moins l'un des guides d'ondes optiques 118 peut être au moins partiellement recouvert d'une couche de transduction électro-optique 128. Lorsque la couche de transduction électro-optique 128 est exposé à un champ électromagnétique variable dans le temps, par ex., avec un composant dans la direction de l'axe du guide d'onde optique 118, la couche de transduction électro-optique 128 peut subir une déformation, comme, par ex., une expansion ou une contraction. Le couplage mécanique de la couche de transduction électro-optique 128 au guide d'onde optique 118 doit assurer que la déformation de la couche de transduction électro-optique 128 puisse être transférée au guide d'onde optique 118, modulant ainsi la lumière voyageant à travers le guide d'onde optique 118. Le signal modulé peut voyager le long du même guide d'onde optique 118 ou d'un autre guide d'onde optique vers un générateur/détecteur de signal 130 (FIG. 1) au niveau duquel le signal peut être démodulé et la perturbation correspondante déterminée. Ceci peut prévenir le besoin d'un circuit de multiplexage au fond du puits. La contrainte induite dans le guide d'onde optique 118 peut être proportionnelle à la force électromotrice. Des variations au niveau de la force électromotrice avec le temps peuvent être déterminées. En suivant ces variations, on peut déterminer si les propriétés électromagnétiques, telles que la résistivité, de la formation souterraine 104 se sont modifiées, par ex., en raison de la substitution du fluide dans le réservoir. L'interrogation du guide d'onde optique 118 sur différentes longueurs revêtues de la couche de transduction électro-optique 128 peut permettre au guide d'onde optique 118 de fonctionner comme un réseau de capteurs pour mesurer la force électromotrice au niveau de différents points le long de la longueur du câble de fibre optique 116.

[0022] La couche de transduction électro-optique 128 peut comprendre un quelconque matériau approprié permettant d'induire une contrainte au niveau du guide d'onde optique 118 en réponse au champ électromagnétique. Des exemples de tels matériaux peuvent comprendre, sans limitation, des matériaux piézo-électriques et des matériaux électrostrictifs. Des combinaisons de matériaux appropriés peuvent également être utilisées. Des exemples spécifiques de tels matériaux peuvent comprendre le titanate-zirconate de plomb (PZT), le niobate de plomb et de magnésium, le niobate de plomb et de nickel, le niobate de plomb et de manganèse, le stannate d'antimoine et de plomb, le niobate de zinc et de plomb, le titanate de plomb, le tantalate de plomb et de magnésium, le tantalate de plomb et de nickel, le titanate de plomb dopé, le niobate de plomb et de magnésium (PT:PMN), et des combinaisons de ceux-ci. Les matériaux piézoélectriques/électrostrictifs précédents peuvent également comprendre un additif de l'oxyde

ou d'un autre type de composé de, par ex., le lanthane, le baryum, le niobium, le zinc, le cérium, le cadmium, le chrome, le cobalt, l'antimoine, le fer, l'yttrium, le tantale, le tungstène, le nickel, le manganèse, le lithium, le strontium et le bismuth. La couche de transduction électro-optique 128 peut également être un composite qui comprend un matériau piézoélectrique/électrostrictif et un polymère. Par exemple, le matériau piézoélectrique/électrostrictif peut être dispersé dans une matrice de polymère. Des exemples de polymères appropriés peuvent comprendre, sans limitation, le fluorure de polyvinylidène (PVDF). Le composite de la couche de transduction électro-optique 128 comprend un composite du matériau piézoélectrique/électrostrictif et le polymère peut procurer les fonctions de la couche de transducteur électrooptique 128 et du tampon polymère 120 et donc il peut être utilisé à la place tampon polymère 120.

[0023] Certains matériaux électrorestrictifs, par ex., PT:PMN) peuvent avoir des températures de Curie relativement faibles, par ex., 150 °C, ce qui pourrait limiter leur utilisation dans des puits à température élevée, tels que des puits en eau profonde. Cependant, nonobstant ces limites de température pour certains matériaux, le système de surveillance du puits 100 peut toujours être utilisé dans des puits offshore et terrestre. Par ex., les températures du réservoir des zones cibles du méthane houiller dans certaines régions (par ex., le bassin Black Warrior dans l'ouest de l'Alabama) peut généralement aller de 27 à 57 °C. Mais également, le guide d'onde optique 118 avec la couche de transduction électro-optique 128 peuvent également être utilisés sur le plancher océanique, où la température peut être faible, par ex., allant de 0 à 30 °C, ou au niveau de la surface 110 où la température peut se situer entre 0 et 60 °C.

[0024] Une quelconque technique appropriée peut être utilisée pour enrober la couche de transduction électro-optique 128 sur le guide d'onde optique 118. L'homogénéité de la liaison entre le guide d'onde optique 118 et la couche de transduction électro-optique 128 peut assurer que l'électrostriction soit précisément transférée à la contrainte de la fibre. Une quelconque différence de température et de contrainte de gravité entre la couche de transduction électro-optique 128 et le guide d'onde optique 118 peut entraîner des stress uniformes, des fractures et même des cassures. Afin de limiter de tels endommagements, la couche de transduction électro-optique 128 peut posséder des coupures partielles ou totales pour libérer la tension au cours du déploiement. Ceci peut être particulièrement applicable pour la contrainte induite par gravité dans les systèmes déployés par câble de travail suspendu librement. La couche de transduction électro-optique 128 peut avoir une épaisseur, par ex., d'environ 15 microns à environ 60 microns.

[0025] En se référant encore une fois à la FIG. 1, le câble de fibre optique 116 peut être couplé à un générateur/détecteur de signal 130 au niveau de la surface 110 qui peut générer un signal qui doit être transmis vers le fond du puits. Comme exemple, le câble de fibre optique 116

peut se terminer au niveau d'une interface de surface avec un port optique adapté pour la ou les fibres de couplage (par ex., des guides d'ondes optique 118) dans le câble de fibre optique 116 vers une source lumineuse et un détecteur dans le générateur/détecteur de signal 130. La source lumineuse peut transmettre des impulsions lumineuses le long du câble de fibre optique 116. La  
5 contrainte induite le long de l'un ou des plusieurs guides d'ondes optiques 118 dans le câble de fibre optique 116 par la couche de transduction électro-optique 128 peut modifier les impulsions lumineuses pour fournir des mesures, par ex., de la force électromotrice. Ces modifications peuvent affecter le contenu en amplitude, en phase et en fréquence des impulsions lumineuses, permettant aux détecteurs de produire, en réponse, un signal de sortie électrique indicatif des  
10 mesures du récepteur. Certains systèmes peuvent utiliser de multiples fibres, dans lequel cas, une source lumineuse et un détecteur supplémentaires peuvent être utilisés pour chaque fibre, ou la source et le détecteur existant peuvent être commutés périodiquement entre les fibres. Le générateur/détecteur de signal 130 peut utiliser des techniques d'interrogation pour extraire et démoduler la contrainte imposée au niveau de différents emplacements le long du guide d'onde  
15 optique 118 permettant la détermination de la force électromotrice au niveau de différents emplacements le long de la longueur du guide d'onde optique 118. De cette façon, par ex., la résistivité peut être cartographiée le long du câble de fibre optique 116.

[0026] Le générateur/détecteur de signal 130 peut être couplé à un système informatique 132 qui peut être couplé à un générateur/détecteur de signal à travers une ligne de contrôle 134.  
20 Le système informatique 132 peut comprendre une unité de traitement central 136, un écran 138 et un dispositif de saisie 140 (par ex., un clavier, une souris, etc.) aussi bien qu'un support informatique 142 (par ex., des disques optiques, des disques magnétiques) qui peuvent stocker un code représentatif des procédés susmentionnés. Le système informatique 132 peut être adapté pour recevoir des signaux provenant du générateur/détecteur de signal 130 représentatif des  
25 mesures de la force électromotrice. Le système informatique 132 peut agir comme un système d'acquisition de données et possiblement comme un système de traitement de données qui analyse les mesures de la force électromotrice, par ex., afin d'obtenir des paramètres souterrains et de les surveiller au cours du temps. Les mesures de la force électromotrice reçues au niveau du système informatique 132 peuvent être interprétées en termes d'un modèle de résistivité de la  
30 formation souterraine 104. Le modèle de résistivité peut, à son tour, être interprété en termes de fluide dans les pores de la formation, permettant la surveillance des fluides du réservoir au cours du temps, permettant la détermination de la substitution de fluide pendant une injection d'eau et un assèchement.

[0027] En se référant maintenant aux figures 3-5, plusieurs exemples d'un guide d'onde optique 118 au moins partiellement revêtu d'une couche de transduction électro-optique 128 sont illustrés. Dans chacun de ces exemples, au moins une longueur du guide optique 118 est recouverte de la couche de transduction électro-optique 128. Comme il est illustré, le guide d'onde optique 118 peut former une boucle optique et être couplé à un générateur/détecteur de signal 130 pour l'interrogation. Une quelconque technique appropriée d'interrogation du guide d'onde optique 118 pour les mesures de contrainte distribuées peut être utilisée, y compris les techniques d'interrogation qui utilisent des procédés interférométriques tels que Mach-Zehnder, Michelson, Sagnac, Cabry-Perot, etc. Même si les techniques d'interrogation ne sont pas décrites en détail ici, un décalage de phase mesuré peut représenter une mesure de la contrainte induite et, ainsi, une mesure de la force électromotrice. Le guide d'onde optique 118 peut être déployé à l'intérieur d'un câble renfermé dans le tubage, tel que le câble de fibre optique 116 de la figure 1.

[0028] Dans l'exemple de la figure 3, une longueur du guide d'onde optique 118 peut être recouverte par la couche de transduction électro-optique 128 du point 142 jusqu'au point 144, par lequel le guide d'onde optique 118 du point 146 au point 148 ne comprend pas de revêtement de transduction électro-optique. La longueur du guide d'onde optique 118 recouverte de la couche de transduction électro-optique 128 peut aller de 10 m à 10 000 m, par ailleurs, environ 10 m ou plus, environ 50 m, environ 100 m, environ 500 m ou plus, environ 1000 m ou plus.

[0029] Dans l'exemple de la figure 4, le guide d'onde optique 118 peut comprendre une pluralité de couches de transduction électro-optique 128 espacée le long du guide d'onde optique 118. Le restant du guide d'onde optique 118 pourrait ne pas comprendre un revêtement de transduction électro-optique. Le guide d'onde optique 118 pourrait ne nécessiter qu'un revêtement périodique étant donné que certaines parties du guide d'onde optique 118 peuvent être placées dans une ou des formations qui ne sont pas d'intérêt. Une quelconque technique appropriée utilisée pour préparer un guide d'onde optique 118 avec des couches de transduction électro-optique 128 espacées, y compris un épissage des guides d'ondes optiques recouverts et non-recouverts, l'un vers l'autre, pour former le guide d'onde optique 118. La longueur des couches de transduction électro-optique 128 espacées peut aller de 1 m à 1000 m avec un espacement allant de 1 m à 1000 m. Par ex., les couches de transduction électro-optique 128 peuvent avoir une longueur d'environ 1 m avec un espacement d'environ 2 m. Comme autre exemple, les couches de transduction électro-optique 128 peuvent avoir une longueur d'environ 10 m avec un espacement d'environ 1 m. La longueur et l'espacement des couches de transduction électro-optique 128 peuvent être choisis pour donner une sensibilité souhaitée pour la détection de la force électromotrice. Le guide d'onde optique 118 peut également n'être

recouvert que périodiquement par les couches de transduction électro-optique 128 afin d'éviter dès schémas de contrainte prévisibles sur le guide d'onde optique 118.

[0030] Dans l'exemple de la figure 5, le guide d'onde optique 118 peut être périodiquement recouvert d'un matériau 148 qui ne démontre pas d'électrostriction. Des exemples de matériaux 148 peuvent comprendre, sans limitation, une gaine de fibre standard. Comme il est illustré, le matériau 148 peut être espacé le long du guide d'onde optique 118. Par conséquent, lorsque le guide d'onde optique 118 est recouvert par des couches de transduction électro-optique 128, les couches de transduction électro-optique 128 ne se lient que périodiquement au guide d'onde optique 118, par ex., lorsque le matériau 148 est absent. La longueur et l'espacement du matériau 148 peuvent être choisis, par ex., en se basant sur une sensibilité souhaitée par rapport à la détection de la force électromotrice.

[0031] Comme il a été précédemment décrit, la ou les couches de transduction électro-optique 128 sur le guide d'onde optique 118 peuvent être utilisées dans la mesure de la force électromotrice. La force électromotrice ( $V$ ), mesurée en volts, peut être définie comme l'intégrale linéaire du champ électromagnétique  $E$  le long d'un trajet  $I$  entre les points  $a$  et  $b$  le long de la direction de l'axe du guide d'onde optique :

$$V = \int_a^b E dI \quad (1)$$

dans laquelle les vecteurs  $E$  et  $dI$  sont colinéaires. La convention pour une quantité intégrale linéaire telle que la force électromotrice est une référence positive au début du trajet d'intégration.

[0032] Étant donné que la ou les couches de transduction électro-optique 128 peuvent être exposées à un champ électromagnétique variant dans le temps, par ex., avec un composant dans la direction de l'axe du guide d'onde optique 118, la ou les couches de transduction optique 128 peuvent se déformer et, ainsi, produire une contrainte correspondante dans le guide d'onde optique.

[0033] La ou les couches de transduction électro-optique 128 peuvent comprendre un matériau électro-restrictif, tel qu'une céramique piézoélectrique, dans laquelle la contrainte dans le guide d'onde optique 118 peut être linéairement proportionnelle à la force électromotrice :

$$\varepsilon = kV \quad (2)$$

dans laquelle  $k$  représente le paramètre de réponse électro-restrictive pour la ou les couches de transduction électro-optique 128.

[0034] La ou les couches de transduction électro-optique 128 peuvent comprendre un matériau électro-restrictif, tel qu'une céramique électrorestrictive, dans laquelle la contrainte

dans le guide d'onde optique 118 peut être linéairement proportionnelle au carré de la force électromotrice :

$$\varepsilon = kV^2 \quad (3)$$

5 dans laquelle  $k$  représente le paramètre de réponse électro-restrictive pour la ou les couches de transduction électro-optique 128.

[0035] La fibre optique peut être excitée par un champ électromagnétique externe de faible fréquence harmonique dans le temps, qui induit une contrainte le long de la direction de l'axe du guide d'onde optique. En mesurant à distance la contrainte le long de la direction de l'axe du guide d'onde optique, et en connaissant la relation fonctionnelle entre la contrainte et la force électromotrice à faible fréquence et harmonique dans le temps  $V_{\Omega}\cos\Omega t$ , que ce soit par les équations (2) ou (3), la force électromotrice peut être détectée.

[0036] Un voltage porteur à fréquence élevée  $V_{\omega}\cos\omega t$  peut être appliqué à travers la ou les couches de transduction électro-optique 128 alors que la force électromotrice  $V_{\Omega}\cos\Omega t$  à faible fréquence est détectée. La réponse électrorestrictive non linéaire peut entraîner un mélange des signaux de sorte que les signaux de faible fréquence au niveau de  $\Omega$  peuvent être convertis en contraintes aux fréquences de bande latérale  $\omega\pm\Omega$ . Ceci peut représenter un avantage, permettant la détection de la force électromotrice à des fréquences plus élevées au niveau desquelles le  $1/f$  bruit électromagnétique à faible fréquence (par ex., provenant des courants telluriques) peut ne pas être dominant, entraînant un signal sur bruit amélioré.

20 [0037] En se référant maintenant à la figure 6, un autre exemple d'agencement d'un guide d'onde optique 118 au moins partiellement recouvert de transduction électro-optique 128 est illustré. Dans l'exemple de la figure 6, le guide d'onde optique 118 peut être enroulé autour du tubage 106 ou un autre équipement de fond de puits, tel qu'un tube de production, un corps d'outil, une ligne câblée, etc. En général, les systèmes et les procédés divulgués ici peuvent avoir une sensibilité le long de la direction du guide d'onde optique 118. Cependant, en enroulant le guide d'onde optique 118 autour du tubage 106, tel que le démontre la figure 6, une sensibilité azimuth peut être obtenue. Comme il sera compris, le guide d'onde optique 118 peut être déployé à l'intérieur d'un câble renfermé dans le tubage, tel que le câble de fibre optique 116 illustré dans la figure 2, par exemple.

30 [0038] La figure 7 illustre un autre exemple d'un système de surveillance de puits 100 qui peut être représentatif d'un puits qui est surveillé à l'aide d'un câble de fibre optique 116, qui peut contenir un guide d'onde optique 118 au moins partiellement recouvert d'une ou des couches de transduction électro-optique 128, tel que le démontre les figures 2-5, par exemple. Dans l'exemple de la figure 7, une série de clapets 150 peut être utilisée pour coiffer le puits. Un

tubage 106 peut être placé dans le puits de forage 102. Un tube de production ou une ligne câblée 152 peut être insérée dans le tubage 106. Le câble de fibre optique 116 peut être couplé à l'intérieur du tubage 106, soit par fixation à une partie interne du tubage 106 ou à un tube de production ou une ligne câblée 152. Par ailleurs, le câble de fibre optique 116 peut être placé dans, ou couplé à une partie interne, du tubage 106. Le câble de fibre optique 116 peut comprendre un ou plusieurs guides d'ondes optiques 118 (par ex. Les figures 2-5) fonctionnent comme un réseau de capteurs permettant de mesurer la force électromotrice au niveau de différents points le long de la longueur du câble de fibre optique 116. Des informations spécifiques concernant les fluides dans la formation souterraine 104 peuvent être déduites de l'analyse du signal provenant du câble de fibre optique 116. Le générateur/détecteur de signal 130 peut être couplé au câble de fibre optique 116 pour la réception des signaux provenant du câble de fibre optique 116.

[0039] La figure 8 illustre un exemple d'un système de surveillance de puits 100 qui peut être représentatif d'un puits sous-marin qui doit être surveillé à l'aide d'un câble de fibre optique 116, qui peut contenir un guide d'onde optique 118 au moins partiellement recouvert d'une ou des couches de transduction électro-optique 128, tel que le démontre les figures 2-5, par exemple. Dans l'exemple de la figure 8, une plateforme semi-submersible 154 peut être placée au-dessus du plancher océanique 156. Un conduit sous-marin 158 peut se prolonger d'un pont 160 de la plateforme semi-submersible 154 vers une installation de tête de puits 162. En dessous de l'installation de la tête de puits 162, le puits de forage 102 peut pénétrer la formation souterraine 104. Du ciment 108 peut entourer le tubage 106 dans le puits de forage 102. Le puits peut être adapté pour guider un fluide souhaité (par ex., du pétrole, du gaz, etc.) à partir du fond de puits de forage 102 vers la surface de la terre. Des perforations 164 peuvent être réalisées dans le puits de forage 102 pour faciliter le flux de fluide 166 à partir de la formation souterraine 104 vers le puits de forage 102 et ensuite vers la surface.

[0040] Comme il est illustré, le câble de fibre optique 116 peut être placé le long d'une partie externe du tubage 106 ou le long du puits de forage 102. Par ailleurs, le câble de fibre optique 116 peut être placé dans, ou couplé à une partie interne, du tubage 106. Le câble de fibre optique 116 peut comprendre un ou plusieurs guides d'ondes optiques 118 (par ex. Les figures 2-5) fonctionnent comme un réseau de capteurs permettant de mesurer la force électromotrice au niveau de différents points le long de la longueur du câble de fibre optique 116. Des informations spécifiques concernant les fluides contenus dans la formation souterraine 104 peuvent être déduites de l'analyse du signal provenant du câble de fibre optique 116. Le générateur/détecteur

de signal 130 peut être couplé au câble de fibre optique 116 pour la réception des signaux provenant du câble de fibre optique 116.

[0041] La figure 9 illustre un exemple d'un système de surveillance de puits 100 qui peut être représentatif d'un puits sous-marin qui doit être surveillé à l'aide d'un câble de fibre optique 116, qui peut contenir un guide d'onde optique 118 au moins partiellement recouvert d'une ou des couches de transduction électro-optique 128, tel que le démontre les figures 2-5, par exemple. Dans l'exemple de la figure 8, le guide d'onde optique 118 peut être placé sur une surface, telle que le plancher océanique 156. Le câble de fibre optique 116 peut comprendre un ou plusieurs guides d'ondes optiques 118 (par ex., les figures 2-5) fonctionnent comme un réseau de capteurs permettant de mesurer la force électromotrice au niveau de différents points le long de la longueur du câble de fibre optique 116. Des informations spécifiques concernant les fluides contenus dans la formation souterraine 104 peuvent être déduites de l'analyse du signal provenant du câble de fibre optique 116. Le générateur/détecteur de signal 130 peut être couplé au câble de fibre optique 116 pour la réception des signaux provenant du câble de fibre optique 116.

[0042] La figure 10 illustre un exemple d'un système de surveillance de puits 100 qui peut être représentatif d'un puits qui doit être surveillé à l'aide d'un câble de fibre optique 116, qui peut contenir un guide d'onde optique 118 au moins partiellement recouvert d'une ou des couches de transduction électro-optique 128, tel que le démontre les figures 2-5, par exemple. Dans l'exemple de la figure 10, un tubage 106 peut être placé dans le puits de forage 102. Le câble de fibre optique 116 peut être placé le long d'une partie externe du tubage 106. Par ailleurs, le câble de fibre optique 116 peut être placé dans, ou couplé à une partie interne, du tubage 106. Le câble de fibre optique 116 peut comprendre un ou plusieurs guides d'ondes optiques 118 (par ex. Les figures 2-5) fonctionnent comme un réseau de capteurs permettant de mesurer la force électromotrice au niveau de différents points le long de la longueur du câble de fibre optique 116. Des informations spécifiques concernant les fluides contenus dans la formation souterraine 104 peuvent être déduites de l'analyse du signal provenant du câble de fibre optique 116. Le générateur/détecteur de signal 130 peut être couplé au câble de fibre optique 116 pour la réception des signaux provenant du câble de fibre optique 116.

[0043] Comme il est illustré, un palan 168 peut être utilisé pour déployer un outil câblé 170 dans le puits de forage 102. L'outil câblé 170 peut comprendre un transmetteur 172, par ex., qui peut générer un signal électromagnétique, dans lequel le signal électromagnétique peut être détecté par le câble de fibre optique 116. La forme d'onde du courant transmetteur peut être résolue à partir de la force électromotrice mesurée pour récupérer la réponse de l'impulsion

électromotrice. À partir d'une pluralité de différentes positions d'outils câblés 170 dans le puits de forage 102, cette réponse d'impulsion électromotrice peut être utilisée pour la calibration des mesures de la force électromotrice. Par ailleurs, l'outil câblé 170 peut être utilisé pour déterminer la position du câble de fibre optique 116, particulièrement le guide d'onde optique 118 au moins partiellement recouvert de la ou des couches de transduction électro-optique 128 (par ex., Les figures 2-5), dans le puits de forage 102. Afin de déterminer la position azimut, le câble de fibre optique 116 peut être excité avec une source électrique et le signal acoustique obtenu peut être mesuré avec un capteur acoustique. Par ex., l'outil câblé 170 peut traverser le puits de forage 102 générant un champ électromagnétique à partir du transmetteur 172, par ex., avec une électrode en contact avec le tubage 106. La contrainte induite doit générer un signal acoustique qui peut être détecté avec un transducteur acoustiques 174, par ex., sur un outil câblé 170. La direction peut être obtenue en ayant de multiples transducteurs acoustiques 174 placés de façon azimut autour d'un corps d'outil câblé 170. Ceci peut être particulièrement avantageux pour la localisation du câble de fibre optique 116, par ex., avant certaines opérations du puits de forage 102, telles que la perforation.

[0044] Pour les besoins de l'illustration, les exemples des figures 1 et 7-10 illustrent un puits de forage 102 qui est orienté à la verticale. Cependant, les procédés et les systèmes décrits ici peuvent être utilisés dans d'autres configurations de puits de forage 102, y compris une configuration de pénétration horizontale ou une configuration de puits de forage 102 oblique. En outre, les exemples des figures 1 et 6-10, illustrent différents agencements dans lesquels le guide d'onde optique 118 divulgué ici peut être utilisé dans la surveillance des puits. Il doit être compris que la présente divulgation ne doit pas être limitée à une quelconque technique donnée pour le placement d'un guide d'onde optique 118 dans un puits, mais il est destiné à couvrir l'utilisation du guide d'onde optique 118 dans la surveillance des puits, qu'ils soit placé dans le tubage 106, à l'extérieur du tubage 106, au niveau d'une surface (par ex., le plancher océanique 156), etc.

[0045] Les exemples divulgués de la détection de la force électromotrice peuvent être simultanément déployés avec d'autres systèmes de détection à base de fibre optique, comprenant, sans limitation, une détection par réseau acoustique, de température et de contrainte. Comme exemple, un guide d'onde optique 118 au moins partiellement recouvert d'une ou de plusieurs couches de transduction électro-optique 128, telles que divulguées ici, peut être déployé à partir du même câble renfermé dans le tubage, tel que le câble de fibre optique 116 de la figure 2, sous forme d'un ou de plusieurs systèmes de détection supplémentaires basés sur la fibre optique. Le déploiement des systèmes à base de fibre optique dans le même câble renfermé par le tubage

peut procurer une stabilité opérationnelle, par ex., dans des environnements à pression élevée (par ex., 35 000 psi) tout en étant soumis à une réactivité chimique et des vibrations continues pour une période de temps prolongée, des conditions qui pourraient être rencontrées sur le plancher océanique ou dans des puits de champs de pétrole. Les guides d'ondes optiques 118 peuvent être multimodaux de sorte que plusieurs procédés de réseau de détection peuvent être interrogés en simultanée.

[0046] Dans certains exemples, les caractéristiques dépendantes de la température de la ou des couches de transduction électro-optique 128 peuvent être caractérisées pour la calibration des mesures de la force électromotrice. En pratique, la température ou le gradient de température à travers les intervalles d'interrogation du système de détection de la force électromotrice peut être mesuré et interrogé à distance à partir d'un système de réseau de détection de la température.

[0047] Dans les exemples additionnels, les mesures de la force électromotrice peuvent être corrigées pour tenir compte des effets de la vibration en utilisant un système de réseau de détection acoustique, tel que le système de surveillance des puits 100 des figures 1 et 7-10. L'annulation du bruit acoustique et de vibration peut être réalisée à travers la longueur du guide d'onde optique 118 qui n'est pas sensibilisée (par ex., la ou les longueurs sans couche(s) de transduction électro-optique 128), aussi longtemps qu'ils sont déployés à proximité les uns des autres. Ceci peut être réalisé si les systèmes à base de fibre optique sont déployés dans le même câble renfermé par le tubage.

[0048] Comme il est décrit ici, le réseau de systèmes de détection acoustique (par ex., le système de surveillance des puits 100 des figures 1 et 7-10) pourrait ne pas consommer d'énergie de capteur. Ceci peut être particulièrement avantageux pour le déploiement dans des environnements sous-marins, dans lesquels, l'énergie disponible à partir d'un nodule sous-marin peut être très limitée. Dans certains cas, les guides d'ondes optiques divulgués 118 peuvent être fabriqués pour permettre une production en masse efficace et une facilité de déploiement. Par ex., pour une surveillance de réservoir électromagnétique permanente, les guides d'ondes optiques 118 peuvent être préfabriqués et transportés sur un tambour de câble pour faciliter le déploiement.

[0049] Il peut y avoir plusieurs avantages potentiels aux systèmes et procédés divulgués ici, et on ne pourrait faire allusion qu'à quelques-uns seulement ici. L'un des plusieurs les avantages potentiels des procédés et systèmes peut être que le réseau de détection de la force électromotrice d'un champ électromagnétique peut être utilisé pour la surveillance du réservoir. Un autre avantage réside dans le fait que les électrodes ne seraient pas nécessaires pour la mesure de la force électromotrice (ou du champ électromagnétique). Un autre avantage est que la

liaison des capteurs électromagnétiques indépendants avec le guide d'ondes optiques ne serait pas nécessaire, simplifiant ainsi la fabrication et le déploiement du système, par ex., dans des systèmes de surveillance de réservoir permanents.

[0050] Pour faciliter une meilleure compréhension des présentes revendications, les exemples suivants de certains aspects de la description sont donnés. Les exemples suivants ne doivent en aucun cas limiter ou définir la portée globale des revendications.

### EXEMPLES

[0051] Dans les dernières années, il y a eu un investissement important dans les gisements de méthane houiller pour la production de gaz non conventionnel dans certaines régions, telles que l'Australie et les États-Unis. Dans un réservoir de méthane houiller, le métal peut être stocké dans des limets de charbon ou dissous dans les eaux fossiles. Le mécanisme primaire pour la production du méthanol mouillé peut être à travers le flux de Darcy à travers l'assèchement ou la dépressurisation des veines de charbon sur plusieurs mois. Au cours de l'assèchement, le métal est désorbé du charbon et avec l'augmentation de la perméabilité de la formation s'écoule plus facilement vers le puits de forage.

[0052] La figure 11 illustre un modèle hypothétique montrant la production du méthane houiller et la résistivité au cours du temps. Comme le démontre la FIG. 11, la production de méthane peut être négligeable au cours stades initiaux de dessèchement. Cependant, au cours du temps, la production d'eau peut diminuer et la production de méthane peut augmenter. Graduellement, le charbon peut être desséché et dégazé. Ceci n'est généralement pas accéléré étant donné qu'un assèchement rapide peut entraîner une contraction du réservoir et donc une perméabilité diminuée en raison de la surcharge de pression. La production peut être augmentée par l'injection de dioxyde de carbone, étant donné que le dioxyde de carbone absorbe préférentiellement sur le charbon ; forçant la désorption du méthane et sa diffusion dans le système de limet.

[0053] D'une perspective de physique de la roche, on peut supposer que l'assèchement est une substitution de fluide ; et donc, la résistivité doit changer. La résistivité d'un « charbon humide » peut être inférieure à 100 ohm-m (dépendamment de la résistivité de l'eau fossile), alors que la résistivité du « charbon sec » peut souvent être supérieure à 500 ohm-m (par ex., 1000+ ohm-m). Par conséquent, la tomographie de résistance électrique peut être utilisée pour surveiller la gazéification du charbon souterrain.

[0054] La figure 12 illustre un modèle terrestre hypothétique d'un réservoir de méthane houiller soumis à une dégazéification. Tel qu'il est illustré, la résistivité initiale du réservoir peut

être de 50 ohm-m et la résistivité finale du réservoir peut être de 500 ohm-m. Le système de surveillance de réservoir électromagnétique peut comprendre une source d'alimentation 112, qui peut être un transmetteur unipolaire électrique avec un courant de 1 A, et un système de réseau de détection de la force électromotrice, les deux étant déployés dans le même puits. Tel qu'il est  
5 illustré, le système de réseau de détection de la force électromotrice peut comprendre un guide d'onde optique 118 ayant une longueur de 20 pieds recouverte d'une couche de transduction électro-optique 118, le guide d'onde optique 118 pouvant être interrogé sur une longueur de 20 pieds. Le système peut fonctionner à 1 Hz. La figure 13 illustre le signal de force électromotrice pour la longueur de 20 pieds du guide d'onde optique 118 telle qu'elle serait mesurée pour le  
10 modèle de la figure 12. Le niveau du signal est de l'ordre de V. La figure 14 illustre la sensibilité qui serait mesurée sur une longueur de 20 pieds du guide d'onde optique 118 pour le modèle de la figure 12.

[0055] La précédente description décrit plusieurs modes de réalisation des systèmes et des procédés d'utilisation décrits ici, qui peuvent contenir différentes étapes de procédé et  
15 d'autres combinaisons de composants. Il doit être compris que, bien que des modes de réalisation individuels puissent être présentés ici, la présente description couvre toutes les combinaisons des modes de réalisation décrits, comprenant, sans limitation, les différentes combinaisons de composants, les combinaisons d'étape de procédé et les propriétés du système. On comprendra que les compositions et les procédés sont décrits en termes de « comprenant », « contenant » ou  
20 « incluant » divers composants ou étapes, les compositions et procédés peuvent aussi « être constitués essentiellement de » ou « être constitués de » divers composants et étapes. En outre, les articles indéfinis « un » ou « une », tels qu'ils sont utilisés dans les revendications, sont définis ici pour signifier un ou plusieurs de l'élément qu'ils introduisent.

[0056] Par souci de concision, seuls certains intervalles sont décrits explicitement ici.  
25 Toutefois, les intervalles partant de toute limite inférieure peuvent être combinés avec toute limite supérieure pour couvrir un intervalle non explicitement indiqué, et des intervalles partant de toute limite inférieure peuvent être combinés à toute autre limite inférieure pour couvrir un intervalle non explicitement indiqué, de la même manière, les intervalles partant de toute limite supérieure peuvent être combinés avec toute autre limite supérieure pour indiquer un intervalle  
30 non indiqué explicitement. De plus, à chaque fois qu'on indique un intervalle numérique avec une limite inférieure et une limite supérieure, tout chiffre ou tout intervalle compris qui se trouve à l'intérieur de l'intervalle est spécifiquement inclus. En particulier, chaque intervalle de valeurs (de la forme, « d'environ a à environ b » ou, de façon équivalente, « d'environ a à b », ou, de façon équivalente, « d'environ a-b ») indiqué ici doit être compris comme décrivant chaque

nombre et chaque intervalle englobé à l'intérieur de l'intervalle le plus large de valeurs s'il n'est pas explicitement indiqué. Ainsi, chaque point ou valeur individuelle peut servir à sa propre limite inférieure ou supérieure combinée à tout autre point ou valeur individuelle ou à toute autre limite inférieure ou supérieure, pour indiquer un intervalle non indiqué explicitement.

5 [0057] Par conséquent, les présents modes de réalisation sont bien adaptés pour réaliser les objectifs et les avantages mentionnés et également ceux qui sont inhérents à la présente invention. Les modes de réalisation particuliers décrits ci-dessus ne sont qu'illustratifs, étant donné que la présente invention peut être modifiée et pratiquée de façons différentes mais équivalentes qui seront évidentes aux spécialistes du domaine qui bénéficient des enseignements  
10 de l'invention. Bien que seuls des modes de réalisation individuels soient décrits, l'invention couvre toute combinaison de tous les modes de réalisation. De plus, aucune limitation n'est prévue aux détails de construction ou de conception décrits ici, autres que ceux décrits dans les revendications ci-dessous. En outre, les termes dans les revendications ont leur signification claire et ordinaire, sauf en cas d'indication explicite et claire autre définie par le demandeur. Il  
15 est donc évident que les modes de réalisation illustratifs particuliers décrits ci-dessus peuvent être altérés ou modifiés, et toutes ces variations sont considérées comme faisant partie de la portée et de l'esprit de ces modes de réalisation. En cas de conflit dans les usages d'un mot ou d'un terme dans cette description et dans au moins un brevet ou un autre document susceptible de se trouver ici à titre de référence, les définitions qui sont en accord avec cette description doivent  
20 être adoptées.

## Revendications

Ce qui est revendiqué :

1. Système de surveillance de puits comprenant :

5 une alimentation électrique qui génère un champ électromagnétique dans une formation souterraine ; et

un réseau de capteurs de la force électromotrice pour mesurer la force électromotrice au niveau d'un ou de plusieurs points le long d'une longueur du réseau de capteurs de la force électromotrice, le réseau de capteurs de la force électromotrice comprenant un guide d'onde optique et une couche de transduction électro-optique qui recouvre une ou plusieurs longueurs du guide d'onde optique.

2. Système de la revendication 1, dans lequel le réseau de capteurs de la force électromotrice est installé dans un puits de forage.

15 3. Système de la revendication 1, dans lequel le réseau de capteurs de la force électromotrice est installé sur un plancher océanique.

4. Système de la revendication 1, dans lequel le guide d'onde optique est enroulé autour du tubage installé dans un puits de forage.

20 5. Système de la revendication 1, dans lequel le réseau de capteurs de la force électromotrice est placé dans un intérieur d'un tubage installé dans un puits de forage.

6. Système de la revendication 1, dans lequel le réseau de capteurs de la force électromotrice est couplé sur un extérieur d'une surface d'un tubage installé dans un puits de forage.

25 7. Système de la revendication 1, dans lequel le réseau de capteurs de la force électromotrice peut être placé dans un câble de fibre optique qui comprend un faisceau de guides d'ondes optiques.

30

8. Système de la revendication 1, dans lequel la couche de transduction électro-optique peut comprendre un matériau choisi dans le groupe composé d'un matériau piézoélectrique, d'un matériau électrostrictif, et d'une combinaison de ceux-ci.
- 5 9. Système de la revendication 1, dans lequel la couche de transduction électro-optique comprend un matériau de transduction électro-optique et un polymère.
10. Système de la revendication 1, dans lequel la longueur du guide d'onde optique recouverte de la couche de transduction électro-optique va de 1 m à 10 000 m.
- 10 11. Système de la revendication 1, dans lequel le guide d'onde optique est périodiquement recouvert de la couche de transduction électro-optique pour donner des couches de transduction électro-optique espacées qui, chacune individuellement, a une longueur allant de 1 m à 1000 m et un espacement allant de 1 m à 1000 m.
- 15 12. Système de la revendication 11, dans lequel le guide d'onde optique est recouvert d'un matériau entre les couches de transduction électro-optique espacées, dans lequel le matériau ne se lie pas à la couche de transduction électro-optique.
- 20 13. Système de la revendication 11, comprenant également un système informatique permettant de surveiller la force électromotrice mesurée.
14. Procédé de surveillance de puits comprenant:  
la génération d'un champ électromagnétique dans une formation souterraine ; et  
25 la mesure de la force électromotrice au niveau d'un ou de plusieurs points le long d'un réseau de capteurs de la force électromotrice, le réseau de capteurs de la force électromotrice comprenant un guide d'onde optique et une couche de transduction électro-optique qui recouvre une ou plusieurs longueurs du guide d'onde optique
- 30 15. Procédé de la revendication 14, dans lequel le réseau de capteurs de la force électromotrice est installé dans un puits de forage.
16. Procédé de la revendication 14, dans lequel le réseau de capteurs de la force électromotrice est installé sur un plancher océanique.

17. Procédé de la revendication 14, dans lequel le réseau de capteurs de la force électromotrice est enroulé autour d'un tubage installé dans un puits de forage.

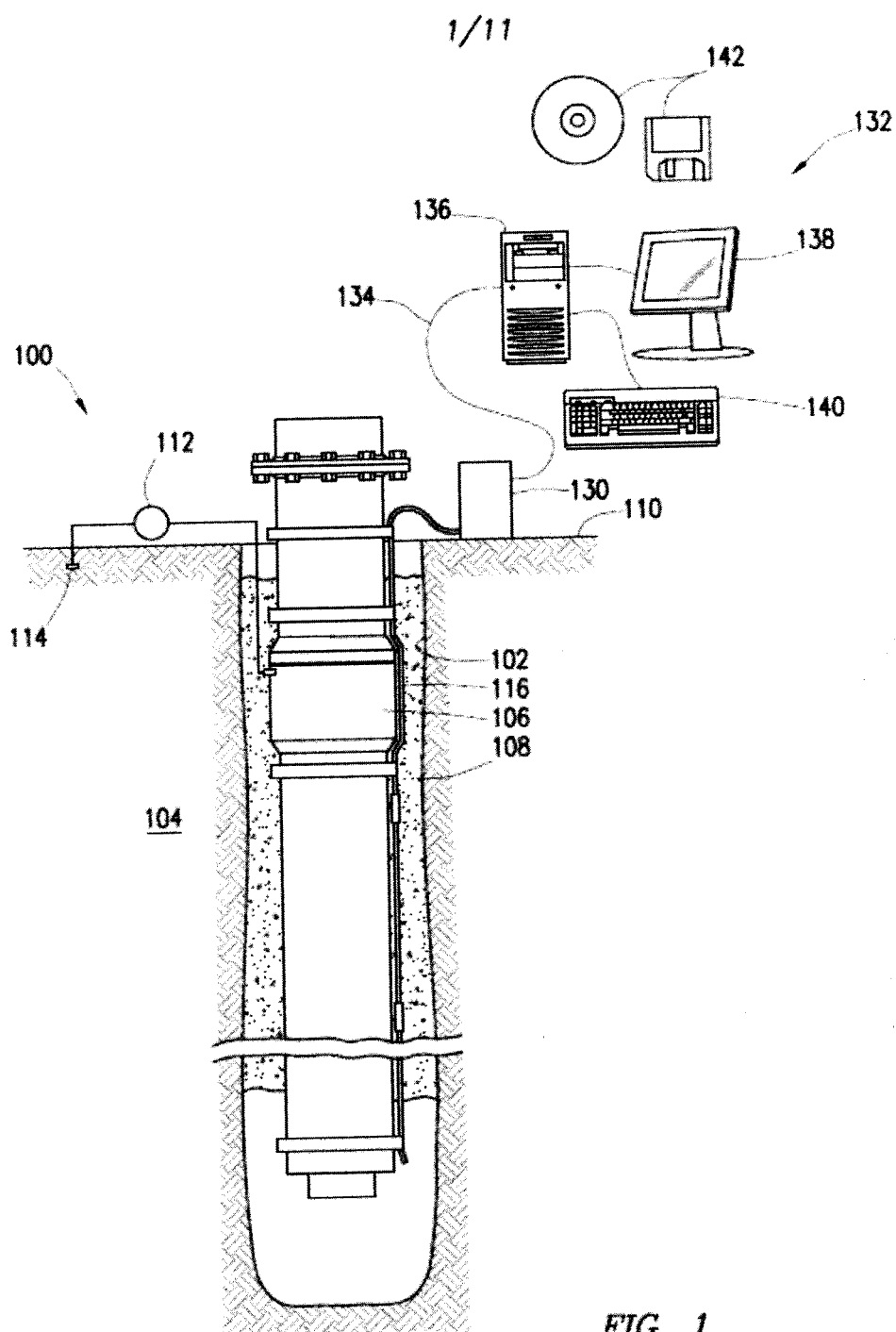
5 18. Procédé de la revendication 14, dans lequel la mesure de la force électromotrice comprend l'induction d'une contrainte dans le guide d'onde optique en réponse au champ électromagnétique.

10 19. Procédé de la revendication 14, comprenant également la génération d'un signal électromagnétique avec un outil câblé descendu dans le puits de forage ; la détection du signal électromagnétique avec le réseau de capteurs de la force électromotrice ; et la détermination de la réponse de l'impulsion électromotrice du réseau de capteurs de la force électromotrice au niveau d'une ou de plusieurs positions de l'outil câblé.

15 20. Procédé de la revendication 14, comprenant également la génération d'un champ électromagnétique avec un outil câblé descendu dans le puits de forage pour exciter le guide d'onde optique ; et la mesure d'un signal acoustique généré par le guide d'onde optique en réponse au champ électromagnétique à l'aide de transducteurs acoustiques placés sur l'outil câblé.

20 21. Procédé de la revendication 14, comprenant également la surveillance de la force électromotrice mesurée afin de déterminer les intervalles de temps de substitution de fluide dans la formation souterraine.

25 22. Procédé de la revendication 14, comprenant également la surveillance de la force électromotrice mesurée afin de déterminer l'assèchement d'un réservoir de méthane houiller.



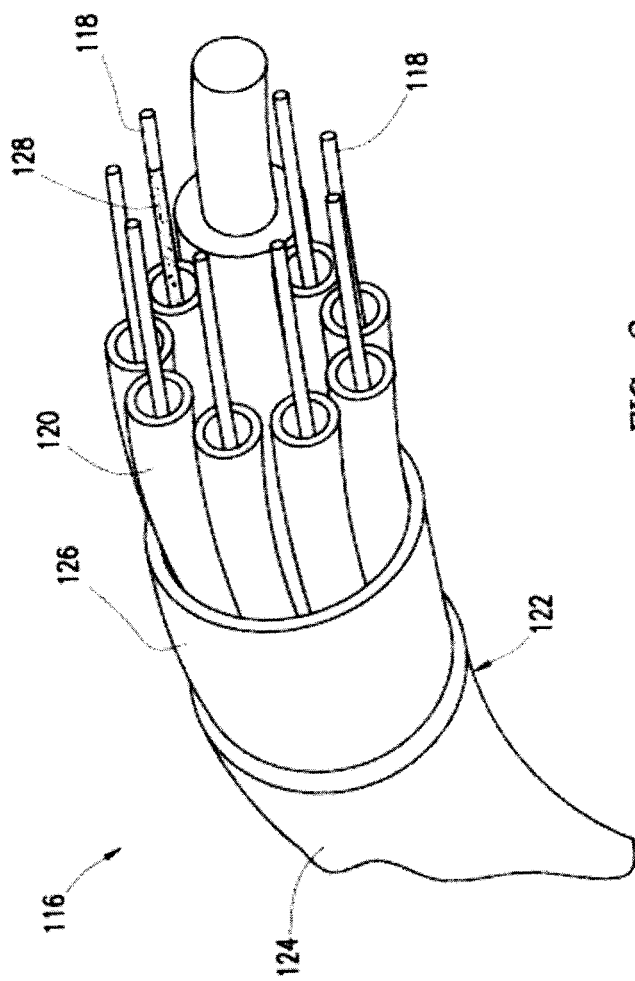


FIG. 2

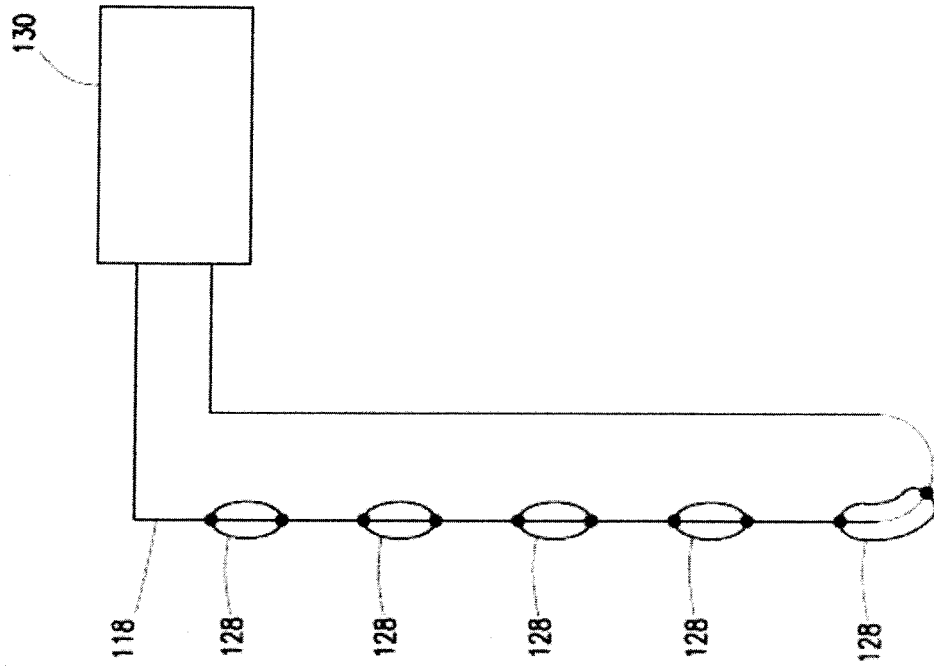


FIG. 4

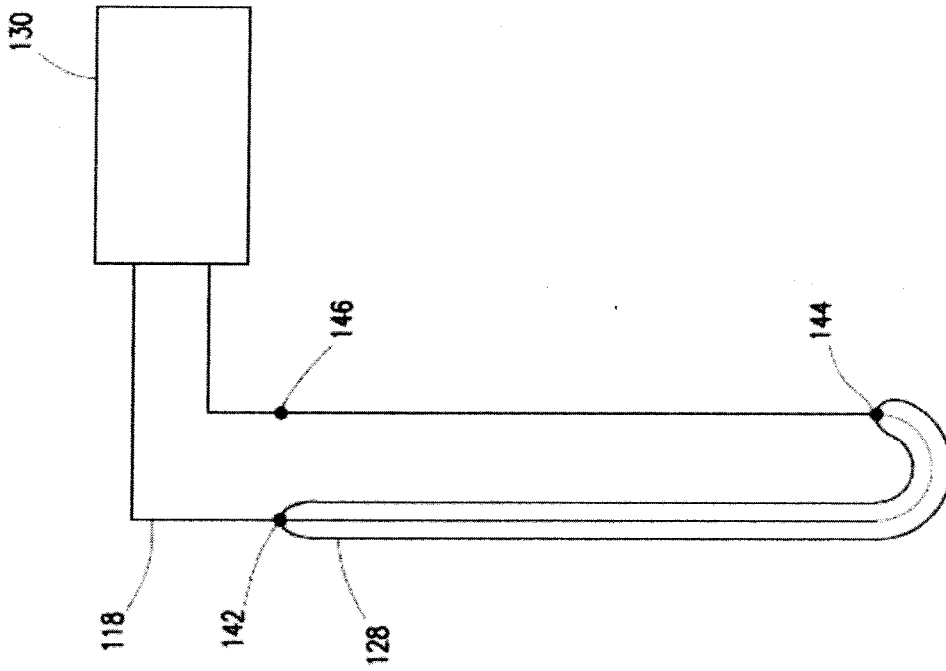


FIG. 3

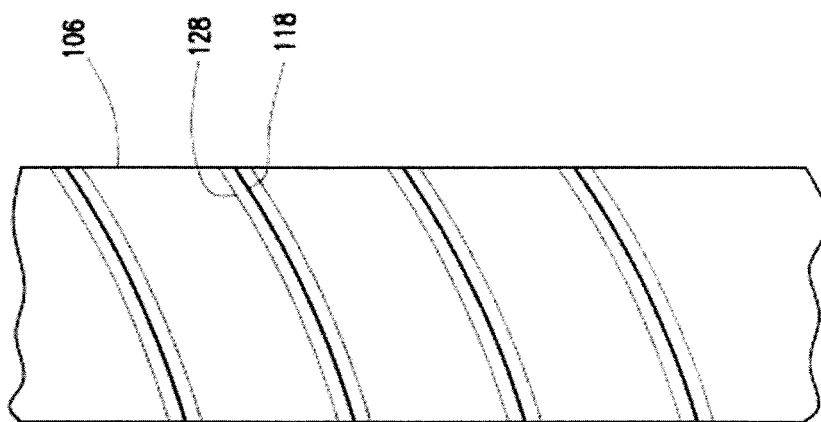


FIG. 6

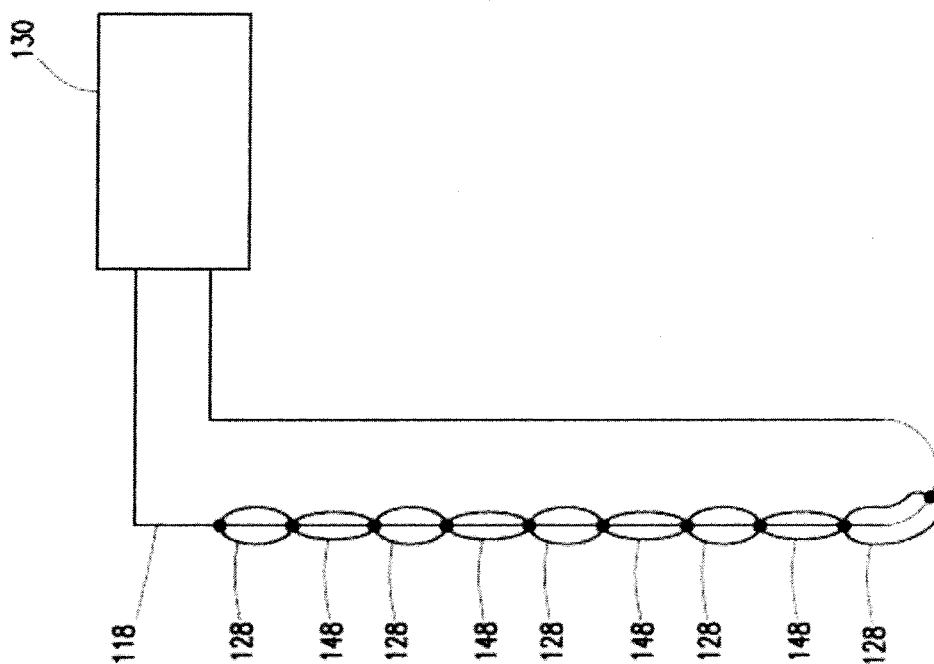


FIG. 5

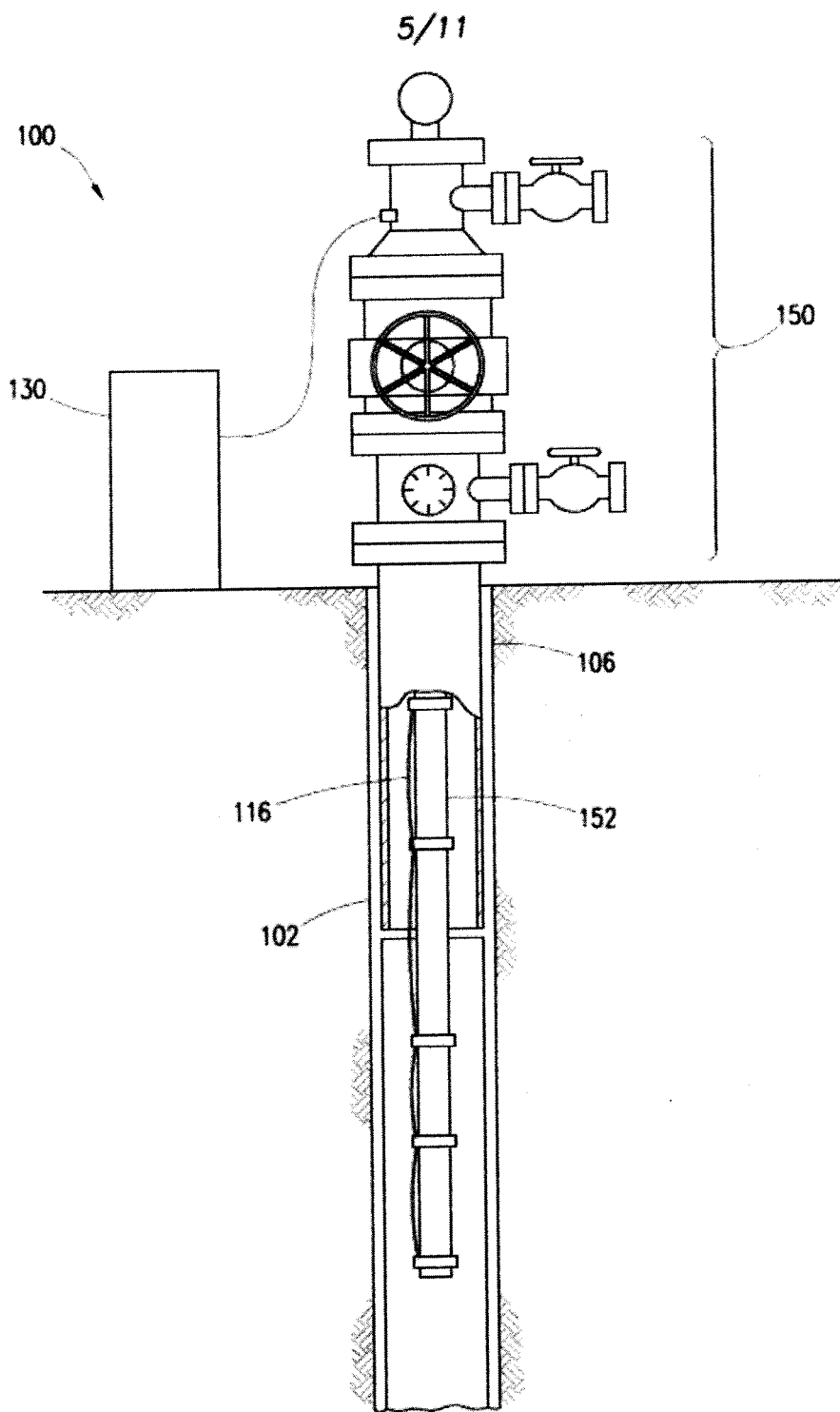


FIG. 7

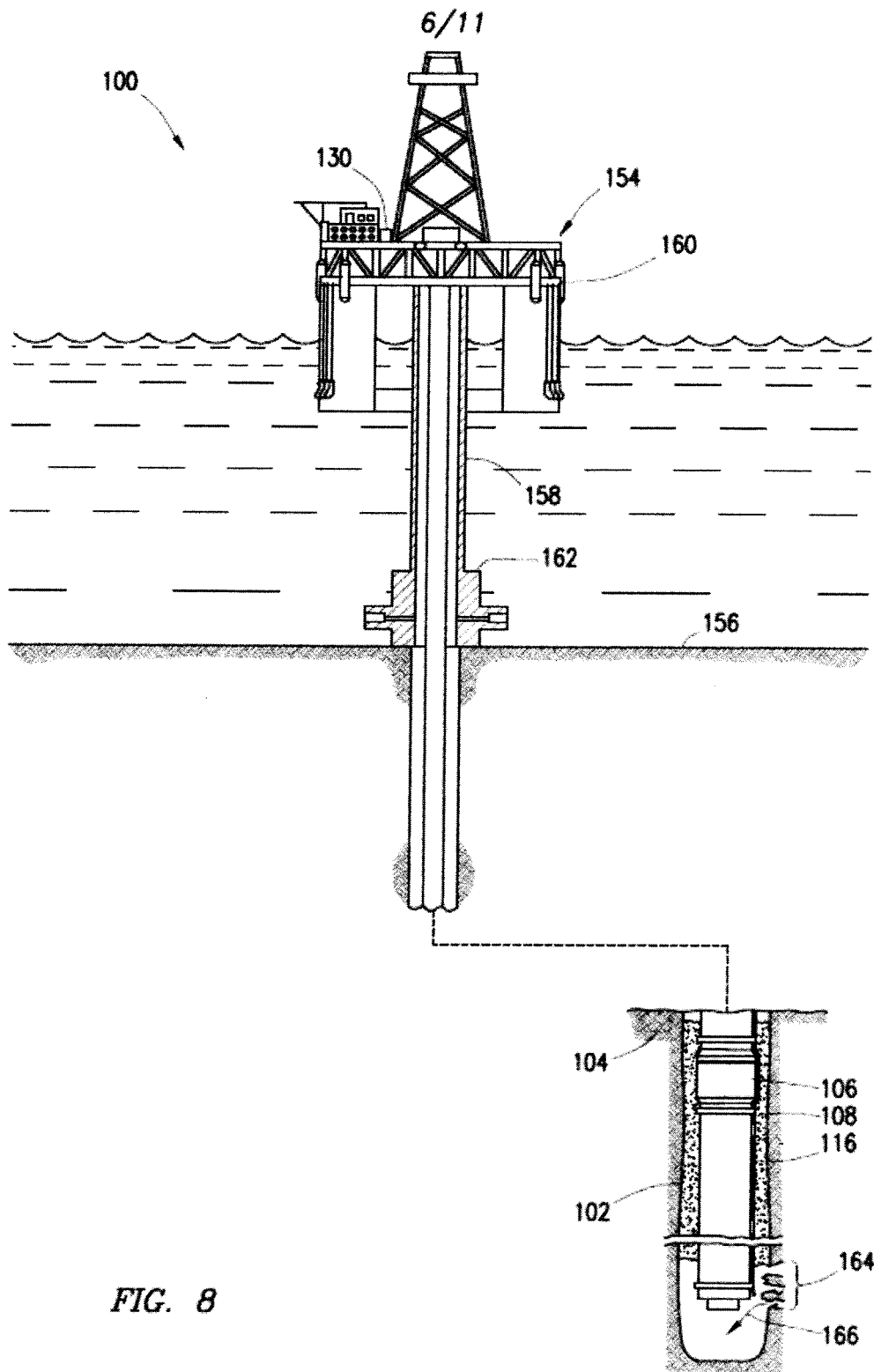


FIG. 8

7/11

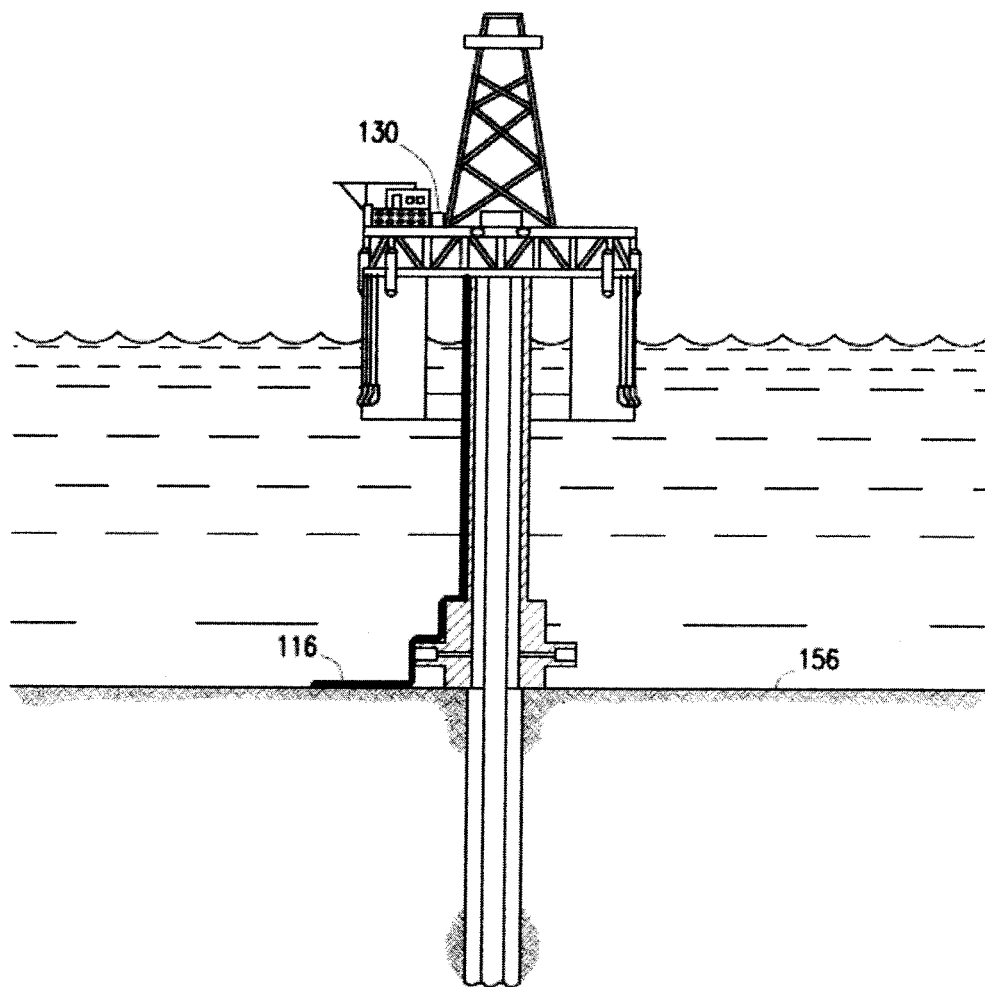


FIG. 9

8/11

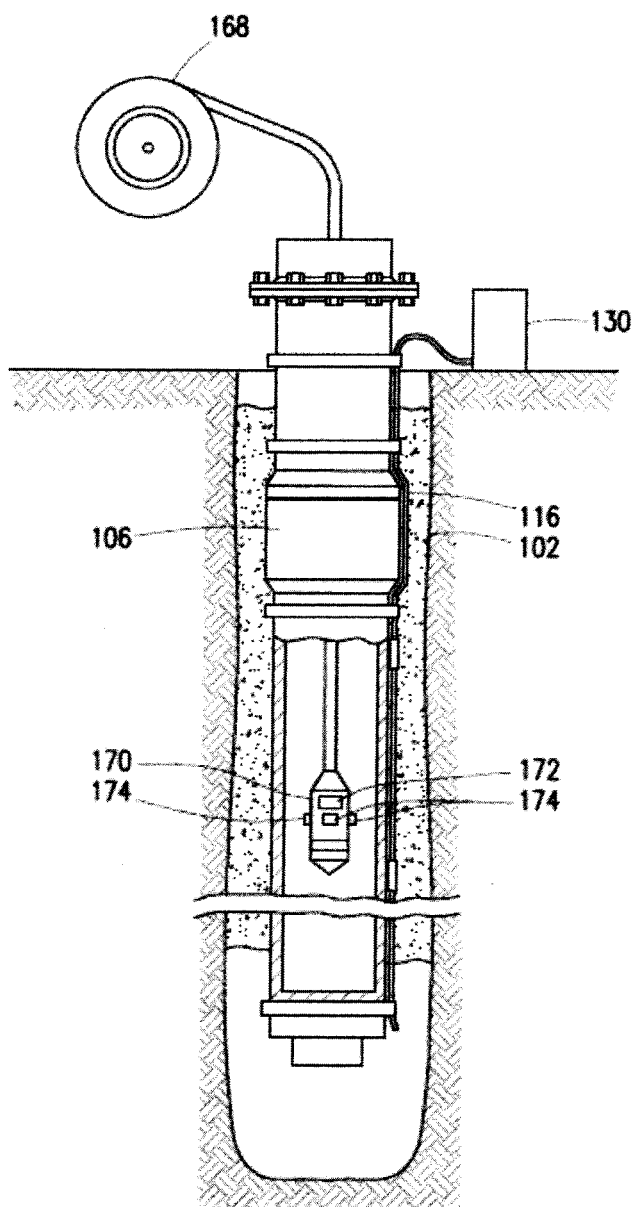


FIG. 10

9/11

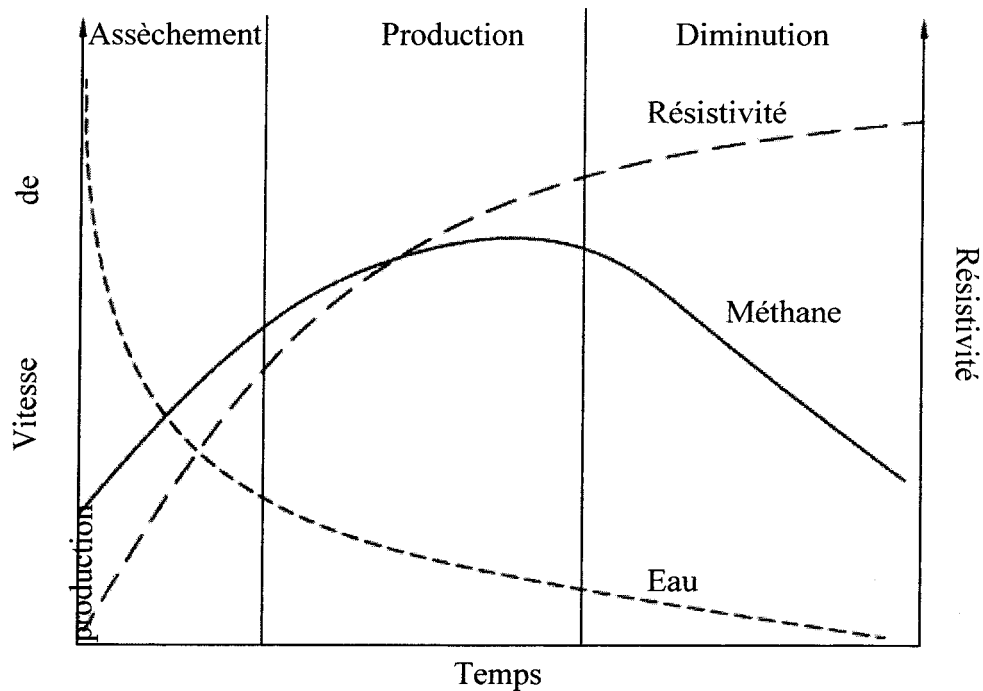


FIG. 11

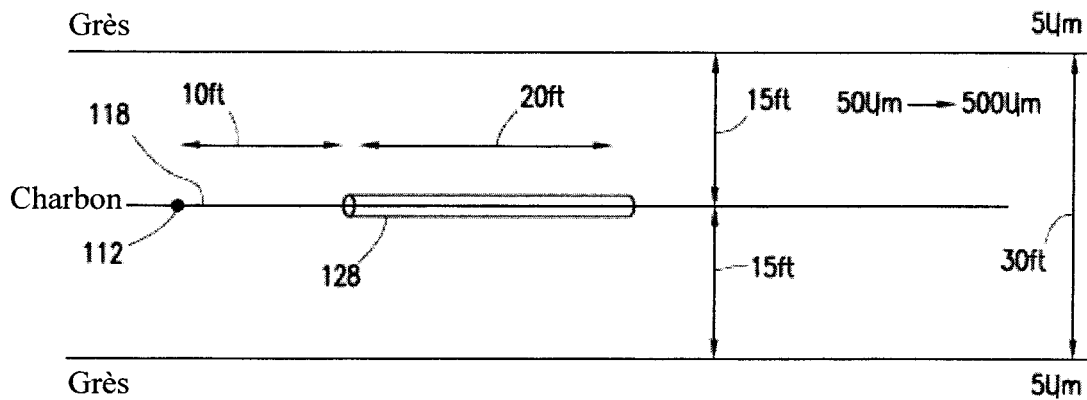
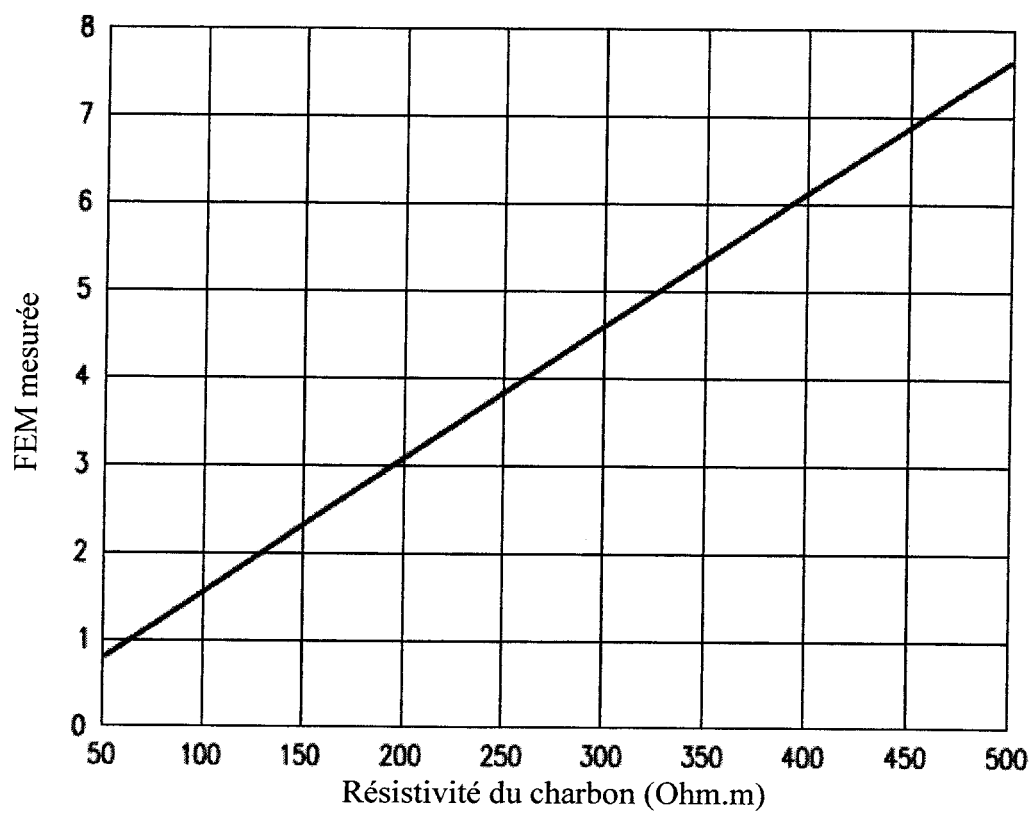
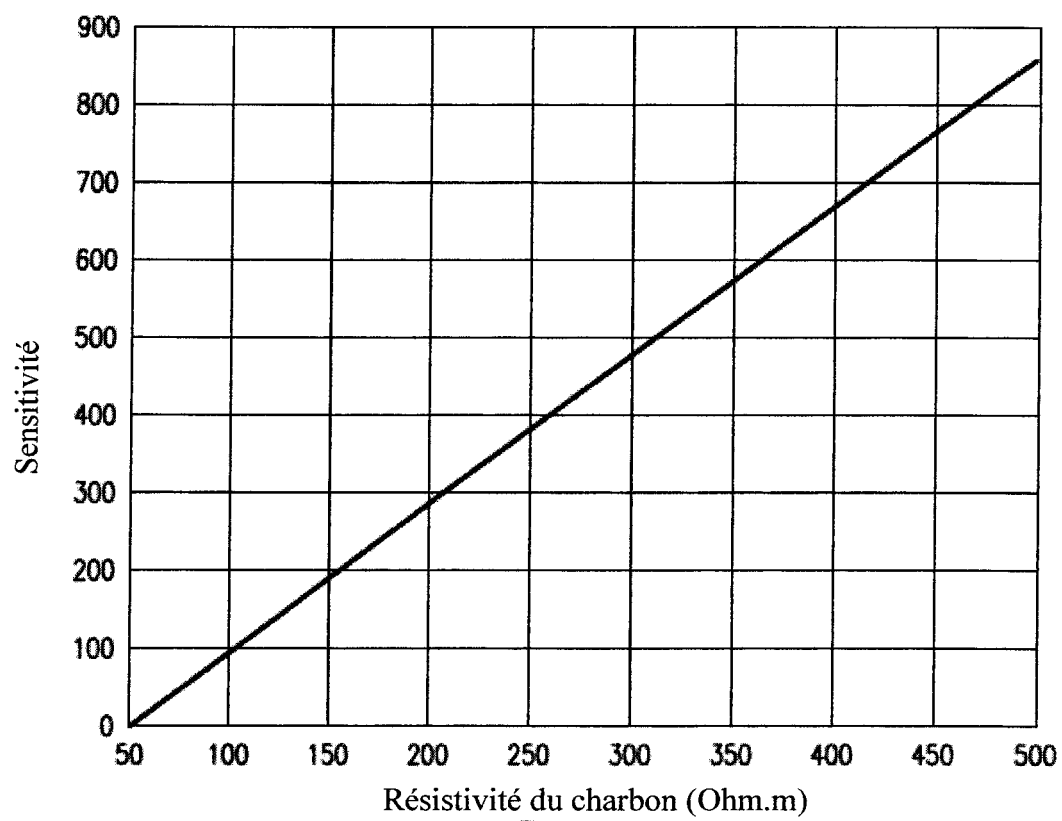


FIG. 12

10/11

*FIG. 13*

11/11

*FIG. 14*