

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

**3 039 196**

②1 N° d'enregistrement national : **16 55803**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **E 21 B 47/001 (2017.01)**

①2

**DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 **Date de dépôt** : 22.06.16.

③0 **Priorité** : 22.07.15 IB WOUS2015041623.

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 27.01.17 Bulletin 17/04.

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)** : CAPOGLU ILKER R., MANDVIWALA TASNEEM A. et DONDERICI BURKAY.

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

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

⑤4 **TITRE NON RENSEIGNE.**

⑤7 La présente invention concerne un système qui comprend dans certains modes de réalisation: un câble à fibre optique; des premier et second capteurs pour commander une longueur dudit câble; et des première et seconde bobines de récepteur qui commandent respectivement les premier et second capteurs, dans lequel les premier et second capteurs maintiennent ladite longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent uniquement un signal direct d'un émetteur, dans lequel les premier et second capteurs modifient ladite longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent un signal diffusé depuis une formation.

FR 3 039 196 - A1



## AMÉLIORATION DE LA PLAGE DYNAMIQUE DANS DES CAPTEURS DE CHAMP MAGNÉTIQUE À FIBRES OPTIQUES

### CONTEXTE

5 Des dispositifs à fibre optique sont communément utilisés dans des systèmes de surveillance de réservoir à champ magnétique pour détecter et déterminer des propriétés d'inhomogénéités dans un réservoir cible. Le signal optique passant à travers un récepteur à fibre optique en l'absence de toute inhomogénéité surveillée dans le réservoir – telle qu'une injection d'eau, de la vapeur, du gaz et du dioxyde de carbone – est altéré en présence de  
10 toute inhomogénéité de ce genre. Le changement du signal optique produit par la présence de l'inhomogénéité est ensuite utilisé pour déduire les propriétés de l'inhomogénéité surveillée.

En l'absence de toute inhomogénéité, des récepteurs à fibre optique reçoivent des signaux directement d'une source de signal, telle qu'un émetteur. Ces signaux directs sont typiquement forts parce qu'ils ont été soumis à une pénétration minimale dans la formation.  
15 Dès qu'une inhomogénéité – telle qu'une injection d'eau – est introduite dans l'environnement, au moins certains des signaux reçus par les récepteurs à fibre optique sont réfléchis par l'inhomogénéité. Ces signaux, appelés signaux diffusés, peuvent être significativement plus faibles que les signaux directs. Il en résulte qu'ils peuvent être difficiles à distinguer des signaux directs et d'autres bruits. Cette disparité d'intensités des  
20 signaux nécessite une grande plage dynamique dans les dispositifs électroniques associés au système à fibre optique, ce qui n'est pas souvent pratique dans des environnements de fond de puits.

### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

Par conséquent, des techniques pour améliorer la plage dynamique dans des capteurs  
25 de champ magnétique à fibre optique sont divulguées dans les dessins et la description suivants. Sur les dessins :

la figure 1 est un diagramme schématique d'un environnement de forage,

la figure 2 est un diagramme schématique d'un environnement de ligne câblée,

la figure 3 est un diagramme schématique d'un environnement de production,

30 la figure 4 est un diagramme schématique d'une première configuration capteur et bobine de récepteur dans un système de surveillance de réservoir à fibre optique,

la figure 5 est un diagramme schématique d'une deuxième configuration capteur et bobine de récepteur dans un système de surveillance de réservoir à fibre optique,

la figure 6 est un diagramme schématique d'une troisième configuration capteur et bobine de récepteur dans un système de surveillance de réservoir à fibre optique,

la figure 7 est un diagramme schématique d'une quatrième configuration capteur et bobine de récepteur dans un système de surveillance de réservoir à fibre optique,

5 la figure 8 est une vue en perspective d'un capteur à fibre optique, et

la figure 9 est un organigramme d'un procédé pour réaliser et utiliser un système de surveillance de réservoir à fibre optique selon des modes de réalisation.

On devrait comprendre, toutefois, que les modes de réalisation spécifiques donnés dans les dessins et la description détaillée de ceux-ci ne limitent la divulgation. Au contraire,  
10 ils fournissent la base à l'homme du métier pour discerner les formes en variante, les équivalences et les modifications qui sont englobées, conjointement avec un ou plusieurs des modes de réalisation, dans la portée des revendications annexées.

### DESCRIPTION DÉTAILLÉE

15 La présente divulgation concerne divers modes de réalisation d'un système de surveillance de réservoir à fibre optique dans lequel des bobines de récepteur sont stratégiquement enroulées et positionnées relativement à un émetteur de sorte que des signaux directs reçus de l'émetteur sont annulés. Parce que des signaux directs sont annulés, des signaux diffusés, contenant des informations de valeur se rapportant au réservoir,  
20 prédominent sur les signaux reçus au niveau de la bobine du récepteur. Par conséquent, parce que le signal direct – qui est essentiellement plus fort que le signal diffusé – est annulé, les signaux diffusés sont plus faciles à interpréter et ils demandent une plus petite plage dynamique de l'équipement de fond de puits utilisé pour traiter ces signaux.

Les figures 1 à 3 représentent divers environnements à l'intérieur desquels les  
25 techniques de surveillance de réservoir à fibre optique divulguées peuvent être mises en œuvre. Les techniques de surveillance divulguées ne sont toutefois pas limitées à une mise en œuvre dans les exemples particuliers montrés sur les figures 1 à 3, et la portée de la divulgation englobe tous les environnements dans lesquels une surveillance de réservoir peut être souhaitable.

30 La figure 1 est un diagramme schématique d'un environnement de forage donné à titre illustratif. L'environnement de forage 100 comprend une plateforme de forage 102 qui supporte une tour de forage 104 ayant un moufle mobile 106 pour lever et abaisser un train de forage 108. Un moteur d'entraînement supérieur 110 supporte et fait tourner le train de forage 108 lorsqu'il est abaissé dans un trou de forage 112. La rotation du train de forage, seule ou en

combinaison avec le fonctionnement d'un moteur de fond de puits, entraîne le trépan de forage 114 pour étendre le trou de forage 112. Le trépan de forage 114 est un composant d'un module de fond de puits (BHA) 116 qui peut en outre inclure un système de commande rotative (RSS) 118 et un stabilisateur 120 (ou une autre forme d'ensemble de commande) avec des tiges lourdes et des instruments de diagraphie. Une pompe 122 fait circuler un fluide de forage à travers un tube d'alimentation vers le mécanisme d'entraînement supérieur 110, vers le fond de puits à travers l'intérieur du train de forage 108, à travers des orifices dans le trépan de forage 114, de retour vers la surface via un espace annulaire autour du train de forage 108 et dans une cuve de rétention 124. Le fluide de forage transporte des échantillons de formation – c'est-à-dire, des déblais de forage – du trou de forage 112 vers la cuve de rétention 124 et aide à maintenir l'intégrité du trou de forage. Des échantillons de formation peuvent être extraits du fluide de forage à tout moment et à tout emplacement approprié, tel que la cuve de rétention 124. Les échantillons de formation peuvent ensuite être analysés dans un laboratoire approprié au niveau de la surface ou dans une autre installation (non montrée spécifiquement). Durant le forage, une partie supérieure du trou de forage 112 peut être stabilisée avec un train de tubage 113 tandis qu'une partie inférieure du trou de forage 112 reste ouverte (non tubée). Des récepteurs utilisés pour mettre en œuvre les techniques de surveillance décrites ici peuvent être montés sur un tel train de tubage 113, comme cela sera décrit plus bas.

Les tiges lourdes dans le module de fond de puits 116 sont typiquement des sections de tube en acier à parois épaisses qui fournissent du poids et une rigidité au processus de forage. Les parois épaisses sont également des sites pratiques pour installer des émetteurs, des récepteurs et des instruments de diagraphie qui mesurent des conditions de fond de puits, divers paramètres de forage et des caractéristiques des formations pénétrées par le trou de forage. Le module de fond de puits 116 inclut typiquement en outre un outil de navigation ayant des instruments pour mesurer l'orientation d'outils (par exemple, des magnétomètres et des accéléromètres à multiples composants) et un raccord de contrôle avec un émetteur et récepteur de télémétrie. Le raccord de contrôle coordonne le fonctionnement des divers instruments de diagraphie, des mécanismes de commande et des moteurs de forage selon des commandes reçues depuis la surface, et il fournit un flux continu de données de télémétrie à la surface lorsqu'il est nécessaire de communiquer des mesures et des informations d'états pertinentes. Un récepteur et émetteur de télémétrie correspondant est situé sur la plateforme de forage 102 ou à proximité de celle-ci pour compléter la liaison de télémétrie. Un type de liaison de télémétrie est basé sur la modulation du flux du fluide de forage pour créer des impulsions de pression qui se propagent le long du train de forage (« télémétrie à impulsions de boue ou

MPT »), mais d'autres techniques de télémétrie connues sont appropriées, telles que la télémétrie électromagnétique et la télémétrie acoustique. Au moins certaines des données obtenues par le raccord de contrôle peuvent être stockées en mémoire en vue d'une récupération ultérieure, par exemple, lorsque le module de fond de puits 116 retourne  
5 physiquement à la surface.

Une interface de surface 126 sert de concentrateur pour communiquer via la liaison de télémétrie et pour communiquer avec les divers capteurs et mécanismes de commande sur la plateforme 102. Une unité de traitement de données (montrée sur la figure 1 sous forme d'une  
10 tablette électronique 128) communique avec l'interface de surface 126 via une liaison avec fil ou sans fil 130, collectant et traitant des données de mesure (par exemple, des signaux optiques de câble à fibre optique) pour générer des journaux et d'autres représentations visuelles des données acquises et des modèles déduits pour faciliter une analyse par un utilisateur. L'unité de traitement de données peut prendre de nombreuses formes appropriées, incluant une ou  
15 plusieurs des formes suivantes : un processeur intégré, un ordinateur de bureau, un ordinateur portable, une installation centrale de traitement et un ordinateur virtuel dans le nuage. Dans chaque cas, un logiciel sur un support de stockage d'informations non transitoire peut configurer l'unité de traitement pour qu'elle exécute le traitement, la modélisation et la génération d'affichage souhaités. L'unité de traitement de données peut également contenir un dispositif de stockage pour stocker, par exemple, des données reçues d'outils dans le module de  
20 fond de puits 116 via une télémétrie électromagnétique ou acoustique ou via toute autre technique de communication appropriée. La portée de la divulgation n'est pas limitée à ces exemples particuliers d'unités de traitement de données.

La figure 2 est un diagramme schématique d'un environnement de ligne câblée donné à titre illustratif. Plus spécifiquement, la figure 2 illustre un système de diagraphie 200 selon  
25 au moins certains modes de réalisation. Le système de diagraphie 200 comprend un outil de diagraphie à ligne câblée 202 disposé dans un trou de forage 204 à proximité d'une formation 208 d'intérêt. Le trou de forage 204 contient un train de tubage 220 et un fluide de tubage 206, qui peuvent comprendre une ou plusieurs substances parmi du pétrole, du gaz, de l'eau fraîche, de l'eau saline ou d'autres substances. Des récepteurs utilisés pour mettre en œuvre  
30 les techniques de surveillance décrites ici peuvent être montés sur un tel train de tubage 220, comme cela sera décrit plus bas. L'outil 202 comprend une sonde 210 à l'intérieur de laquelle sont logés divers sous-systèmes de l'outil 202. Ces sous-systèmes sont équipés pour mesurer divers paramètres associés à la formation et au puits de forage. Dans le cas donné à titre illustratif de la figure 2, la sonde 210 est suspendue à l'intérieur du trou de forage 204 par un

câble 212. Le câble 212, dans certains modes de réalisation un câble à multiples conducteurs à armature externe, non seulement fournit un support à la sonde 210, mais également, dans ces modes de réalisation, couple de manière communicative l'outil 202 à un module de télémétrie à la surface 214 et à un ordinateur à la surface 216. L'outil 202 peut être levé et abaissé à l'intérieur du trou de forage 204 au moyen du câble 212, et la profondeur de l'outil 202 à l'intérieur du trou de forage 204 peut être déterminée par un système de mesure de profondeur 218 (illustré par une roue de profondeur). Le train de tubage 220 peut être composé de multiples segments de tubage qui sont joints à l'aide de raccords de tubage, tel qu'un raccord 222. Dans certains modes de réalisation, des outils (par exemple, des électrodes, un équipement de diagraphie et un équipement de communication incluant des dispositifs à fibre optique et des émetteurs et/ou des récepteurs) peuvent être inclus à l'intérieur du train de tubage 220 et/ou du raccord 222, couplés ou adjacents à ceux-ci. Par exemple, la figure 2 inclut un émetteur-récepteur 224 qui fonctionne en tant qu'émetteur, récepteur ou les deux, et communique avec d'autres émetteurs ou récepteurs dans d'autres parties du trou de forage 204, à l'intérieur de la sonde 210 ou à la surface.

La figure 3 est a diagramme schématique d'un puits de production avec un trou de forage 302 qui a été foré dans la terre. De tels trous de forage, dont des exemples sont décrits ci-dessous en référence aux figures 1 et 2, sont forés habituellement à une profondeur de dix mille pieds ou plus et peuvent être commandés horizontalement sur deux fois cette distance. Le puits de production inclut une tête de tubage 304 et un tubage 306, les deux immobilisés sur place par du ciment 303. Un bloc d'obturation de puits (BOP) 308 couple la tête de tubage 306 et la tête de puits de production 310, qui se scellent ensemble dans la tête de puits et permettent d'extraire des fluides du puits d'une manière sûre et contrôlée.

L'utilisation de dispositifs de mesure installés en permanence dans le puits facilite une surveillance du puits et/ou de la formation environnante. Différents transducteurs envoient des signaux à la surface qui peuvent être stockés, évalués et utilisés pour surveiller les opérations du puits. De tels signaux peuvent être transmis à l'aide, par exemple, d'un émetteur 334 qui se couple au ou qui est disposé à l'intérieur du tubage 306 ou d'un raccord du tubage 306. Un tel émetteur peut communiquer avec un récepteur dans n'importe quelle partie du système montré sur la figure 3, tel qu'un récepteur disposé dans une autre partie du tubage 306, à l'intérieur d'un raccord de tubage différent, à l'intérieur du puits ou à la surface. Des récepteurs utilisés pour mettre en œuvre les techniques de surveillance décrites ici peuvent être montés sur un tel tubage 306 ou raccord de tubage, comme cela sera décrit plus bas. Des mesures à proximité du puits de forage sont prises périodiquement au niveau du puits de

production et combinées avec des mesures provenant d'autres puits à l'intérieur d'un réservoir, ce qui permet de surveiller, simuler et estimer l'état global du réservoir. Ces mesures peuvent être prises à l'aide d'un certain nombre de différents instruments de fond de puits et de surface, incluant, mais sans y être limité, des capteurs de température et de pression 318 et des débitmètres 320. Des dispositifs supplémentaires également couplés en ligne le long du tubage de production 312 incluent une duse de fond de puits 316 (utilisée pour varier la restriction d'écoulement du fluide), une pompe électrique submersible (ESP) 322 (qui aspire le fluide s'écoulant des perforations 325 en dehors de la pompe ESP 322 et du tubage de production 312), un moteur 324 de la pompe ESP (entraînant la pompe ESP 322) et une garniture d'étanchéité 314 (isolant la zone de production en dessous de la garniture du reste du puits). Des dispositifs de mesure en surface supplémentaires peuvent être utilisés pour mesurer, par exemple, la pression de la tête de tubage et la consommation électrique du moteur 324 de la pompe ESP. Bien que l'exemple de la figure 3 montre un puits qui incorpore une pompe ESP, les systèmes et procédés divulgués peuvent également être utilisés avec des puits qui incorporent d'autres systèmes pour assister l'extraction de fluides (par exemple, des systèmes d'extraction au gaz) ou avec des puits sans de tels systèmes d'assistance qui reposent sur la pression déjà présente dans la formation et/ou induite par les puits injecteurs.

Chacun des dispositifs le long du tubage de production 312 se couple au câble 328, qui est attaché à l'extérieur du tubage de production 312 et remonte à la surface à travers le bloc d'obturation de puits 308 où il se couple au pupitre de commande 332. Le câble 328 fournit l'énergie aux dispositifs auxquels il se couple, et fournit en outre des chemins de signaux (électriques, optiques, etc.) qui permettent de diriger des signaux de commande de la surface aux dispositifs de fond de puits, et de recevoir des signaux de télémétrie à la surface en provenance des dispositifs de fond de puits. Les dispositifs peuvent être commandés et surveillés localement par le personnel du site à l'aide d'une interface utilisateur construite dans le pupitre de commande 332, ou ils peuvent être commandés et surveillés par un système informatique (non montré spécifiquement). La communication entre le pupitre de commande 332 et un tel système informatique peut être établie via un réseau sans fil (par exemple, un réseau cellulaire), via un réseau câblé (par exemple, une connexion câblée à l'Internet) ou une combinaison de réseaux sans fil et câblés.

La figure 4 est un diagramme schématique d'une partie d'un système de surveillance de réservoir à fibre optique 400 donné à titre illustratif selon des modes de réalisation. Le système 400 peut être positionné à toute position appropriée en haut du puits ou au fond du

puits, incluant, par exemple, dans une sonde à ligne câblée, couplé à une tige ou un tubage, dans un fourreau en ciment, dans un module de fond de puits de train de forage ou à la surface de la Terre. D'autres emplacements pour le système 400 sont envisagés et inclus dans la portée de la divulgation. Par exemple, dans certains modes de réalisation, différentes parties du système 400 illustré sur la figure 4 sont situées dans différentes zones.

Le système 400 inclut un récepteur 401. Le récepteur 401 reçoit un câble à fibre optique 402. Dans certains modes de réalisation, de nombreux récepteurs se couplent au câble à fibre optique 402. Par conséquent, dans de tels modes de réalisation, le câble à fibre optique 402 peut passer à travers le récepteur 401 et être routé vers un autre récepteur qui est situé, par exemple, vers le fond du puits par rapport au récepteur 401. Le récepteur 401 et le câble à fibre optique 402 ont n'importe quelle forme et taille appropriée. Dans au moins certains modes de réalisation, le récepteur 401 est cylindrique. Le système 400 inclut également un émetteur (non montré spécifiquement). L'émetteur n'est pas nécessairement situé dans la même zone que le récepteur 401, mais l'émetteur est de préférence positionné de sorte que des signaux électromagnétiques émis par l'émetteur peuvent être reçus par le récepteur 401.

Le récepteur 401 inclut le câble à fibre optique 402, un capteur à fibre optique 404, un capteur à fibre optique 406, une bobine de récepteur 408 couplée au capteur 404, et une bobine de récepteur 410 couplée au capteur 406. Chacun des capteurs 404, 406 inclut un matériau piézoélectrique, tel que du titanate de zirconate de plomb (PZT), autour duquel le câble à fibre optique 402 est enroulé selon une configuration de bobine (comme cela sera illustré plus en détail sur la figure 8). Le matériau piézoélectrique dans les capteurs 404, 406 inclut également des bornes d'entrée (de préférence, deux bornes d'entrée) qui se couplent respectivement aux bobines de récepteur 408, 410. Lorsque les bobines de récepteur 408, 410 appliquent des tensions aux bornes d'entrée, le matériau piézoélectrique s'étend ou se contracte, en fonction de la tension appliquée. Lorsque le matériau piézoélectrique s'étend, le câble à fibre optique 402 enroulé autour du matériau piézoélectrique est soumis à une contrainte et augmente sa longueur. Par contre, lorsque le matériau piézoélectrique se contracte, le câble à fibre optique 402 enroulé autour du matériau piézoélectrique diminue de longueur. Si aucune tension n'est appliquée aux bornes d'entrée, le câble à fibre optique 402 maintient sa longueur courante. De manière similaire, si un capteur – par exemple, le capteur 404 – contient un matériau piézoélectrique extensible tandis qu'un autre capteur – par exemple, le capteur 406 – contient un matériau piézoélectrique contractible, l'extension et la contraction se contrebalancent. Dans un tel cas, si l'extension excède la contraction, le câble à fibre optique 402 subit une augmentation finale de longueur ; si la contraction excède

l'extension, le câble à fibre optique 402 subit une diminution finale de longueur ; et si l'extension et la contraction s'annulent l'une l'autre, le câble à fibre optique 402 ne subit pas de changement final de longueur. Le terme « final » est utilisé parce que le câble à fibre optique 402 peut subir un allongement résultant d'un des capteurs et un raccourcissement résultant d'un autre des capteurs, mais la longueur globale est maintenue, ce qui signifie que le changement final de longueur est nul ou essentiellement nul. Par « essentiellement nul », on signifie que la longueur du câble à fibre optique subit une modification négligeable (par exemple, une variation de plus ou moins 5 % de la longueur originale du câble à fibre optique avant l'extension / la contraction en question).

10 Toujours en référence à la figure 4, les bobines de récepteur 408, 410 sont de préférence enroulées dans des sens opposés, comme cela est indiqué par les points montrés adjacents aux bobines. Le nombre de tours dans chacune des bobines de récepteur 408, 410 peut varier. En plus, la position des bobines de récepteur 408, 410 le long du câble à fibre optique 401 (et, par conséquent, la position des capteurs 404, 406 le long du câble à fibre  
15 optique 401) peut varier.

En fonctionnement, un émetteur (non montré spécifiquement) génère des ondes électromagnétiques (EM) qui se propagent à travers le réservoir surveillé par le système 400. Au moins certains des signaux électromagnétiques vont directement de l'émetteur au récepteur 401. Comme cela a été expliqué ci-dessus, de tels signaux sont appelés des  
20 « signaux directs ». D'autres signaux électromagnétiques arrivent au récepteur 401 après avoir été réfléchis contre une inhomogénéité (par exemple, une injection d'eau) dans le réservoir. De tels signaux sont appelés des « signaux diffusés ». Parce que des signaux directs subissent typiquement une moindre pénétration dans la formation que des signaux diffusés et donc prennent une route plus directe de l'émetteur au récepteur, les signaux directs sont plus  
25 forts que les signaux diffusés. Ce phénomène entraîne que les signaux directs surpassent, ou « noient », les signaux diffusés et rendent difficile de détecter et d'interpréter les signaux diffusés. En plus, l'équipement de fond de puits utilisé pour traiter les signaux directs et diffusés détectés par le récepteur 401 doit avoir une plage dynamique relativement grande pour traiter toutes les données de signaux collectées – c'est-à-dire, à la fois les signaux directs  
30 et diffusés.

Le récepteur 401, toutefois, est conçu pour pallier ces défis et éventuellement d'autres défis associés à la réception de signaux directs et diffusés. Spécifiquement, dans certains modes de réalisation, chacune des bobines de récepteur 408, 410 est positionnée relativement à l'émetteur de sorte que le câble à fibre optique 401 ne subit pas de changement final de

longueur lors de la réception d'un signal direct. Cela survient parce que les bobines de récepteur 408, 410 sont enroulées dans des sens opposés, appliquant ainsi des tensions ayant des polarités opposées aux capteurs 404, 406. Ainsi, tandis qu'un des capteurs 404, 406 amène le câble à fibre optique 401 à augmenter en longueur, l'autre capteur 404, 406 amène le câble à fibre optique 401 à subir une diminution de longueur de même mesure, ce qui n'entraîne pas un changement final de la longueur du câble à fibre optique. Les positions des bobines de récepteur 408, 410 sont étalonnées en l'absence de toute inhomogénéité ciblée – c'est-à-dire, en l'absence de signaux diffusés résultant d'une inhomogénéité ciblée. Ainsi, par exemple, lorsqu'aucun signal diffusé n'est présent et que seulement des signaux directs sont présents, les positions des bobines de récepteur 408, 410 sont ajustées jusqu'à ce que les tensions  $V_1$ ,  $V_2$  appliquées aux capteurs 404, 406 n'entraînent pas de changement final de la longueur du câble à fibre optique. Dans certains modes de réalisation, les positions des bobines de récepteur 408, 410 sont étalonnées pendant que le récepteur 401 est positionné au fond du puits. Dans certains modes de réalisation, les positions des bobines de récepteur 408, 410 sont étalonnées à la surface à l'aide d'un modèle d'environnement de fond de puits. D'autres techniques d'étalonnage pour les positions des bobines de récepteur 408, 410 sont envisagées et tombent dans la portée de la divulgation.

D'autres techniques pour annuler le signal direct sont envisagées, et ces techniques peuvent être combinées les unes avec les autres et/ou avec la technique d'étalonnage de position décrite ci-dessus. Dans certains modes de réalisation, par exemple, le nombre de tours dans une ou dans les deux bobines de récepteur 408, 410 peut être ajusté pour annuler le signal direct. Par exemple, en supposant pour un moment que les positions des bobines de récepteur 408, 410 sont fixes et que la longueur du câble à fibre optique 402 a été diminuée parce que le signal reçu dans la bobine de récepteur 410 entraîne une valeur de tension absolue  $V_2$  supérieure à la valeur de tension absolue  $V_1$ , le nombre de tours dans la bobine de récepteur 408 peut être augmenté pour compenser la différence entre les valeurs absolues de  $V_1$  et  $V_2$  jusqu'à ce que la longueur du câble à fibre optique 402 soit statique. Comme avec l'étalonnage de la position des bobines de récepteur, cet étalonnage des tours des bobines de récepteur peut être effectué au fond de puits, avec un modèle approprié de l'environnement du fond du puits à la surface, ou à l'aide d'un autre environnement d'étalonnage approprié.

Encore d'autres techniques pour annuler le signal direct sont envisagées. Par exemple, le nombre de tours du câble à fibre optique 402 autour d'un ou des deux matériaux piézoélectriques dans les capteurs 404, 406 peut être ajusté jusqu'à ce que l'effet du signal direct sur la longueur du câble à fibre optique 402 soit annulé. Le principe fondamental à la

base de cet ajustement du nombre de tours du câble à fibre optique 402 est similaire à celui à la base de l'ajustement du nombre de tours des bobines de récepteur 408, 410. Par conséquent, en supposant une position fixe des bobines de récepteur 408, 410 et un nombre de tours des bobines de récepteur 408, 410, le nombre de tours du câble à fibre optique 402  
5 autour du matériau piézoélectrique dans l'un des capteurs 404, 406 peut être ajusté pour ajuster l'impact d'un signal de bobine de récepteur correspondant à l'extension ou à la contraction du matériau piézoélectrique et, par extension, à la longueur du câble à fibre optique 402.

Les techniques d'étalonnage précédentes peuvent être effectuées seules ou selon une  
10 quelconque combinaison. En plus, différentes combinaisons des techniques d'étalonnage peuvent être appliquées à différents récepteurs couplés au même câble à fibre optique. Toutes les combinaisons et variations de ce genre sont incluses dans la portée de cette divulgation.

Une fois qu'un récepteur a été ajusté pour annuler les effets des signaux directs sur la longueur du câble à fibre optique, le récepteur peut être utilisé pour détecter des signaux  
15 diffusés par des inhomogénéités d'intérêt du réservoir, telles que des injections d'eau. Le récepteur annule le signal direct mais pas le signal diffusé parce que les signaux directs et diffusés varient différemment selon la distance entre l'émetteur et les bobines de récepteur. Ainsi, tandis qu'une combinaison particulière des positions des bobines de récepteur, des tours des bobines de récepteur, et/ou des tours du câble à fibre optique peuvent supprimer le  
20 signal direct, le signal diffusé est encore reçu. Parce que seul le signal diffusé est reçu, ou au moins parce que le signal diffusé domine de manière significative le signal direct (dans des situations dans lesquelles le signal direct est diminué, mais pas entièrement annulé), le signal diffusé est plus facilement interprété et la plage dynamique, requise pour que l'équipement de fond de puits traite les données de signaux collectées, est diminuée (c'est-à-dire, améliorée).

L'équipement de surface, tel que l'interface de surface 126 et l'ordinateur 128 (figure  
25 1), l'ordinateur de surface 216 (figure 2) et/ou le pupitre de surface 332 ou un ordinateur couplé au pupitre de surface 332 (figure 3) peuvent se coupler au câble à fibre optique 402 et l'interroger. Ces dispositifs et d'autres dispositifs similaires peuvent être utilisés pour surveiller le degré de contrainte dans le câble à fibre optique 402. La contrainte (et, donc, le  
30 changement de phase des signaux optiques passant à travers le câble à fibre optique 402) est interrogée à distance à l'aide de techniques d'interrogation bien connues comme Fabry-Pérot. Dans ce cas, les capteurs 404, 406 sont positionnés entre deux miroirs partiellement réfléchissants (connus en tant que réseau de Bragg sur fibre) positionnés aux points A et B comme l'illustre la figure 4. De manière similaire, d'autres techniques d'interrogation

impliquant des interféromètres de Michelson ou de Mach Zehnder peuvent être appliquées comme cela est bien connu dans l'art. En plus, des technologies optiques autres que celles montrées sur les figures 4 à 7 peuvent être utilisées. Par exemple, dans certains modes de réalisation, chacun des capteurs 404, 406 peut être un matériau PZT relié à un capteur de  
 5 contrainte à laser à fibre de sorte que la contrainte induite dans le matériau PZT (et, donc, la contrainte transférée au capteur de contrainte à laser à fibre) est proportionnelle à la tension appliquée au matériau, qui, à son tour, est proportionnelle au champ magnétique d'intérêt. La contrainte et le changement de phase résultant du signal optique peuvent être interrogés et multiplexés à distance à l'aide d'une technique appropriée d'interrogation et de multiplexage.

10 De manière similaire, dans certains modes de réalisation, chacun des capteurs 404, 406 peut être un modulateur de phase  $\text{LiNbO}_3$ . Lorsque les tensions des bobines de récepteur sont appliquées, les indices de réfraction dans les modulateurs de phase  $\text{LiNbO}_3$  varient proportionnellement aux tensions appliquées qui, à leur tour, sont proportionnelles au champ magnétique d'intérêt. Des techniques appropriées de multiplexage et d'interrogation, telles  
 15 que la technique intrinsèque de Fabry-Pérot, peuvent être utilisées à la surface pour traiter des signaux provenant de tels modulateurs de phase  $\text{LiNbO}_3$ .

La figure 5 est un diagramme schématique d'une configuration en variante pour des modes de réalisation illustrés sur la figure 4. Spécifiquement, la figure 5 montre un système 500 qui a un récepteur 501 comprenant des capteurs piézoélectriques 504, 506, qui se  
 20 couplent respectivement aux bobines de récepteur 508, 510. Un câble à fibre optique 502 passe à travers le récepteur 501 et se couple aux capteurs 504, 506. Les bobines de récepteur 508, 510 sont enroulées dans des sens opposés de sorte que les signaux directs qu'elles reçoivent peuvent être annulés. La configuration du système 500 illustrée sur la figure 5 est  
 25 similaire à celle montrée sur la figure 4, à l'exception que les bobines de récepteur 508, 510 sont enroulées autour d'un tubage de puits 512. Dans des modes de réalisation préférés, un matériau isolant (par exemple, une résine époxy) est appliqué au tubage 512 pour exclure un contact électrique direct entre le tubage et les bobines de récepteur. Le fonctionnement du système 500, toutefois, est similaire au fonctionnement du système 400 montré sur la figure  
 4. Comme avec le système 400, dans le système 500, les positions et le nombre de tours des  
 30 bobines de récepteur 508, 510 peuvent être ajustés pour annuler l'effet du signal direct sur la longueur du câble à fibre optique 502. Le nombre de tours du câble à fibre optique 502 autour du matériau piézoélectrique dans les capteurs 504, 506 peut être ajusté pour la même raison.

La figure 6 est un diagramme schématique d'une partie d'un système de surveillance de réservoir à fibre optique 600 donné à titre illustratif selon des modes de réalisation. Le

5 système 600 inclut un récepteur 601 qui, à son tour, comprend un capteur 604 et des bobines de récepteur 608, 610 couplées au capteur 604. Les bobines de récepteur 608, 610 se couplent en série l'une à l'autre et ont des enroulements opposés de sorte que les potentiels de tension  $V_1$ ,  $V_2$  aux bornes des bobines ont des polarités opposées. Un câble à fibre optique 602 passe à travers le récepteur 601 et se couple au capteur 604 – plus spécifiquement, le câble 602 est bobiné autour d'un matériau piézoélectrique à l'intérieur du capteur 604. Comme avec les systèmes 400 et 500, dans le système 600, les positions et le nombre de tours des bobines de récepteur 608, 610 peuvent être ajustés pour annuler l'effet du signal direct sur la longueur du câble à fibre optique 602.

10 La figure 7 est un diagramme schématique d'une configuration en variante pour les modes de réalisation illustrés sur la figure 6. Spécifiquement, la figure 7 illustre un système 700 comprenant un récepteur 701 qui inclut un capteur piézoélectrique 704. Le capteur 704 se couple aux bobines de récepteur 708, 710, qui se couplent en série l'une à l'autre et ont des enroulements opposés. Un câble à fibre optique 702 passe à travers le récepteur 701 et se couple au capteur 704. Le système 700 est similaire au système 600, à l'exception que, dans le système 700, les bobines de récepteur 708, 710 sont enroulées autour d'un tubage de puits 712. Dans au moins certains modes de réalisation, un matériau isolant (par exemple, une résine époxy) exclut un contact électrique direct entre les bobines de récepteur 708, 710 et le tubage 712. Comme avec les systèmes 400, 500 et 600, dans le système 700, les positions et le nombre de tours des bobines de récepteur 708, 710 peuvent être ajustés pour annuler l'effet du signal direct sur la longueur du câble à fibre optique 702.

15 Les principes de fonctionnement dans les systèmes 400, 500, 600 et 700 sont similaires. Une annulation de l'impact des signaux directs sur la longueur du câble à fibre optique est obtenue par un ajustement des positions d'une ou de plusieurs des bobines de récepteur par rapport à l'émetteur qui émet les signaux directs ; par un ajustement du nombre de tours dans une ou plusieurs des bobines de récepteur ; par un ajustement du nombre de tours dans le câble à fibre optique bobine qui s'enroule autour du matériau piézoélectrique dans un ou plusieurs capteurs ; ou une certaine combinaison de ces ajustements jusqu'à ce que l'impact du signal direct sur la longueur du câble à fibre optique ait été supprimé ou essentiellement supprimé (par exemple, le changement de longueur du câble à fibre optique est plus ou moins 5 % de la longueur originale du câble avant l'exposition au signal direct). La manière dans laquelle les systèmes 400 et 500 accomplissent cette annulation, toutefois, n'est pas identique à la manière selon laquelle les systèmes 600 et 700 accomplissent l'annulation. Spécifiquement, en référence aux figures 4 et 6 données à titre illustratif, le

système 400 inclut des bobines de récepteur qui se couplent à des capteurs différents tandis  
 que le système 600 inclut des bobines de récepteur qui se couplent à un capteur commun.  
 Ainsi, dans le système 400, les tensions  $V_1$  et  $V_2$  ont un impact séparé sur la longueur du  
 câble à fibre optique 402. Il en résulte que l'annulation du signal direct décrite ci-dessus  
 survient dans le câble à fibre optique même puisque les capteurs 404, 406 agissent sur le  
 5 câble à fibre optique 402 indépendamment l'un de l'autre. Au contraire dans le système 600,  
 les tensions  $V_1$  et  $V_2$  sont combinées et la différence entre les deux tensions est appliquée au  
 capteur 604. Il en résulte que l'annulation du signal direct décrite ci-dessus survient par une  
 combinaison de tensions et non dans le câble à fibre optique même. En d'autres termes, dans  
 10 le système 400, l'annulation du signal direct est accomplie à l'aide de signaux optiques tandis  
 que, dans le système 600, l'annulation du signal direct est accomplie à l'aide de signaux de  
 tension. Les systèmes 400, 500, 600 et/ou 700 peuvent être conçus pour être des systèmes  
 inductifs et/ou galvaniques.

Les boîtiers des récepteurs 401, 501, 601 et/ou 701, dans certains modes de  
 15 réalisation, sont des cylindres creux fermés aux deux extrémités. Les cylindres peuvent être  
 remplis avec un fluide et scellés. Les extrémités peuvent être pénétrées par les câbles à fibre  
 optique. Les extrémités peuvent inclure des connecteurs appropriés pour coupler  
 mécaniquement les cylindres aux câbles encapsulés par les tiges (TEC). Les bobines de  
 récepteur peuvent être logées à l'intérieur des cylindres, comme dans les modes de réalisation  
 20 illustrés sur les figures 4 et 6. Dans certains modes de réalisation, les cylindres sont remplis  
 avec un fluide chimiquement inerte, non magnétique, électriquement isolant. Dans certains  
 modes de réalisation, les cylindres sont remplis avec un fluide chimiquement inerte, non  
 magnétique, électriquement isolant, non compressible. Dans certains modes de réalisation, les  
 cylindres sont remplis avec un fluide magnétique chimiquement inerte qui améliore la  
 25 perméabilité magnétique à l'intérieur du cylindre, améliorant ainsi le flux magnétique flux  
 passant à travers les bobines de récepteur et les tensions induites résultantes.

La figure 8 est une vue en perspective d'un dispositif piézoélectrique 800, tel que  
 celui logé à l'intérieur des capteurs 404, 406, 504, 506, 604 et 704. Le dispositif 800 peut  
 comprendre, par exemple, du titanate de zirconate de plomb (PZT), bien que d'autres  
 30 matériaux qui donnent la fonctionnalité décrite ci-dessus puissent également être utilisés. Des  
 bornes de tension positive et négative 802 sont appliquées au dispositif 800, amenant le  
 dispositif 800 à s'étendre ou à se contracter selon la polarité et l'amplitude de la tension  
 appliquée. Une telle extension et contraction du dispositif 800 provoquent des changements  
 de la contrainte dans le câble à fibre optique 804, modifiant ainsi la longueur du câble à fibre

optique 804. Des changements de la longueur du câble 804 modifient la phase du signal optique passant à travers le câble 804. Ces changements peuvent être mesurés et interprétés à la surface à l'aide de l'une quelconque des techniques décrites ci-dessus ou toute autre technique appropriée.

5 La figure 9 est un organigramme d'un procédé 900 pour réaliser et utiliser un système de surveillance de réservoir à fibre optique selon des modes de réalisation. Le procédé 900 commence par l'utilisation d'un ou de plusieurs capteurs (étape 902) et le couplage d'une ou de plusieurs bobines de récepteur au(x) capteur(s) (étape 904). La configuration précisée utilisée peut être sélectionnée parmi l'un quelconque des modes de réalisation décrits ici, bien  
10 que la portée de la divulgation ne soit pas limitée à ceux-ci. Le procédé 900 comprend ensuite un couplage du ou des capteurs et de la ou des bobines à un câble à fibre optique (étape 906). Le procédé 900 comprend également un positionnement des bobines de récepteur, un ajustement du nombre de tours des bobines et/ou un ajustement du nombre de tours du câble à fibre optique autour du matériau piézoélectrique pour annuler le signal direct (étape 908).  
15 Comme cela a été expliqué ci-dessus, cette étape peut être effectuée soit dans le fond du puits en présence de signaux directs, soit à la surface à l'aide d'un modèle de l'environnement de fond de puits ciblé. D'autres environnements de configuration sont envisagés. Après que l'impact du signal direct sur le câble à fibre optique a été annulé durant l'étape 908, le système peut être utilisé pour recevoir et interpréter des signaux diffusés si nécessaire (étape  
20 910). Le procédé 900 peut être modifié si nécessaire, incluant une addition, une suppression, un réarrangement ou sinon une modification d'étapes.

De nombreuses autres variations et modifications deviendront évidentes à l'homme du métier une fois que la divulgation ci-dessus est entièrement prise en compte. Les revendications suivantes ont été faites avec l'intention d'être interprétées pour comprendre  
25 toutes variations, modifications et équivalences de ce genre. En plus, le terme « ou » devrait être interprété dans un sens inclusif.

Au moins certains modes de réalisation ont trait à un système, comprenant : un câble à fibre optique ; des premier et second capteurs pour commander une longueur dudit câble ; et des première et seconde bobines de récepteur qui commandent respectivement les premier et  
30 second capteurs, dans lequel les premier et second capteurs maintiennent ladite longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent uniquement un signal direct d'un émetteur, dans lequel les premier et second capteurs modifient ladite longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent un signal diffusé depuis une formation. Certains de ces modes de réalisation peuvent être modifiés à l'aide d'un ou de

plusieurs des concepts suivants, dans n'importe quel ordre et selon n'importe quelle combinaison : dans lesquels les premier et second capteurs maintiennent ladite longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent ledit signal direct en raison au moins en partie des positions des première et seconde bobines de récepteur relativement à l'émetteur ; dans lesquels les premier et second capteurs maintiennent ladite longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent ledit signal direct en raison au moins en partie des nombres de tours dans chacune des première et seconde bobines de récepteur ; dans lesquels lesdits nombres de tours dans chacune des première et seconde bobines de récepteur sont différents ; dans lesquels, en raison des positions d'une ou des deux bobines des première et seconde bobines de récepteur relativement à l'émetteur, en raison des nombres de tours dans une ou les deux des première et seconde bobines de récepteur, ou en raison desdites positions et desdits nombres, des signaux directs fournis par l'émetteur aux première et seconde bobines de récepteur ne provoquent pas de modification essentielle de ladite longueur ; dans lesquels les première et seconde bobines de récepteur sont positionnées autour d'un tubage ; dans lesquels les première et seconde bobines de récepteur ont des enroulements opposés.

Au moins certains modes de réalisation ont trait à un système, comprenant : un capteur piézoélectrique ; un câble à fibre optique couplé au capteur piézoélectrique ; et des première et seconde bobines de récepteur, couplées en série, qui appliquent une tension au capteur piézoélectrique pour ajuster une longueur du câble à fibre optique, dans lequel la tension provoque un changement final de ladite longueur uniquement lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent un signal diffusé depuis une formation. Certains de ces modes de réalisation peuvent être modifiés à l'aide d'un ou de plusieurs des concepts suivants, dans n'importe quel ordre et selon n'importe quelle combinaison : dans lesquels la tension ne modifie pas essentiellement ladite longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent uniquement un signal direct d'un émetteur ; dans lesquels la tension provoque le changement final de ladite longueur en provoquant un agrandissement ou une réduction de taille d'un matériau piézoélectrique à l'intérieur dudit capteur ; dans lesquels les première et seconde bobines de récepteur sont positionnées relativement à un émetteur de sorte que des signaux directs fournis par l'émetteur aux première et seconde bobines de récepteur n'entraînent pas de modification essentielle de ladite longueur ; dans lesquels chacune des première et seconde bobines de récepteur incluent un nombre de tours de sorte que des signaux directs fournis par un émetteur aux première et seconde bobines de récepteur n'entraînent pas une modification essentielle de ladite longueur ; dans lesquels le

câble à fibre optique inclut une bobine positionnée autour d'un matériau piézoélectrique à l'intérieur du capteur piézoélectrique, et dans lesquels ledit câble à fibre optique bobine a un nombre de tours de sorte que des signaux directs fournis par un émetteur aux première et seconde bobines de récepteur n'entraînent pas une modification essentielle de ladite longueur ; dans lesquels le système est un système inductif ; dans lesquels les première et seconde bobines de récepteur ont des enroulements opposés ; dans lequel le capteur piézoélectrique comprend un capteur composé de titanate de zirconate de plomb (PZT).

Au moins certains modes de réalisation ont trait à un procédé, comprenant : une utilisation de premier et second capteurs ; un couplage de première et seconde bobines de récepteur respectivement aux premier et second capteurs ; un couplage des premier et second capteurs à un câble à fibre optique ; et un positionnement des première et seconde bobines de récepteur relativement à un émetteur, un ajustement d'un nombre de tours dans chacune desdites première et seconde bobines de récepteur, ou dans les deux, de sorte que ledit câble à fibre optique subit un changement final de sa longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent un premier type de signal et ne subit pas de modification essentielle de sa longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent uniquement un second type de signal. Certains de ces modes de réalisation peuvent être modifiés à l'aide d'un ou de plusieurs des concepts suivants, dans n'importe quel ordre et selon n'importe quelle combinaison : le premier type de signal étant un signal diffusé depuis une formation ; le second type de signal étant un signal direct provenant d'un émetteur ; comprenant en outre un positionnement desdites première et seconde bobines de récepteur autour d'un seul tubage de puits.

## REVENDICATIONS

1. Système, comprenant :  
un câble à fibre optique ;  
5 des premier et second capteurs pour commander une longueur dudit câble ; et  
des première et seconde bobines de récepteur qui commandent respectivement les  
premier et second capteurs,  
dans lequel les premier et second capteurs maintiennent ladite longueur lorsque les  
première et seconde bobines de récepteur reçoivent uniquement un signal  
10 direct d'un émetteur,  
dans lequel les premier et second capteurs modifient ladite longueur lorsque les  
première et seconde bobines de récepteur reçoivent un signal diffusé depuis  
une formation.
- 15 2. Système selon la revendication 1, dans lequel les premier et second capteurs  
maintiennent ladite longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent  
ledit signal direct en raison au moins en partie des positions des première et seconde bobines  
de récepteur relativement à l'émetteur.
- 20 3. Système selon la revendication 1, dans lequel les premier et second capteurs  
maintiennent ladite longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent  
ledit signal direct en raison au moins en partie des nombres de tours dans chacune des  
première et seconde bobines de récepteur.
- 25 4. Système selon la revendication 3, dans lequel lesdits nombres de tours dans chacune  
des première et seconde bobines de récepteur sont différents.
5. Système selon la revendication 1, dans lequel, en raison des positions d'une ou des  
deux des première et seconde bobines de récepteur relativement à l'émetteur, en raison des  
30 nombres de tours dans une ou les deux des première et seconde bobines de récepteur, ou en  
raison desdites positions et desdits nombres de tours, des signaux directs fournis par  
l'émetteur aux première et seconde bobines de récepteur ne provoquent pas une modification  
essentielle de ladite longueur.

6. Systèmes selon les revendications 1 à 5, dans lesquels les première et seconde bobines de récepteur sont positionnées autour d'un tubage.
7. Systèmes selon les revendications 1 à 5, dans lesquels les première et seconde bobines de récepteur ont des enroulements opposés.
8. Système, comprenant :  
un capteur piézoélectrique ;  
un câble à fibre optique couplé au capteur piézoélectrique ; et  
des première et seconde bobines de récepteur, couplées en série, qui appliquent une tension au capteur piézoélectrique pour ajuster une longueur du câble à fibre optique,  
dans lequel la tension provoque un changement final de ladite longueur uniquement lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent un signal diffusé depuis une formation.
9. Système selon la revendication 8, dans lequel la tension ne modifie pas essentiellement ladite longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent uniquement un signal direct d'un émetteur.
10. Système selon la revendication 8, dans lequel la tension provoque le changement final de ladite longueur en amenant un matériau piézoélectrique à l'intérieur dudit capteur à agrandir ou réduire sa taille.
11. Système selon la revendication 8, dans lequel les première et seconde bobines de récepteur sont positionnées relativement à un émetteur de sorte que des signaux directs fournis par l'émetteur aux première et seconde bobines de récepteur n'entraînent pas une modification essentielle de ladite longueur.
12. Système selon la revendication 8, dans lequel chacune des première et seconde bobines de récepteur inclut un nombre de tours de sorte que des signaux directs fournis par un émetteur aux première et seconde bobines de récepteur n'entraînent pas une modification essentielle de ladite longueur.

13. Système selon la revendication 8, dans lequel le câble à fibre optique inclut une bobine positionnée autour d'un matériau piézoélectrique à l'intérieur du capteur piézoélectrique, et dans lequel ladite bobine du câble à fibre optique a un nombre de tours de sorte que des signaux directs fournis par un émetteur aux première et seconde bobines de récepteur n'entraînent pas une modification essentielle de ladite longueur.
14. Systèmes selon les revendications 8 à 13, dans lesquels le système est un système inductif.
15. Systèmes selon les revendications 8 à 13, dans lesquels les première et seconde bobines de récepteur ont des enroulements opposés.
16. Systèmes selon les revendications 8 à 13, dans lesquels le capteur piézoélectrique comprend un capteur composé de titanate de zirconate de plomb (PZT).
17. Procédé, comprenant :
- une fourniture de premier et second capteurs ;
  - un couplage de première et seconde bobines de récepteur respectivement aux premier et second capteurs ;
  - un couplage des premier et second capteurs à un câble à fibre optique ; et
  - un positionnement des première et seconde bobines de récepteur relativement à un émetteur, un ajustement d'un nombre de tours dans chacune desdites première et seconde bobines de récepteur, ou dans les deux, de sorte que ledit câble à fibre optique subit un changement final de sa longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent un premier type de signal et ne subit pas de modification importante de sa longueur lorsque les première et seconde bobines de récepteur reçoivent uniquement un second type de signal.
18. Procédé selon la revendication 17, dans lequel le premier type de signal est un signal diffusé depuis une formation.
19. Procédé selon la revendication 17, dans lequel le second type de signal est un signal direct d'un émetteur.

20. Procédé selon les revendications 17 à 19, comprenant en outre un positionnement desdites première et seconde bobines de récepteur autour d'un tubage de puits.



2/6

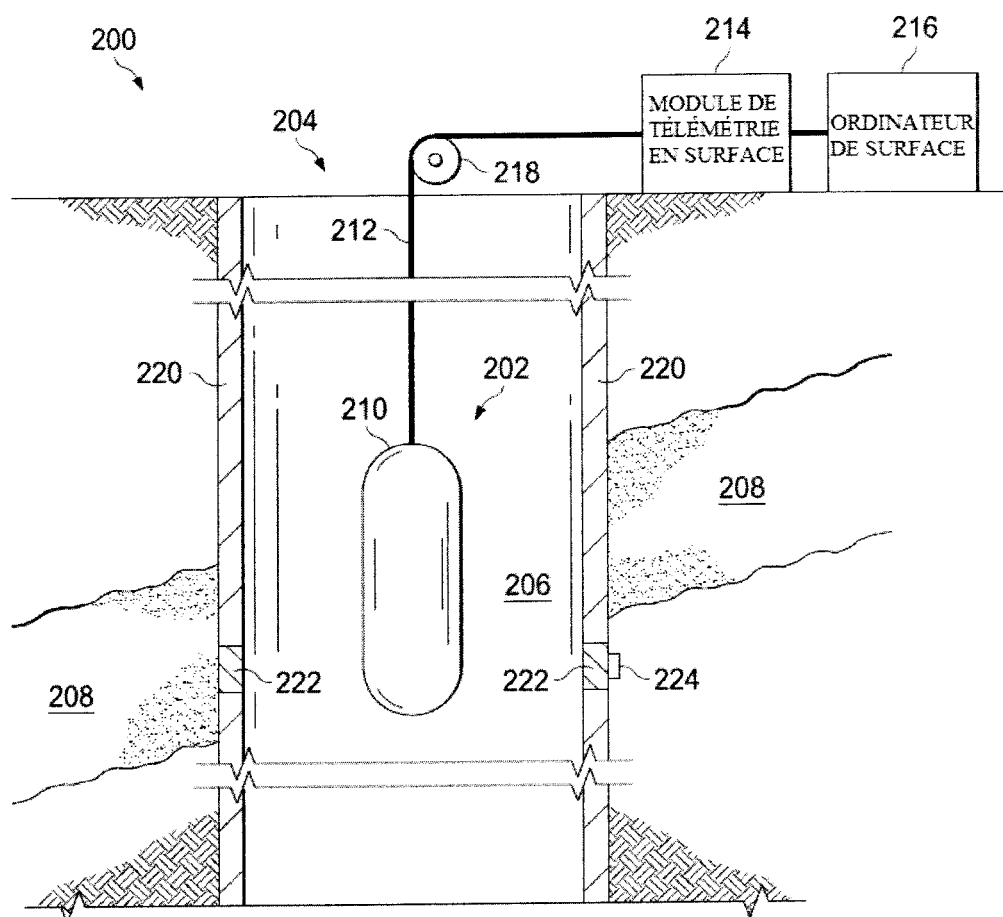


FIG. 2

3/6

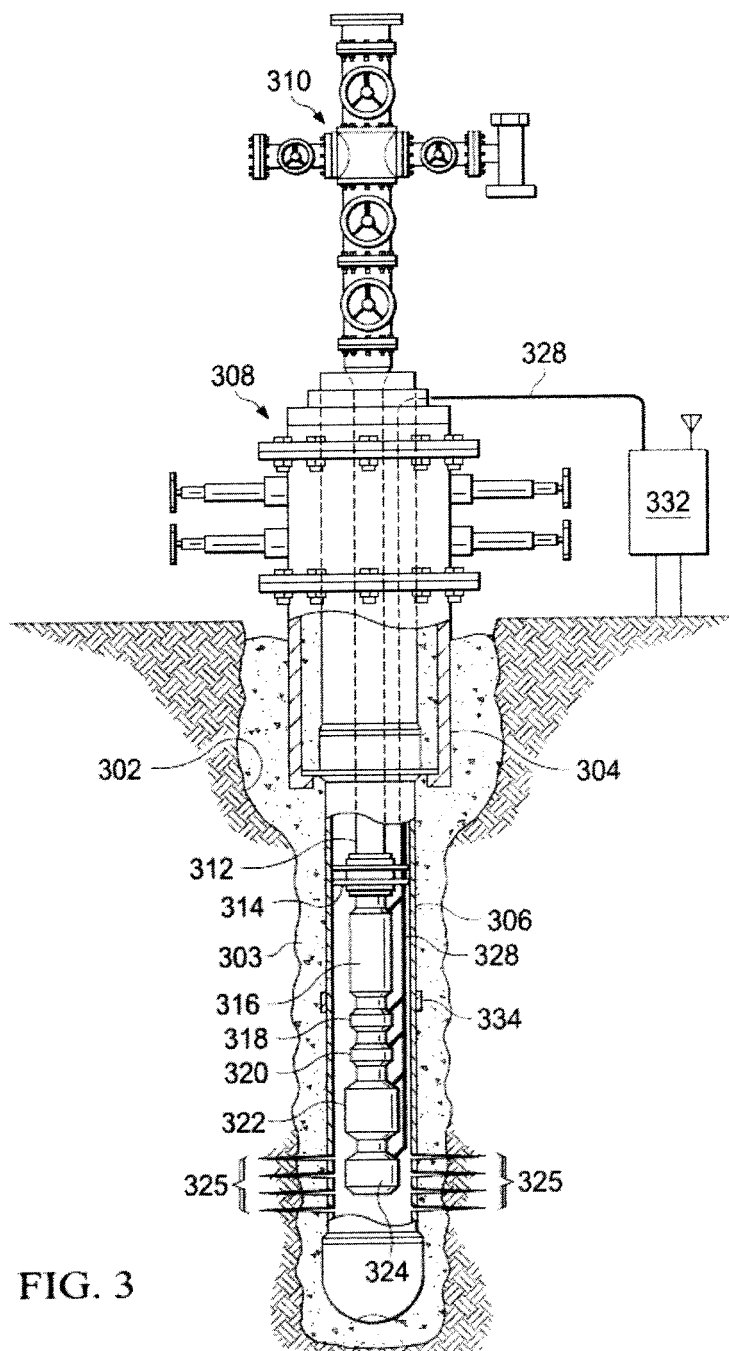


FIG. 3

4/6

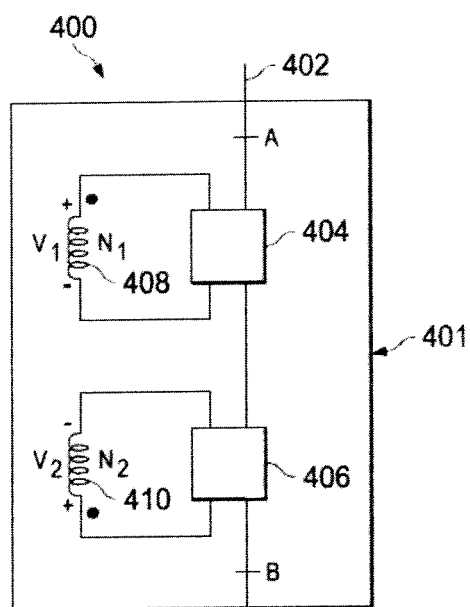


FIG. 4

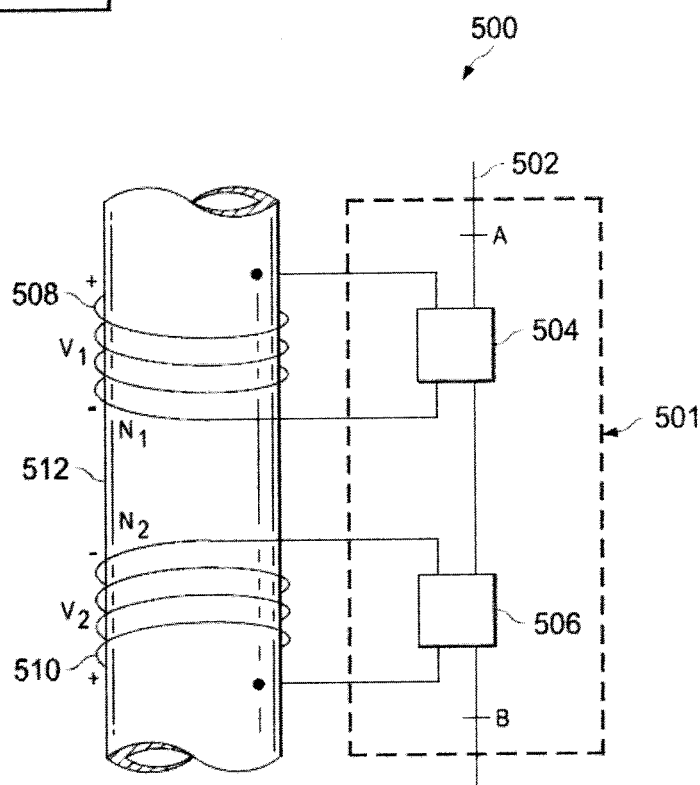


FIG. 5

5/6

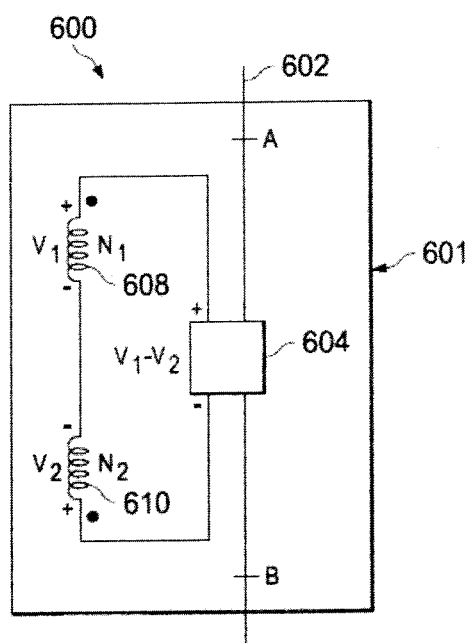


FIG. 6

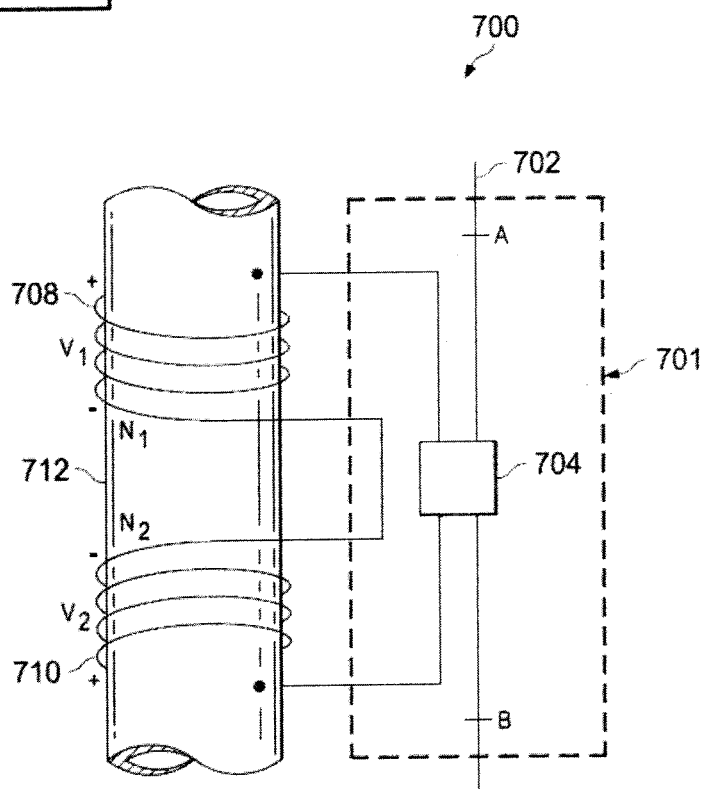


FIG. 7

6/6

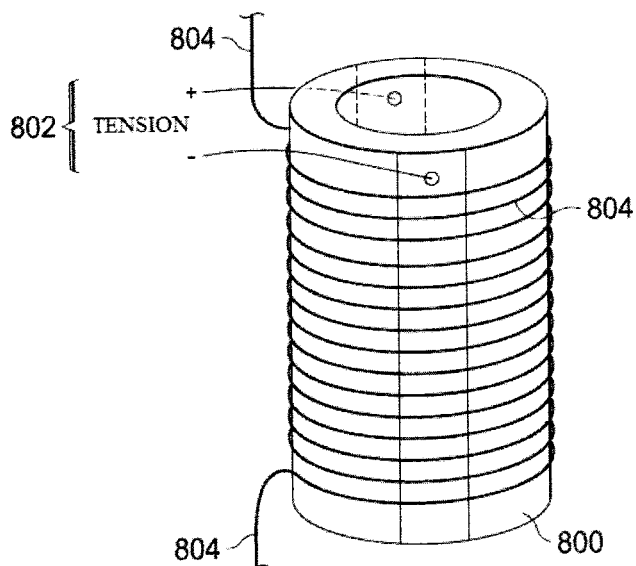


FIG. 8

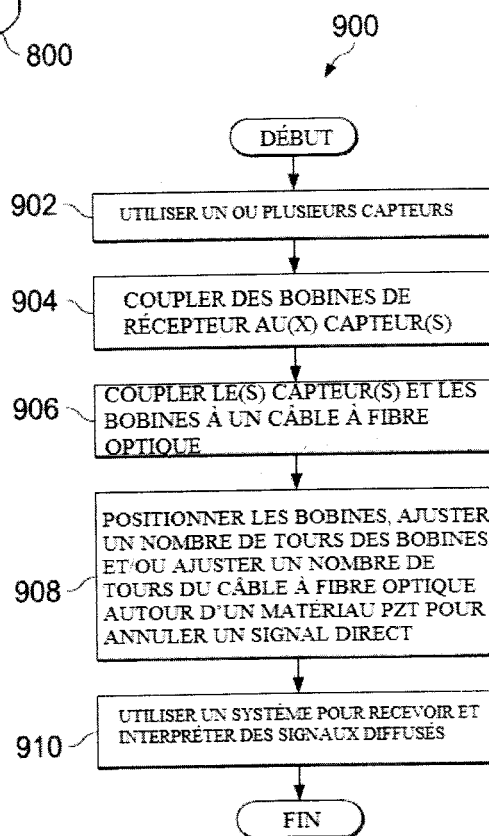


FIG. 9