

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

(11) Nº de publication : 3 038 339  
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)  
(21) Nº d'enregistrement national : 16 55006  
(51) Int Cl<sup>8</sup> : E 21 B 47/14 (2017.01), H 04 B 11/00

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 02.06.16.  
(30) Priorité : 02.07.15 IB WOUS2015039071.

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 06.01.17 Bulletin 17/01.  
(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.

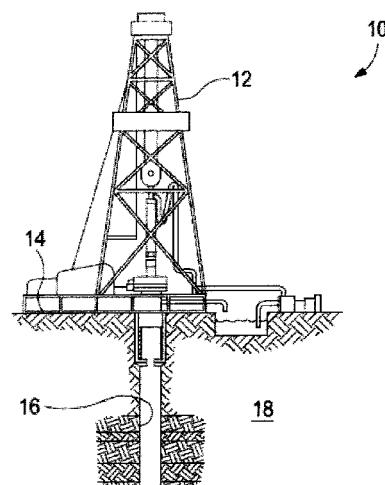
(72) Inventeur(s) : MAIDA JOHN L. et PERKINS DAVID L..

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

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

(54) RÉSEAU DE CAPTEURS RÉPARTI.

(57) La présente invention concerne un système pouvant comprendre un capteur (101; 111) destiné à détecter une caractéristique d'un fluide (112) et à émettre un signal électrique proportionnel à la caractéristique, un générateur de signaux acoustiques (106) destiné à émettre un signal acoustique proportionnel au signal électrique, et un appareil de détection de signal destiné à générer un signal proportionnel au signal acoustique et à transmettre le signal à un emplacement distant.



## RÉSEAU DE CAPTEURS RÉPARTI

### CONTEXTE

**[0001]** Dans l'industrie du pétrole et du gaz, il peut être nécessaire de mesurer les caractéristiques et/ou les compositions de substances situées à des emplacements souterrains distants et de transmettre les résultats à la surface de la terre afin qu'ils soient traités et analysés. Il peut être, par exemple, nécessaire de mesurer des propriétés chimiques et/ou physiques de substances situées dans des formations pétrolifères souterraines et de transmettre les résultats des mesures sur de longues distances jusqu'à la surface de la terre. Les mesures peuvent être effectuées par des dispositifs électriques ; en revanche, on dispose d'une quantité limitée de puissance électrique pour faire fonctionner de tels dispositifs et transmettre les mesures sur de longues distances jusqu'à la surface en utilisant des signaux électriques ayant un rapport signal-bruit (SNR) élevé.

### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

**[0002]** Les figures suivantes sont incluses pour illustrer certains aspects de la présente divulgation et ne doivent pas être considérées comme des modes de réalisation exclusifs. Le thème faisant l'objet de la présente divulgation peut accepter de considérables modifications, altérations, combinaisons, et équivalents, en forme et en fonction, sans s'écarte de la portée de la divulgation.

**[0003]** La FIG. 1A illustre un système de puits donné à titre d'exemple, qui peut incarner ou utiliser de toute autre façon un ou plusieurs principes de la présente divulgation.

**[0004]** La FIG. 1B illustre une vue en coupe agrandie du puits illustré à la FIG. 1A.

**[0005]** La FIG. 2A illustre un capteur donné à titre d'exemple, inclus dans un système de capteurs de la FIG. 1B.

**[0006]** La FIG. 2B illustre une vue latérale en coupe d'un élément de calcul intégré (ICE) donné à titre d'exemple, inclus dans le capteur de la FIG. 2A.

**[0007]** La FIG. 3 illustre un réseau de détection acoustique réparti (DAS) utilisant la fibre optique, donné à titre d'exemple.

**[0008]** La FIG. 4 illustre un autre réseau de détection acoustique réparti (DAS) utilisant la fibre optique, donné à titre d'exemple.

**[0009]** La FIG. 5 illustre un système de traitement donné à titre d'exemple, destiné à configurer et/ou à contrôler le système de capteurs de la

5 FIG. 1A et les réseaux DAS des FIGS. 3 et 4.

### **DESCRIPTION DÉTAILLÉE**

**[0010]** Les modes de réalisation décrits dans le présent document concernent un réseau de capteurs réparti, destiné à mesurer des propriétés 10 physiques et/ou chimiques de substances situées dans des gisements d'hydrocarbure souterrains profonds. Le réseau réparti peut comprendre une variété de capteurs situés au fond du puits pour détecter des propriétés chimiques ou physiques de substances situées dans les gisements 15 d'hydrocarbure. Des modes de réalisation peuvent viser des systèmes et des procédés destinés à convertir les signaux électriques envoyés par les capteurs en signaux acoustiques, à convertir les signaux acoustiques en signaux optiques, et à transmettre ensuite les signaux optiques à la surface au moyen de fibres 20 optiques.

**[0011]** La conversion des signaux électriques en signaux acoustiques 25 peut permettre le déploiement de capteurs sur de longues distances jusqu'au fond du puits, sans avoir besoin de déployer de longs conducteurs électriques jusqu'à la surface ou de déployer des unités de traitement consommant de l'énergie pour convertir et transmettre un signal électrique ayant un SNR élevé à la surface.

25 **[0012]** Dans le présent document, le terme « fluide » fait référence à toute substance capable de s'écouler, y compris des solides particulaires, des liquides, des gaz, des boues liquides, des émulsions, des poudres, des boues, des verres, des combinaisons de ceux-ci et similaires. Dans certains modes de réalisation, le fluide peut être un fluide aqueux, notamment de l'eau et similaire.

30 Dans certains modes de réalisation, le fluide peut être un fluide non aqueux, notamment des composés organiques, plus précisément des hydrocarbures, de l'huile, un composant raffiné d'huile, des produits pétrochimiques et similaires. Dans certains modes de réalisation, le fluide peut être un fluide de traitement ou un fluide de formation comme ceux que l'on trouve dans l'industrie du pétrole et 35 du gaz. Les fluides peuvent comprendre divers mélanges fluides de solides, de

liquides et/ou de gaz. Comme exemples de gaz pouvant être considérés comme des fluides selon les présents modes de réalisation, l'on peut citer, par exemple, l'air, l'azote, le dioxyde de carbone, l'argon, l'hélium, le méthane, l'éthane, le butane, et autres gaz d'hydrocarbure, des combinaisons de ceux-ci et/ou similaires.

**[0013]** Dans le présent document, le terme « caractéristique » ou « caractéristique d'intérêt » fait référence à une propriété chimique, mécanique ou physique du fluide ou d'un échantillon du fluide, également désigné dans le présent document par le terme substance ou échantillon de substance. La

caractéristique du fluide peut comprendre une valeur quantitative ou qualitative d'un ou plusieurs constituants ou composés chimiques présents dans celui-ci ou toute propriété physique associée à celui-ci. De tels constituants et composés chimiques peuvent être désignés dans le présent document par le terme « analytes ». Comme exemples de caractéristiques du fluide pouvant être détectées par les capteurs décrits dans le présent document, l'on peut citer, par exemple, la composition chimique (par ex., l'identité et la concentration de tous les composants ou de composants individuels), l'existence d'une phase (par ex., gaz, huile, eau, etc.), la teneur en impuretés, le pH, l'alcalinité, la viscosité, la densité, la force ionique, les matières dissoutes totales, la teneur en sel (par ex., la salinité), la porosité, l'opacité, la teneur en bactéries, la dureté totale, la transmittance, des combinaisons de ceux-ci, l'état de matière (solide, liquide, gaz, émulsion, mélanges de ceux-ci, etc.), et similaires.

**[0014]** Dans le présent document, le terme « composant », ou des variations de celui-ci, fait référence à au moins une partie d'une substance ou d'un matériau d'intérêt dans le fluide à évaluer en utilisant les capteurs décrits dans le présent document. Dans certains modes de réalisation, le composant est la caractéristique d'intérêt, selon la définition ci-dessus, et peut comprendre toute partie intégrante du fluide s'écoulant dans la trajectoire d'écoulement.

**[0015]** Par exemple, le composant peut comprendre des composés contenant des éléments comme le baryum, le calcium (par ex., le carbonate de calcium), le carbone (par ex., le carbone graphitique résilient), le chlore (par ex., les chlorures), le manganèse, le soufre, le fer, le strontium, le chlore, etc., et toute substance chimique pouvant entraîner une précipitation dans une trajectoire d'écoulement. Le composant peut également faire référence à des paraffines, des cires, des asphaltènes, des argiles (par ex., smectite, illite,

kaolins, etc.), des aromates, des saturés, des mousses, des sels, des particules, des hydrates, du sable ou toute autre particule solide (par ex., solides à faible et forte densité), des combinaisons de ceux-ci et similaires. Dans d'autres modes de réalisation, en termes de quantification de la force ionique, le composant peut comprendre divers ions, tels que, entre autres, Ba<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Fe<sup>+</sup>, Fe<sup>2+</sup> (or total Fe), Mn<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub> 2-, CO<sub>3</sub>2-, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>.

**[0016]** Selon d'autres aspects, le composant peut faire référence à toute substance ou matériau ajouté au fluide comme additif ou pour traiter le fluide ou la trajectoire d'écoulement. Par exemple, le composant peut comprendre, entre autres, des acides, des composés dégageant des acides, des bases, des composés dégageant des bases, des biocides, des tensioactifs, des agents anti-tartre, des agents anti-corrosion, des agents gélifiants, des agents réticulants, des agents anti-boue, des agents moussants, des agents antimousse, des agents émulsifiants et des émulsifiants, des agents anti-émulsion,

10 des agents de contrôle du fer, des agents de soutènement ou autres particules, du gravier, des déflecteurs de particules, des sels, des additifs de contrôle de perte de fluide, des gaz, des catalyseurs, des agents de contrôle d'argile, des stabilisateurs d'argile, des anti-argileux, des agents chélateurs, des agents anti-corrosion, des agents dispersants, des floculants, des fluides de base (par ex., de l'eau, des saumures, des huiles), des éliminateurs (par ex., des éliminateurs de H<sub>2</sub>S, des éliminateurs de CO<sub>2</sub> ou des éliminateurs de O<sub>2</sub>), des lubrifiants, des agents de rupture, des agents de rupture à libération retardée, des réducteurs de frottement, des agents de liaison, des viscosifiants, des diluants, des polymères traités thermiquement, des traitements au goudron, des agents ou 25 des matériaux de pesage (par ex., barytine, etc.), des solubilisants, des agents de contrôle de rhéologie, des modificateurs de viscosité, des agents de contrôle du pH (par ex., tampons), des inhibiteurs d'hydrate, des modificateurs de perméabilité relative, des agents de déviation, des agents de consolidation, des matériaux fibreux, des bactéricides, des traceurs, des sondes, des nanoparticules, et similaires. Des combinaisons de ces substances peuvent 30 également être désignées par le terme « substance ».

**[0017]** Utilisé dans le présent document, le terme « trajectoire d'écoulement » fait référence à une trajectoire par laquelle un fluide peut être transporté entre deux points. Comme trajectoires d'écoulement données à titre 35 d'exemple, l'on peut citer, entre autres, une conduite d'écoulement, un pipeline,

un tuyau flexible, une installation de traitement, une cuve de stockage, une citerne, un wagon-citerne, un vaisseau ou un navire de transport, une trémie, un jet, un égout, un gisement souterrain, etc., des combinaisons de ceux-ci ou similaires.

5 [0018] La FIG. 1A illustre un système de puits 10 donné à titre d'exemple, qui peut incarner ou utiliser de toute autre façon un ou plusieurs principes de la présente divulgation, selon un ou plusieurs modes de réalisation. Comme illustré, le système de puits 10 peut comprendre une installation d'entretien 12 positionnée à la surface de la terre 14 et s'étendant au-dessus et  
10 autour d'un puits 16 qui pénètre un ou plusieurs gisements souterrains 18. L'installation d'entretien 12 peut être une installation de forage, une installation de compléti0n, une installation de réparation ou similaire. Dans certains modes de réalisation, l'installation d'entretien 12 peut être omise et remplacée par une compléti0n ou une installation de tête de puits de surface standard. De plus, si le  
15 système de puits 10 est décrit comme une installation sur terre, on appréciera que les principes de la présente divulgation puissent être également appliqués à toute application maritime ou sous-marine, l'installation d'entretien 12 pouvant être une plate-forme flottante ou une installation de tête de puits souterraine, ce qui est déjà connu de la technique.

20 [0019] Le puits 16 peut être foré dans le gisement souterrain 18 en utilisant toute technique de forage adéquate et peut s'étendre dans une direction pratiquement verticale en s'éloignant de la surface de la terre 14. Bien que cela ne figure pas sur les illustrations, à un certain point, le puits 16 peut s'écarte de la verticale par rapport à la surface de la terre 14 et passer d'une direction  
25 pratiquement verticale à une direction pratiquement horizontale.

[0020] La FIG. 1B illustre une vue en coupe agrandie du puits 16 dans le gisement 18. Comme illustré, le puits 16 peut être au moins en partie garni d'un tubage 20, qui peut comprendre une chaîne d'éléments tubulaires métalliques reliés de bout en bout et fixés dans le puits 16 pour fournir un  
30 garnissage protecteur au puits. Le tubage 20 peut également être remplacé par un revêtement ou une autre tubulure métallique ou non métallique. Ainsi, la portée de cette divulgation ne se limite pas à l'utilisation d'un type particulier de tubage. Un anneau 22 est formé entre le tubage 20 et le puits 16, et le tubage 20 peut être fixé à l'intérieur du puits 16 en utilisant du ciment 24  
35 positionné dans l'anneau 22, ce qui scelle l'anneau 22.

**[0021]** Comme illustré, un système de capteurs 100 peut être positionné dans l'anneau 22, par exemple, pendant la construction du puits 16. Comme illustré, le système de capteurs 100 peut comprendre une pluralité de capteurs 101 couplés en communication avec une ligne de commande 28 qui peut alimenter les capteurs 101 en énergie à partir d'une source située sur la surface 14 ou un emplacement au fond du puits. La ligne de commande 28 et le système de capteurs 100 peuvent être fixés dans l'anneau 22 avec le ciment 24. Les capteurs 101 peuvent être déployés en fonction de la profondeur pendant le déploiement du tubage 20.

10 **[0022]** La ligne de commande 28 peut également faciliter la communication avec des emplacements distants, comme la surface 14 (FIG. 1A). Par conséquent, la ligne de commande 28 peut être ou comprendre un ou plusieurs moyens de transmission tels que, en autres, des fibres optiques, des fils électriques, ou similaires, par lesquels la sortie des capteurs 101 peut être 15 transmise à la surface 14 pour traitement et/ou des signaux de commande envoyés depuis la surface 14 peuvent être transmis au système de capteurs 100 pour contrôler le fonctionnement de ceux-ci.

20 **[0023]** Les capteurs 101 du système de capteurs 100 peuvent comprendre une variété de capteurs capables de détecter des propriétés chimiques ou physiques associées aux gisements souterrains 18. Dans un mode de réalisation, par exemple, un ou plusieurs des capteurs 101 peuvent comprendre des capteurs chimiques qui utilisent le rayonnement électromagnétique (communément appelés « dispositifs optico-analytiques »), des capteurs chimiques quasi-distribués, des capteurs electrochimiques (par ex., 25 des capteurs de pH), ou similaires. Dans d'autres modes de réalisation, ou en plus de ceux-ci, un ou plusieurs des capteurs 101 peuvent comprendre des capteurs optiques, des capteurs de propriété physique, des capteurs de densité, des capteurs de viscosité, des capteurs de température, des capteurs de pression (par ex., des capteurs basés sur un microphone) et des capteurs 30 électriques, par exemple, un convertisseur opto-électronique thermopile. Les capteurs 101 peuvent être configurés pour détecter non seulement la composition et les concentrations d'un fluide ou d'un composant de celui-ci, mais ils peuvent être également configurés pour déterminer des propriétés physiques et d'autres caractéristiques du fluide et/ou des composants présents dans le 35 fluide.

**[0024]** Dans au moins un mode de réalisation, un ou plusieurs des capteurs 101 peuvent comprendre un dispositif de calcul optique. Utilisé dans le présent document, le terme « dispositif de calcul optique » fait référence à un dispositif optique qui est configuré pour recevoir une entrée d'un rayonnement électromagnétique provenant d'un fluide, ou d'une substance à l'intérieur du fluide, et produire une sortie de rayonnement électromagnétique depuis un élément de traitement disposé dans le dispositif de calcul optique. L'élément de traitement peut être, par exemple, un élément de calcul intégré (ICE) utilisé dans le dispositif de calcul optique. Comme cela sera décrit de façon plus détaillée ci-après, le rayonnement électromagnétique qui entre en interaction optique avec l'élément de traitement est modifié de façon à être lisible par un détecteur, de telle sorte qu'une sortie du détecteur peut être corrélée à au moins une substance mesurée ou surveillée dans le fluide. La sortie du rayonnement électromagnétique provenant de l'élément de traitement peut être un rayonnement électromagnétique réfléchi, un rayonnement électromagnétique transmis et/ou un rayonnement électromagnétique dispersé. Les paramètres structurels du dispositif de calcul optique, ainsi que d'autres considérations connues des spécialistes, peuvent déterminer si le rayonnement électromagnétique réfléchi, transmis ou dispersé est finalement analysé par le détecteur. De plus, l'émission et/ou la diffusion de la substance, par exemple par fluorescence, luminescence, diffusion Raman et/ou diffusion Raleigh, peut être également surveillée par les dispositifs de calcul optique. Les dispositifs de calcul optique ne sont, en revanche, qu'un exemple de capteur 101 qui peut être inclus dans le système de capteurs 100, qui peut comprendre (comme alternative ou en plus de celui-ci) tout type de capteurs électriques, chimiques et/ou mécaniques, sans s'éloigner de la portée de la présente divulgation.

**[0025]** La FIG. 2A illustre un capteur 111 donné à titre d'exemple, qui peut être inclus dans le système de capteurs 100 de la FIG. 1B, selon un ou plusieurs modes de réalisation. Le capteur 111 peut être identique ou similaire à l'un quelconque des capteurs 101 décrits à la FIG. 1B. Comme illustré, le capteur 111 peut comprendre un capteur optique 102, un convertisseur tension-fréquence 104 et un générateur de signaux acoustiques 106. Le capteur optique 102 peut être configuré spécifiquement pour détecter et/ou mesurer un composant particulier ou une caractéristique d'intérêt d'un fluide présent dans

l'anneau 22 ou toute conduite d'écoulement ou tout pipeline s'étendant vers/depuis le puits 16.

**[0026]** Dans certains modes de réalisation, le capteur optique 102 peut comprendre une source de rayonnement électromagnétique 108 configurée pour émettre ou générer de toute autre façon un rayonnement électromagnétique 110. Le rayonnement électromagnétique 110 peut désigner des ondes radio, un rayonnement micro-ondes, un rayonnement infrarouge et proche infrarouge, de la lumière visible, de la lumière ultraviolette, des rayons X et des rayons gamma. La source de rayonnement électromagnétique 108 peut être tout dispositif capable d'émettre ou de générer des rayonnements électromagnétiques. Par exemple, la source de rayonnement électromagnétique 108 peut être une ampoule électrique, une diode électroluminescente (LED), un laser, un corps noir, un cristal photonique, une source de rayons X, des combinaisons de ceux-ci ou similaires. Dans certains modes de réalisation, une lentille (non illustrée) peut être configurée pour collecter ou recevoir de toute autre façon le rayonnement électromagnétique 110 et diriger un faisceau de rayonnement électromagnétique 110 vers le fluide 112.

**[0027]** Le rayonnement électromagnétique 110 affecte et entre en interaction optique avec un fluide, généralement désigné par le numéro 112, et tout composant présent dans le fluide 112. Dans le présent document, le terme « interaction optique » ou des variations de celui-ci, peut faire référence à la réflexion, la transmission, la diffusion, la diffraction ou l'absorption du rayonnement électromagnétique. De ce fait, un rayonnement en interaction optique 114 est généré par le fluide 112. Le rayonnement en interaction optique 114 peut être dirigé ou reçu de toute autre façon par un ICE 118 disposé dans le capteur optique 102. Lorsqu'il fonctionne, l'ICE 118 peut être configuré pour recevoir le rayonnement en interaction optique 114 et produire un rayonnement électromagnétique modifié 120 correspondant à une caractéristique particulière du fluide 112. En particulier, le rayonnement électromagnétique modifié 120 est un rayonnement électromagnétique qui est entré en interaction optique avec l'ICE 118, qui est programmé pour avoir un profil optique imitant un vecteur de régression correspondant à la caractéristique du fluide 112.

**[0028]** En faisant brièvement référence à la FIG. 2B, une vue latérale en coupe de l'ICE 118 pouvant être utilisé dans le capteur optique 102 de la FIG. 2A est illustrée. Comme illustré, l'ICE 118 peut comprendre une pluralité de

couches en alternance 202 et 204, comme du silicium (Si) et du quartz ( $\text{SiO}_2$ ), respectivement. En général, ces couches 202, 204 sont constituées de matériaux dont l'indice de réfraction est respectivement élevé et faible. Parmi les autres exemples, on peut citer le niobia et le niobium, le germanium et le germanium, le 5  $\text{MgF}_2$ , le  $\text{SiO}_x$ , ainsi que d'autres matériaux connus des spécialistes ayant un indice élevé et faible. Un substrat optique 206 sert de support aux couches 202, 204, selon certains modes de réalisation. Dans certains modes de réalisation, le substrat optique 206 est un verre optique BK-7. Dans d'autres modes de réalisation, le substrat optique 206 peut être un autre type de substrat optique, 10 comme le quartz, le saphir, le silicium, le germanium, le sélénium de zinc, le sulfure de zinc, ou divers plastiques comme le polycarbonate, le polyméthacrylate (PMMA), le chlorure de polyvinyle (PVC), le diamant, la céramique, des combinaisons de ceux-ci et similaires.

**[0029]** À l'extrémité opposée (par ex., le substrat optique opposé 206 15 de la FIG. 2A), l'ICE 118 peut comprendre une couche 208 qui est généralement exposée à l'environnement du dispositif ou de l'installation. Le nombre de couches 202, 204 et l'épaisseur de chaque couche 202, 204 sont déterminés par les attributs spectraux obtenus par une analyse spectroscopique d'une caractéristique d'intérêt en utilisant un instrument spectroscopique 20 conventionnel. Le spectre d'intérêt d'une caractéristique d'intérêt donnée comprend généralement un nombre quelconque de longueurs d'ondes différentes. L'ICE 118 de la FIG. 2A, donné à titre d'exemple, ne représente pas une caractéristique d'intérêt particulière, mais est fourni à des fins d'illustration uniquement. Par conséquent, le nombre de couches 202, 204 et leurs épaisseurs 25 relatives, comme illustré à la FIG. 2A, ne donnent lieu à aucune corrélation avec une caractéristique d'intérêt particulière. Les couches 202, 204 et leurs épaisseurs relatives ne sont pas forcément dessinées à l'échelle, et ne doivent donc pas être considérées comme limitant la présente divulgation. En outre, les spécialistes reconnaîtront facilement que les matériaux constituant chaque 30 couche 202, 204 (par ex., Si et  $\text{SiO}_2$ ) peuvent varier, selon l'application, le coût des matériaux et/ou l'applicabilité des matériaux à la substance surveillée.

**[0030]** Dans certains modes de réalisation, le matériau de chaque couche 202, 204 peut être dopé ou deux matériaux ou plus peuvent être combinés de façon à obtenir la caractéristique optique souhaitée. En plus de 35 solides, l'ICE 118 peut également contenir des liquides et/ou des gaz,

éventuellement en combinaison avec des solides, afin d'obtenir une caractéristique optique souhaitée. Dans le cas des gaz et des liquides, l'ICE 118 peut contenir une cuve correspondante (non illustrée), qui contient les gaz ou les liquides. Des variations de l'ICE 118 données à titre d'exemple, peuvent 5 également comprendre des éléments optiques holographiques, des grilles, des piézoélectriques, un conduit de lumière, un conduit de lumière numérique (DLP), des atténuateurs optiques variables et/ou des éléments acoustico-optiques, par exemple, qui peuvent créer les propriétés de transmission, de réflexion et/ou d'absorption d'intérêt.

10 **[0031]** Les couches 202, 204 présentent différents indices de réfraction. En choisissant correctement les matériaux des couches 202, 204, leurs épaisseurs relatives et l'espacement, l'ICE 118 peut être configuré pour transmettre/réfléchir/réfracter de façon sélective des fractions prédéterminées 15 du rayonnement électromagnétique à différentes longueurs d'ondes. Chaque longueur d'ondes est associée à un facteur de pondération ou à un coefficient de charge prédéterminé. L'épaisseur et l'espacement des couches 202, 204 peuvent 20 être déterminés en utilisant une variété de procédés d'approximation à partir du spectrographe de la caractéristique d'intérêt. Ces procédés peuvent comprendre la transformée de Fourier inverse (IFT) du spectre de transmission optique et la structuration de l'ICE 118 comme représentation physique de l'IFT. Les approximations convertissent l'IFT en une structure basée sur des matériaux connus ayant des indices de réfraction constants.

25 **[0032]** Les pondérations appliquées par les couches 202, 204 de l'ICE 118 à chaque longueur d'ondes sont réglées en fonction des pondérations de régression décrites au regard d'une équation, de données ou d'une signature spectrale connus. Brièvement, l'ICE 118 peut être configuré, conjointement au transducteur ou au détecteur optique 122 décrit de façon plus détaillée ci-après, pour effectuer le produit scalaire du faisceau lumineux d'entrée dans l'ICE 118 et 30 un vecteur de régression chargé souhaité représenté par chaque couche 202, 204 pour chaque longueur d'ondes. De ce fait, l'intensité lumineuse de sortie de l'ICE 118, mesurée par le détecteur 122, est associée à la caractéristique d'intérêt.

35 **[0033]** En faisant de nouveau référence à la FIG. 2A, le rayonnement électromagnétique modifié 120 généré par l'ICE 118 peut être ensuite transmis à un détecteur 122. Le détecteur 122 peut être tout dispositif capable de détecter

un rayonnement électromagnétique et peut être généralement qualifié de transducteur optique. Dans certains modes de réalisation, le détecteur 122 peut être, entre autres, un détecteur thermique comme une thermopile ou un détecteur photoacoustique, un détecteur à semiconducteur, un détecteur 5 piézoélectrique, un détecteur CCD (dispositif à coupleur de charge), un détecteur vidéo ou à barrettes, un détecteur fractionné, un détecteur de photons (comme un tube photomultiplicateur), des photodiodes, des combinaisons de ceux-ci ou similaires, ou d'autres détecteurs connus par l'homme du métier.

**[0034]** Dans certains modes de réalisation, le détecteur 122 peut être 10 configuré pour produire un signal de sortie 124 en temps réel ou presque en temps réel sous la forme d'une tension (ou d'un courant) qui correspond à la caractéristique d'intérêt particulière du fluide 112. Dans au moins un mode de réalisation, le signal de sortie 124 produit par le détecteur 122 peut être directement proportionnel à la caractéristique du fluide 112, comme la 15 concentration d'un analyte particulier d'intérêt présent dans celui-ci. Dans d'autres modes de réalisation, la relation peut être une fonction polynomiale, une fonction exponentielle et/ou une fonction logarithmique.

**[0035]** Dans certains modes de réalisation, le capteur optique 102 peut comprendre un second détecteur 126, qui peut être similaire au premier 20 détecteur 122 en ce qu'il peut être tout dispositif capable de détecter un rayonnement électromagnétique. Le second détecteur 126 peut être agencé pour détecter la lumière réfléchie en interaction optique 115. Dans d'autres modes de réalisation, le second détecteur 126 peut être agencé pour détecter le rayonnement électromagnétique 114 renvoyé par le fluide 112 ou le 25 rayonnement électromagnétique dirigé vers le fluide 112 ou avant ce dernier. Sans limitation, le second détecteur 126 peut être utilisé pour détecter des déviations du rayonnement provenant de la source de rayonnement électromagnétique 108. Par exemple, les déviations du rayonnement peuvent comprendre, entre autres, des fluctuations d'intensité dans le rayonnement 30 électromagnétique, des fluctuations interférentes (par ex., poussière ou autre interférents passant devant la source de rayonnement électromagnétique), des revêtements sur des fenêtres incluses dans le capteur optique 102, des combinaisons de ceux-ci ou similaires. Comme illustré, le second détecteur 126 peut être configuré pour recevoir une partie du rayonnement en interaction 35 optique 114 par l'intermédiaire d'un séparateur de faisceau 130 afin de détecter

les déviations du rayonnement. Pour compenser ces types d'effets indésirables, le second détecteur 126 peut être configuré pour générer un signal de compensation 128 généralement indicatif des déviations du rayonnement de la source de rayonnement électromagnétique 108. Le signal de compensation 128 5 peut être transmis ou reçu de toute autre façon par un processeur de signaux 132 configuré pour fournir un signal de sortie 134. Dans un mode de réalisation (non illustré), le signal de sortie 134 peut être envoyé au détecteur 122 afin de normaliser le signal de sortie 124 compte tenu de toute déviation du rayonnement détecté par le second détecteur 126.

10 **[0036]** Comme indiqué ci-dessus, le capteur 111 est simplement un exemple d'une variété de capteurs qui peuvent être utilisés dans le système de capteurs 100. De ce fait, le capteur optique 102 peut être remplacé par tout autre capteur mentionné dans le présent document et, ainsi, le signal de sortie 124 peut provenir de l'un quelconque de ces capteurs.

15 **[0037]** Le signal de sortie 124 peut être un signal électrique, par exemple un signal de tension, et peut être envoyé à un convertisseur tension-fréquence (ou à un générateur de fréquences) 104, qui, par exemple, peut être ou peut comprendre un oscillateur contrôlé en tension (VCO) ou une boucle à phase asservie (PLL). Dans un mode de réalisation, le signal de sortie 124 peut 20 être un signal de courant, qui peut être converti en signal de tension avant de parvenir au convertisseur tension-fréquence 104. Comme indiqué ci-dessus, le signal de sortie 124 peut être proportionnel à la caractéristique d'intérêt du fluide 112. Comme le signal de sortie 124 peut déterminer ou contrôler une fréquence (également désignée par le terme fréquence d'oscillation) d'un signal 25 au niveau d'une sortie 136 du convertisseur tension-fréquence 104, la fréquence du signal au niveau de la sortie 136 peut être proportionnelle à la caractéristique d'intérêt du fluide 112. Par conséquent, toute variation dans la caractéristique d'intérêt (par ex., la concentration d'un analyte particulier) du fluide 112 peut faire varier proportionnellement la fréquence du signal au niveau de la 30 sortie 136. Ou bien, la fréquence du signal au niveau de la sortie 136 peut être réglée sur une fréquence de base prédéterminée, et une amplitude du signal peut varier proportionnellement sur la base de la variation de la caractéristique d'intérêt dans le fluide 112.

35 **[0038]** La sortie 136 du convertisseur tension-fréquence 104 peut être transmise au générateur de signaux acoustiques (par ex., un transducteur

acoustique) 106, qui, par exemple, peut être ou peut comprendre un dispositif piézoélectrique 107. Ou bien, le générateur de signaux acoustiques 106 peut comprendre un dispositif de magnétostriction, un dispositif d'électrostriction ou un dispositif électro-optique. Un signal acoustique (ou une onde) généré par le 5 générateur de signaux acoustiques 106 au niveau de la sortie 138 de celui-ci peut être proportionnel à la fréquence du signal au niveau de la sortie 136 du convertisseur tension-fréquence 104. Dans un mode de réalisation, une 10 fréquence du signal acoustique peut varier proportionnellement en fonction des variations de la fréquence du signal au niveau de la sortie 136. Ou bien, la 15 fréquence du signal acoustique peut être réglée sur une fréquence de base souhaitée et l'amplitude du signal acoustique peut être adaptée (ou modulée) en fonction des variations dans la fréquence du signal au niveau de la sortie 136.

**[0039]** Dans un mode de réalisation, le transducteur acoustique 106 peut comprendre deux (ou plus) dispositifs piézoélectriques, dont l'un (appelé 15 dispositif piézoélectrique primaire, par exemple, le dispositif piézoélectrique 107) peut être utilisé pour générer le signal acoustique, et l'autre (appelé dispositif piézoélectrique secondaire, non illustré) peut générer un signal de référence qui peut être utilisé pour annuler les bruits de fond. Dans le présent document, le 20 second dispositif piézoélectrique n'est pas prévu sur la sortie 136 du convertisseur tension-fréquence 104. Un système de détection (non illustré) situé à la surface 14 (ou à tout autre emplacement) mesure les vibrations de fond et les bruits acoustiques en comparant les signaux de sortie des deux dispositifs piézoélectriques colocalisés, le signal acoustique au niveau de la 25 sortie 138 du dispositif piézoélectrique primaire 107 et le signal de référence généré par le second dispositif piézoélectrique. La différence entre les signaux de sortie constituera ensuite le signal d'intérêt qui est imprimé sur le dispositif piézoélectrique primaire 107, en supposant que les vibrations de fond sont très 30 faibles. Dans un autre mode de réalisation, le dispositif piézoélectrique secondaire peut être absent, et le dispositif piézoélectrique primaire 107 peut être commuté entre la réception de la sortie 136 du convertisseur tension-fréquence 104 et le signal de référence. Le signal de référence et le signal au niveau de la sortie 138 peuvent ensuite être découplés par le système de détection situé à la surface 14 (ou à tout autre emplacement).

**[0040]** Le signal acoustique généré par le générateur de signaux 35 acoustiques 106 au niveau de la sortie 138 peut être transmis à la ligne de

commande 28 et détecté de toute autre façon par la ligne de commande 28. Par exemple, le signal acoustique peut être transmis à (par ex., affecter) une ou plusieurs fibres optiques incluses dans la ligne de commande 28. Dans un mode de réalisation, la ou les fibres optiques peuvent être directement couplées (par ex., enroulées autour) au dispositif piézoélectrique 107 du générateur de signaux acoustiques 106 pour maximiser l'efficacité de transmission du signal acoustique par le générateur de signaux acoustiques 106 à la ligne de commande 28.

**[0041]** Dans une opération basée sur des techniques interférométriques de modulation de phase, une lumière cohérente, par ex., une impulsion laser, peut être transmise au fond du puits par la fibre optique depuis une unité d'interrogation (non illustrée) située à la surface 14. Des défauts dans la fibre optique rétrodiffusent l'impulsion (diffusion Rayleigh) lorsqu'elle se propage le long de la fibre optique et les photons rétrodiffusés sont reçus dans un photodétecteur situé à la surface 14 (FIG. 1A). Le signal acoustique émis par le transducteur acoustique 106 peut provoquer des changements localisés dans la fibre optique et ces changements peuvent affecter la rétrodiffusion de l'impulsion. Comme la vitesse de la lumière est constante, en fonction du délai entre le moment où l'impulsion est transmise au fond du puits et le moment où l'impulsion rétrodiffusée est reçue, la distance jusqu'au capteur 111 peut être déterminée. Cette distance peut ensuite indiquer l'emplacement du composant présent dans le fluide 112 ou la caractéristique du fluide 112 à cet emplacement.

**[0042]** Dans un autre mode de réalisation, la sortie 136 du convertisseur tension-fréquence 104 peut être dotée d'un modulateur électro-optique (non expressément illustré). En général, les modulateurs électro-optiques comprennent des plaques conductrices en travers d'un axe de cristal préféré et peuvent être préparées en utilisant des techniques de diffusion de titane ou d'échange de protons qui créent des changements de l'indice optique le long de trajectoires définies dans un matériau de cristal, hôte du modulateur électro-optique. Le matériau de cristal peut généralement comprendre du niobate de lithium et/ou du KDP (dihydrogénophosphate de potassium). La fréquence variable du signal au niveau de la sortie 136 modifie l'indice de réfraction du cristal du modulateur électro-optique. En effet, la phase ou l'amplitude d'un faisceau de lumière cohérente transmise au fond du puits est modifiée par le cristal du modulateur électro-optique. Le signal optique modulé

est détecté à la surface 14 (ou à tout autre emplacement) par une fibre optique simple ou en boucle, incluse dans la ligne de commande 28. Le modulateur électro-optique peut être couplé à la fibre optique en utilisant des techniques connues de terminaison de câble optique, comme les nattes et les kits de

5 sortance ou les kits d'enfoncement.

[0043] La FIG. 3 illustre un réseau de capteurs réparti (DAS) donné à titre d'exemple, utilisant la fibre optique 300, selon un ou plusieurs modes de réalisation. Le réseau DAS 300 peut comprendre une ou plusieurs fibres optiques monomode 302 (une illustrée) positionnées dans l'anneau 22 adjacent au 10 gisement 18. Comme dans le mode de réalisation de la FIG. 2A, le système de capteurs 100, comprenant la pluralité de capteurs 101 espacés axialement, peut être également positionné dans l'anneau 22 à une distance prédéterminée de la fibre optique 302. La ligne de commande 28 peut fournir de l'énergie électrique au système de capteurs 100. En revanche, dans ce cas, la ligne de 15 commande 28 peut ne pas comprendre de câbles ou de lignes à fibre optique. La fibre optique 302 peut être positionnée (ou imbriquée) dans le puits 16 pendant la construction de celui-ci et peut être soutenue par le ciment 24 utilisé pour remplir l'anneau 22. Bien que la FIG. 3 illustre la fibre optique 302 diamétralement opposée au système de capteurs 100, il ne s'agit que d'une 20 simplification de l'illustration et la fibre optique 302 peut être positionnée à l'emplacement souhaité dans l'anneau 22.

[0044] Une pluralité de réseaux de Bragg sur fibre (FBG) 304, chacun correspondant à un capteur 101 adjacent dans la direction circonférentielle, peut être couplée à la fibre optique 302. Les signaux acoustiques (ou les ondes) 25 produits par les capteurs 101 peuvent traverser l'anneau 22 et affecter le FBG 304 correspondant, ce qui entraîne une contrainte dans le FBG 304 correspondant, qui peut être détectée à la surface 14 (FIG. 1A) en utilisant une variété de techniques interférométriques de modulation de phase. L'impulsion rétrodiffusée par les FBG 304 peut avoir une amplitude plus élevée que celle de 30 l'impulsion rétrodiffusée par la fibre optique sans FBG. Ainsi, des sections de la fibre optique 302 qui contiennent les FBG 304 peuvent produire des signaux d'une amplitude supérieure, ce qui améliore la résolution spatiale. Les signaux rétrodiffusés peuvent être détectés sur des distances relativement grandes et dans des environnements relativement difficiles (par ex., des environnements 35 bruyants), sans nécessiter d'électricité au fond du puits.

**[0045]** En utilisant le réseau DAS imbriqué 300, les signaux acoustiques générés par les systèmes de capteurs 100 peuvent être convertis d'un domaine électrique en un domaine optique et transmis à la surface 14 (FIG. 1A). On appréciera que la conversion des signaux acoustiques au domaine optique dans 5 le réseau DAS 300 puisse être effectuée sans couplage direct de la fibre optique 302 au système de capteurs 100. Le réseau DAS imbriqué 300 peut présenter un autre avantage, à savoir la capacité à trianguler l'emplacement des capteurs 101 en fonction de la profondeur.

**[0046]** Dans un mode de réalisation, chaque capteur 101 ne peut 10 émettre un signal acoustique (ou une onde) correspondant(e) que lorsque la caractéristique d'intérêt de la substance ou du matériau d'intérêt dans le fluide 112 (FIG. 2A) atteint ou dépasse un niveau prédéterminé. Par exemple, le capteur optique 102 de la FIG. 2A peut être configuré pour surveiller ou mesurer 15 (de façon continue ou intermittente) la concentration d'un analyte d'intérêt donné, présent dans le fluide 112 et fournir une tension proportionnelle à la concentration. Le signal acoustique correspondant à la tension, en revanche, ne peut être émis que si la tension atteint ou dépasse une tension de seuil prédéterminée pouvant correspondre à une concentration souhaitée d'un analyte 20 d'intérêt donné. De cette façon, tant que la tension de seuil prédéterminée n'est pas atteinte ou dépassée, le signal acoustique peut être désactivé et ne peut être réactivé que si la tension de seuil prédéterminée a été atteinte ou dépassée.

**[0047]** Dans un autre mode de réalisation comprenant plusieurs capteurs 101, chaque capteur 101 peut émettre un signal acoustique ayant une fréquence de base différente des fréquences de base des signaux acoustiques 25 émis par d'autres capteurs 101. Chaque capteur 101 peut être configuré pour décaler (augmenter ou diminuer) sa fréquence de base respective proportionnellement à la propriété (par ex., une concentration d'un analyte donné) mesurée par le capteur respectif 101. Par exemple, une sortie d'un premier capteur 101 peut avoir une fréquence de base de 1 kHz, une sortie d'un 30 deuxième capteur 101 peut avoir une fréquence de base de 2 kHz, etc. Le premier capteur 101 peut être configuré pour augmenter sa fréquence de base de 250 Hz ou la diminuer de 250 Hz proportionnellement à la propriété mesurée. De même, le deuxième capteur 101 peut être configuré pour augmenter sa fréquence de base de 250 Hz ou la diminuer de 250 Hz 35 proportionnellement à la propriété mesurée, etc.

**[0048]** Dans ces modes de réalisation, la sortie de chaque capteur 101 peut subir un multiplexage optique (par ex., interféromètres de Sagnac ou combinaisons hybrides d'interféromètres à fibre optique distribués de Sagnac, de Michelson, de Mach-Zehnder, de Fabry-Perot) et être transmise à la surface 14 (FIG. 1A) où chaque fréquence de base et chaque changement de celle-ci peut être démodulée et surveillée. La fréquence de base de chaque système de capteurs 100 peut être une valeur prédéterminée (par ex., une valeur prédefinie par l'opérateur du système de puits) qui peut être configurée pendant ou après l'installation du réseau DAS 300. En outre, il peut être possible de modifier la fréquence de base pendant le fonctionnement, selon les besoins.

**[0049]** L'emplacement de chaque capteur 101 peut être obtenu en fonction du délai entre le temps nécessaire à la transmission d'une impulsion lumineuse au fond du puits par la fibre optique 302 et le temps nécessaire à l'impulsion rétrodiffusée correspondante pour atteindre la surface 14 (FIG. 1A). Le réseau DAS 300 peut fournir une résolution spatiale de 1 mètre ou moins pour une distance totale d'environ 10 km. Ou bien, pour la localisation spatiale de capteurs 101 particuliers, des bandes ou des canaux de fréquence de sous-porteuse peuvent être attribués pour transmettre les informations sur le capteur local. Par exemple, chaque capteur 101 (ou le système de capteurs 100) peut être associé à une bande ou à un canal de fréquence ayant une largeur de bande de 1 kHz. Plusieurs canaux de capteur à multiplexer sur la même fibre optique.

**[0050]** Dans un mode de réalisation, le réseau DAS 300 peut être positionné dans le boîtier 20 et non dans l'anneau 22. Selon un autre mode de réalisation, le réseau DAS 300 comprenant la fibre optique 302 peut être directement couplé à chaque capteur 101, par exemple, en enroulant la fibre optique 302 autour de chaque capteur 101. Le couplage direct du réseau DAS 300 peut réduire le nombre de réseaux dans le puits 16 et simplifier l'installation du ou des réseaux dans le puits 16.

**[0051]** Dans un mode de réalisation illustré à la FIG. 4, le réseau DAS 300 peut être abaissé dans le boîtier 20 (ou dans une tubulure de production disposée dans le boîtier 20) en utilisant des outils ou des systèmes déployés par un moyen de transport, comme un câble lisse ou un câble 402. Dans un autre mode de réalisation, le réseau DAS 300 peut être remplacé par un système acoustique n'utilisant pas de fibre optique, comprenant un ou plusieurs capteurs acoustiques 404 n'utilisant pas de fibre optique (par ex., des

hydrophones) et peut être introduit dans le boîtier 20 (FIG. 1A) en utilisant un câble lisse ou un câble 402.

**[0052]** Dans les deux configurations, le DAS 300 et le système acoustique n'utilisant pas de fibre optique peuvent être introduits dans le boîtier 20 et des mesures peuvent être effectuées en fonction des besoins. Ainsi, il n'est pas forcément nécessaire d'avoir un réseau DAS 300 installé de façon permanente dans le puits 16. On appréciera que ces configurations permettent également de mesurer les signaux acoustiques sans contact direct avec le système de capteurs 100. L'utilisation du système acoustique n'utilisant pas de fibre optique (par ex., des hydrophones 404) peut également permettre de mesurer les signaux acoustiques générés par les capteurs 101 dans les cas où un capteur acoustique utilisé conjointement au système acoustique n'utilisant pas de fibre optique présenterait un dysfonctionnement ou serait absent.

**[0053]** La FIG. 5 illustre un système de traitement 500 destiné à configurer et/ou à contrôler le système de capteurs 100 et le réseau DAS 300 pour effectuer les diverses tâches décrites dans le présent document. Le système de traitement 500 peut être situé à distance (par ex., à la surface 14).

**[0054]** Le système 500 peut comprendre un processeur 510, une mémoire 520, un dispositif de stockage 530 et un dispositif d'entrée/sortie 540. Chacun des composants 510, 520, 530 et 540 peut être interconnecté, par exemple, en utilisant un système de bus 550. Le processeur 510 peut traiter des instructions à exécuter dans le système 500. Dans certains modes de réalisation, le processeur 510 est un processeur monotâche, un processeur multitâche ou tout autre type de processeur. Le processeur 510 peut être capable de traiter des instructions stockées dans la mémoire 520 ou sur le dispositif de stockage 530. La mémoire 520 et le dispositif de stockage 530 peuvent stocker des informations dans le système informatique 500.

**[0055]** Le dispositif d'entrée/sortie 540 peut fournir des opérations d'entrée/sortie au système 500. Dans certains modes de réalisation, le dispositif d'entrée/sortie 540 peut comprendre un ou plusieurs dispositifs d'interface réseau, par ex., une carte Ethernet, un dispositif de communication en série, par ex., un port RS-232 ; et/ou un dispositif d'interface sans fil, par ex., une carte 802.11, un modem 3G sans fil ou un modem 4G sans fil. Dans certains modes de réalisation, le dispositif d'entrée/sortie peut comprendre des dispositifs pilotes configurés pour recevoir des données d'entrée et envoyer des données de

sortie à d'autres dispositifs d'entrée/sortie, par ex., un clavier, une imprimante et des dispositifs d'affichage 560. Dans certains modes de réalisation, des dispositifs informatiques mobiles, des dispositifs de communication mobiles et d'autres dispositifs peuvent être utilisés.

5       **[0056]** Dans au moins certains modes de réalisation, les procédés et systèmes décrits concernant le balayage et l'analyse de matériau peuvent être mis en œuvre dans un circuit électronique numérique ou dans un logiciel, un progiciel ou un matériel informatique, y compris les structures décrites dans cette spécification et leurs équivalents structurels, ou dans des combinaisons 10 d'un ou plusieurs de ceux-ci. Le logiciel informatique peut comprendre, par exemple, un ou plusieurs modules d'instructions, codés sur un support de stockage lisible par informatique pour l'exécution ou le contrôle de l'opération, ou un appareil de traitement de données. Parmi les exemples de support de stockage lisible par l'informatique, on peut citer un support non transitoire, 15 comme des dispositifs de mémoire vive (RAM), des dispositifs de mémoire morte (ROM), des dispositifs optiques (par ex., CD ou DVD) et des disques durs.

20       **[0057]** Le terme « appareil de traitement des données » englobe tous types d'appareils, de dispositifs et de machines pour le traitement des données, y compris à titre d'exemple, un processeur programmable, un ordinateur, un système sur une puce ou plusieurs puces ou des combinaisons des éléments précédents. L'appareil peut comprendre un circuit logique à usage spécifique, par ex., un FPGA (field programmable gate array) ou un ASIC (application specific integrated circuit). L'appareil peut également comprendre, en plus du matériel, un code qui crée un environnement d'exécution pour le programme 25 informatique en question, à savoir un code qui constitue un progiciel de processeur, une pile de protocole, un système de gestion de base de données, un système d'exploitation, un environnement d'exécution multi-plateformes, une machine virtuelle ou une combinaison d'un ou plusieurs de ces éléments. L'appareil et l'environnement d'exécution peuvent réaliser diverses 30 infrastructures de modèle informatique différentes, telles que des infrastructures de services Web, d'informatique distribuée et des infrastructures d'informatique en grille.

35       **[0058]** Un programme informatique (également appelé programme, logiciel, application logicielle, script ou code) peut être écrit dans toute forme de langage de programmation, y compris des langages compilés ou interprétés, des

langages déclaratifs ou procéduraux. Un programme informatique peut, éventuellement, correspondre à un fichier dans un système de fichiers. Un programme peut être stocké dans une partie d'un fichier qui contient d'autres programmes ou données (par ex., un ou plusieurs scripts stockés dans un document en langage de balisage), dans un fichier unique dédié au programme en question ou dans plusieurs fichiers coordonnés (par ex., des fichiers qui stockent un ou plusieurs modules, sous-programmes ou parties de code). Un programme informatique peut être exécuté sur un ou plusieurs ordinateurs qui sont situés sur un site ou répartis sur plusieurs sites et interconnectés par un réseau de communication.

**[0059]** Certains des procédés et des flux logiques décrits dans la présente spécification peuvent être réalisés par un ou plusieurs processeurs programmables exécutant un ou plusieurs programmes informatiques pour effectuer des actions en agissant sur des données d'entrée et en générant une sortie. Les processus et les flux logiques peuvent être également effectués par un circuit logique à usage spécifique et un appareil peut également être mis en œuvre comme circuit logique à usage spécifique, par ex., un FPGA (field programmable gate array) ou un ASIC (application specific integrated circuit).

**[0060]** Parmi les processeurs adaptés à l'exécution d'un programme informatique, on peut citer, par exemple, des microprocesseurs à usage général et spécifique et des processeurs de tout type d'ordinateur numérique. En général, un processeur reçoit des instructions et des données d'une mémoire vive ou d'une mémoire morte ou des deux. Un ordinateur comprend un processeur pour effectuer des actions conformément aux instructions et un ou plusieurs dispositifs de mémoire pour stocker des instructions et des données. Un ordinateur peut également comprendre un ou plusieurs dispositifs de stockage de masse pour stocker des données, ou être couplé de façon opérationnelle pour recevoir des données depuis un ou plusieurs dispositifs de stockage de masse ou pour transférer des données à un ou plusieurs dispositifs de stockage de masse, ou les deux, par ex., des disques magnétiques, des disques magnéto-optiques ou des disques optiques. En revanche, un ordinateur peut ne pas être doté de tels dispositifs. Parmi les dispositifs adaptés au stockage d'instructions et de données de programme informatique, on peut citer toutes les formes de mémoire non volatile, les dispositifs de médias et de mémoire, y compris, à titre d'exemple, des dispositifs mémoire à

semiconducteur (par ex., EPROM, EEPROM, dispositifs de mémoire flash et autres), des disques magnétiques (par ex., des disques durs internes, des disques amovibles et autres), des disques magnéto-optiques et des disques CD-ROM et DVD-ROM. Le processeur et la mémoire peuvent être ajoutés ou 5 incorporés au circuit logique à usage spécifique.

**[0061]** Pour permettre une interaction avec un utilisateur, des opérations peuvent être mises en œuvre sur un ordinateur ayant un dispositif d'affichage (par ex., un moniteur ou un autre type de dispositif d'affichage) pour afficher des informations à l'utilisateur, et un clavier et un dispositif de pointage 10 (par ex., une souris, une balle traceuse, une tablette, un écran tactile ou un autre type de dispositif de pointage) par lequel l'utilisateur peut fournir une entrée à l'ordinateur. D'autres types de dispositifs peuvent être utilisés pour permettre également une interaction avec un utilisateur ; par exemple, les informations renvoyées à l'utilisateur peuvent être sous toute forme 15 d'informations sensorielles, par ex., information visuelle, information sonore ou information tactile ; et l'entrée effectuée par l'utilisateur peut être reçue sous toute forme, y compris une entrée acoustique, vocale ou tactile. De plus, un ordinateur peut interagir avec un utilisateur en envoyant des documents à un dispositif et en recevant des documents depuis un dispositif qui est utilisé par 20 l'utilisateur ; par exemple, en envoyant des pages Web depuis un navigateur Web sur le dispositif client d'un utilisateur en réponse à des demandes reçues par le navigateur Web.

**[0062]** Un système informatique peut comprendre un seul dispositif informatique ou plusieurs ordinateurs qui fonctionnent à proximité les uns des 25 autres ou plus généralement à distance les uns des autres et en général communiquent par le biais d'un réseau de communication. Parmi les exemples de réseaux de communication, on peut citer un réseau local (local area network : « LAN ») et un réseau étendu (wide area network : « WAN »), un inter-réseau (par ex., Internet), un réseau comprenant une liaison satellite et 30 des réseaux d'entités homologues (par ex., réseaux d'entités homologues ad hoc). Une relation entre le client et le serveur peut être créée par l'exécution de programmes informatiques exécutés sur les ordinateurs respectifs et ayant une relation client-serveur l'un par rapport à l'autre.

**[0063]** Parmi les modes de réalisation décrits dans le présent 35 document, on peut citer :

**[0064]** A. Un système comprenant un capteur destiné à détecter une caractéristique d'un fluide et à émettre un signal électrique proportionnel à la caractéristique, un générateur de signaux acoustiques destiné à émettre un signal acoustique proportionnel au signal électrique et un appareil de détection de signal destiné à générer un signal proportionnel au signal acoustique et à transmettre le signal à un emplacement distant.

**[0065]** B. Un procédé comprenant les étapes consistant à surveiller un fluide dans un puits au moyen d'un capteur, à générer un signal électrique proportionnel à une caractéristique du fluide au moyen du capteur, à générer un signal de commande proportionnel au signal électrique au moyen d'un générateur de fréquences, à générer un signal acoustique proportionnel au signal de commande au moyen d'un transducteur acoustique, à détecter le signal acoustique et à générer un signal sur la base du signal acoustique au moyen d'un appareil de détection de signal et à transmettre le signal à un emplacement distant.

**[0066]** Chacun des modes de réalisation A et B peut être doté de un ou plusieurs des éléments additionnels suivants dans n'importe quelle combinaison : Élément 1 : dans lequel le capteur comprend un parmi un capteur chimique, un capteur optique, un capteur de pH, un capteur de densité, un capteur de viscosité, un capteur thermique et un capteur de pression.

**[0067]** Élément 2 : dans lequel le générateur de signaux acoustiques comprend un parmi un dispositif piézoélectrique, un dispositif de magnétostriction, un dispositif électro-optique et un dispositif d'électrostriction. Élément 3 : dans lequel l'appareil de détection de signal génère un signal optique proportionnel au signal acoustique au moyen de techniques interférométriques de modulation de phase et transmet le signal optique à l'emplacement distant. Élément 4 : dans lequel l'appareil de détection de signal est positionné dans un anneau défini entre un puits et un boîtier fixé dans le puits. Élément 5 : dans lequel l'appareil de détection de signal est transporté dans un puits par un câble lisse ou un câble. Élément 6 : dans lequel l'appareil de détection de signal est un appareil n'utilisant pas la fibre optique qui détecte le signal acoustique. Élément 7 : comprenant en outre un générateur de fréquences qui reçoit le signal électrique et génère un signal de commande proportionnel au signal électrique. Élément 8 : dans lequel le générateur de signaux acoustiques comprend un transducteur acoustique destiné à recevoir le

signal de commande et à générer le signal acoustique proportionnel au signal de commande. Élément 9 : dans lequel le générateur de signaux acoustiques et l'appareil de détection de signal communiquent l'un avec l'autre. Élément 10 : dans lequel le générateur de signaux acoustiques et l'appareil de détection de signal sont séparés l'un de l'autre. Élément 11 : comprenant en outre une unité de traitement située à l'emplacement distant et configurée pour traiter le signal émis par l'appareil de détection de signal pour déterminer une localisation du fluide.

**[0068]** Élément 12 : comprenant en outre l'étape consistant à générer un signal optique proportionnel au signal acoustique au moyen de l'appareil de détection de signal, le signal optique étant généré par l'appareil de détection de signal au moyen de techniques interférométriques de modulation de phase. Élément 13 : comprenant en outre l'étape consistant à générer le signal acoustique lorsque le signal électrique atteint ou dépasse un niveau de seuil prédéterminé, le niveau de seuil correspondant à la caractéristique du fluide mesurée par le capteur. Élément 14 : comprenant en outre l'étape consistant à faire varier une fréquence du signal de commande proportionnel au signal électrique. Élément 15 : comprenant en outre l'étape consistant à faire varier une amplitude du signal de commande proportionnel au signal électrique. Élément 16 : comprenant en outre l'étape consistant à faire varier une fréquence du signal acoustique proportionnel au signal de commande. Élément 17 : comprenant en outre l'étape consistant à faire varier une amplitude du signal acoustique proportionnel au signal de commande. Élément 18 : générer le signal acoustique ayant une fréquence de base prédéterminée et décaler la fréquence de base proportionnelle à la caractéristique du fluide mesurée par le capteur.

**[0069]** À titre d'exemple, combinaisons applicables à A et B : l'élément 3 avec l'élément 4 ; l'élément 3 avec l'élément 5 ; et l'élément 7 avec l'élément 8.

**[0070]** Par conséquent, les systèmes et procédés de la présente divulgation sont bien adaptés pour atteindre les fins et présenter les avantages mentionnés, ainsi que ceux inhérents à la présente divulgation. Les modes de réalisation particuliers décrits ci-dessus ne sont donnés qu'à titre d'illustration, les instructions de la présente divulgation pouvant être modifiées et mises en pratique de manières différentes mais équivalentes connues des spécialistes et présentant les avantages des instructions décrites dans le présent document. En

outre, les détails de construction ou de conception présentés dans le présent document n'ont pas de fins limitatives, autres que celles décrites dans les revendications ci-dessous. Il apparaît donc clairement que les modes de réalisation illustratifs particuliers décrits ci-dessus peuvent être transformés, 5 combinés ou modifiés et que toutes ces variations sont considérées comme entrant dans la portée de la présente divulgation. Les systèmes et procédés décrits de façon illustrative dans le présent document peuvent être mis en pratique de façon adéquate en l'absence de tout élément n'étant pas spécifiquement décrit dans le présent document et/ou tout élément facultatif 10 décrit dans le présent document.

**[0071]** Dans le présent document, la phrase « au moins un parmi » précédant une série d'éléments, les termes « et » ou « ou » séparant chacun de ces éléments, transforme la liste en un ensemble, plutôt qu'en une liste de différents éléments (à savoir, chaque élément). La phrase « au moins un parmi 15 un » signifie au moins l'un quelconque des éléments et/ou au moins l'une quelconque des combinaisons de ces éléments et/ou au moins l'un quelconque de chacun des éléments. À titre d'exemple, les phrases « au moins un parmi A, B et C » ou « au moins un parmi A, B ou C » font chacune référence à A 20 uniquement, B uniquement ou C uniquement, à toute combinaison de A, B et C et/ou à au moins l'un quelconque de chacun des éléments A, B et C.

**REVENDICATIONS**

1. Système de mesure et de transmission de données par signaux acoustiques pour puits de forage (16) comprenant :
  - un capteur (101 ; 111) destiné à détecter une caractéristique d'un fluide
  - 5 (112) et à émettre un signal électrique proportionnel à la caractéristique ;
  - un générateur de signaux acoustiques (106) destiné à émettre un signal acoustique proportionnel au signal électrique ; et
  - 10 un appareil de détection de signal destiné à générer un signal proportionnel au signal acoustique et à transmettre le signal à un emplacement distant.
2. Système selon la revendication 1, dans lequel le capteur (101 ; 111) comprend un parmi un capteur (101 ; 111) chimique, un capteur optique (102), un capteur (101 ; 111) de pH, un capteur (101 ; 111) de densité, un 15 capteur (101 ; 111) de viscosité, un capteur (101 ; 111) thermique et un capteur (101 ; 111) de pression.
3. Système selon la revendication 1, dans lequel le générateur de signaux acoustiques (106) comprend un parmi un dispositif piézoélectrique (107), un 20 dispositif de magnétostriction, un dispositif électro-optique et un dispositif d'électrostriction.
4. Système selon la revendication 1, dans lequel l'appareil de détection de signal génère un signal optique proportionnel au signal acoustique au moyen de 25 techniques interférométriques de modulation de phase et transmet le signal optique à l'emplacement distant.
5. Système selon la revendication 4, dans lequel l'appareil de détection de signal est positionné dans un anneau (22) défini entre un puits (16) et un boîtier 30 (20) fixé dans le puits (16).
6. Système selon la revendication 4, dans lequel l'appareil de détection de signal est transporté dans un puits (16) par un câble lisse ou un câble.

7. Système selon la revendication 1, comprenant en outre un générateur de fréquences qui reçoit le signal électrique et génère un signal de commande proportionnel au signal électrique.
- 5 8. Système selon la revendication 7, dans lequel le générateur de signaux acoustiques (106) comprend un transducteur acoustique destiné à recevoir le signal de commande et à générer le signal acoustique proportionnel au signal de commande.
- 10 9. Système selon la revendication 1, dans lequel le générateur de signaux acoustiques (106) et l'appareil de détection de signal communiquent l'un avec l'autre.
- 15 10. Système selon la revendication 1, dans lequel le générateur de signaux acoustiques (106) et l'appareil de détection de signal sont séparés l'un de l'autre.
- 20 11. Système selon la revendication 1, comprenant en outre une unité de traitement (500) située à l'emplacement distant et configurée pour traiter le signal émis par l'appareil de détection de signal pour déterminer une localisation du fluide (112).
12. Procédé de mesure et de transmission de données par signaux acoustiques pour puits de forage (16) comprenant les étapes consistant à :
- 25 surveiller un fluide (112) dans un puits (16) au moyen d'un capteur (101 ; 111) ;
- générer un signal électrique proportionnel à une caractéristique du fluide (112) au moyen du capteur (101 ; 111) ;
- 30 générer un signal de commande proportionnel au signal électrique au moyen d'un générateur de fréquences ;
- générer un signal acoustique proportionnel au signal de commande au moyen d'un transducteur acoustique ;
- déetecter le signal acoustique et générer un signal sur la base du signal acoustique au moyen d'un appareil de détection de signal ; et
- 35 transmettre le signal à un emplacement distant.

13. Procédé selon la revendication 12, comprenant en outre la génération d'un signal optique proportionnel au signal acoustique au moyen de l'appareil de détection de signal, le signal optique étant généré par l'appareil de détection de signal au moyen de techniques interférométriques de modulation de phase.  
5
14. Procédé selon la revendication 12, comprenant en outre la génération du signal acoustique lorsque le signal électrique atteint ou dépasse un niveau de seuil prédéterminé, le niveau de seuil correspondant à la caractéristique du fluide (112) mesurée par le capteur (101 ; 111).  
10
15. Procédé selon la revendication 12, comprenant en outre la variation d'une fréquence du signal de commande proportionnel au signal électrique.  
15
16. Procédé selon la revendication 12, comprenant en outre la variation d'une amplitude du signal de commande proportionnel au signal électrique.  
20
17. Procédé selon la revendication 12, comprenant en outre la variation d'une fréquence du signal acoustique proportionnel au signal de commande.  
25
18. Procédé selon la revendication 12, comprenant en outre la variation d'une amplitude du signal acoustique proportionnel au signal de commande.  
20
19. Procédé selon la revendication 12, comprenant en outre :  
générer le signal acoustique ayant une fréquence de base prédéterminée ;  
et  
modifier la fréquence de base proportionnelle à la caractéristique du fluide (112) mesurée par le capteur (101 ; 111).  
30

1/4

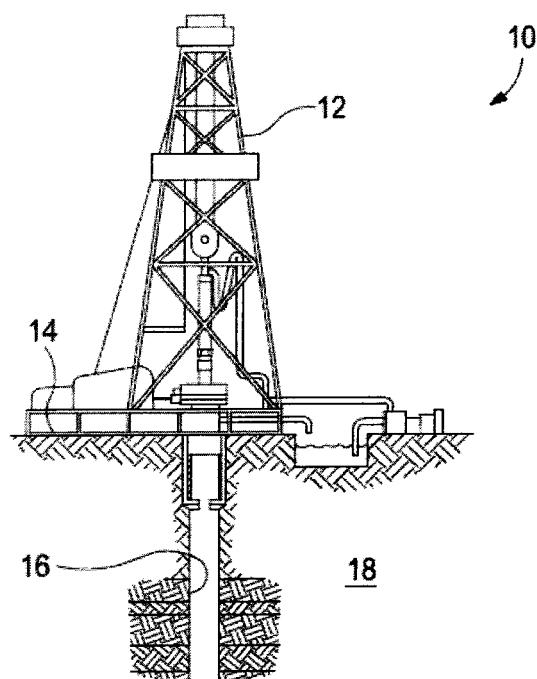


FIG. 1A

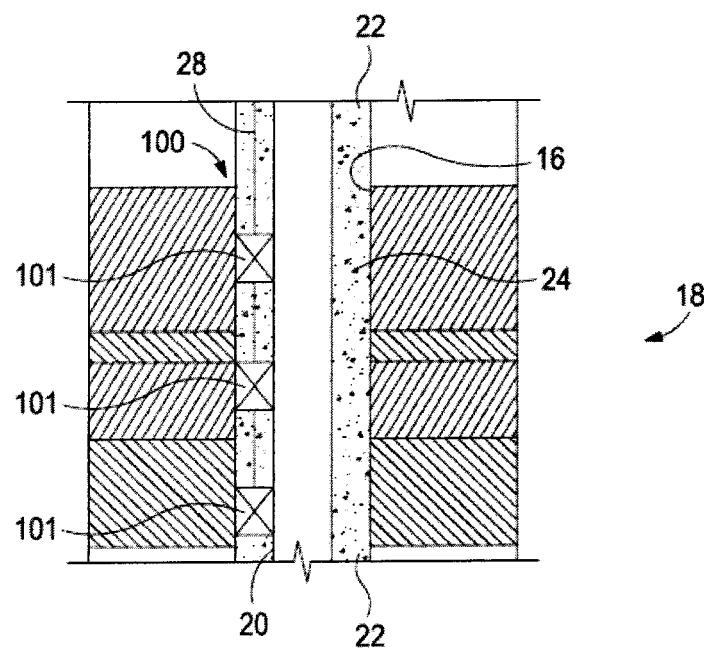


FIG. 1B

2/4

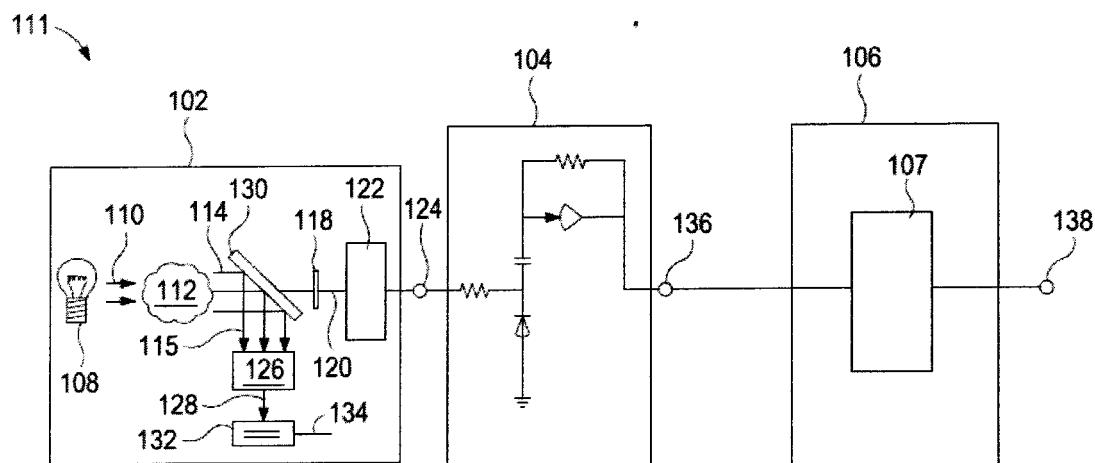


FIG. 2A

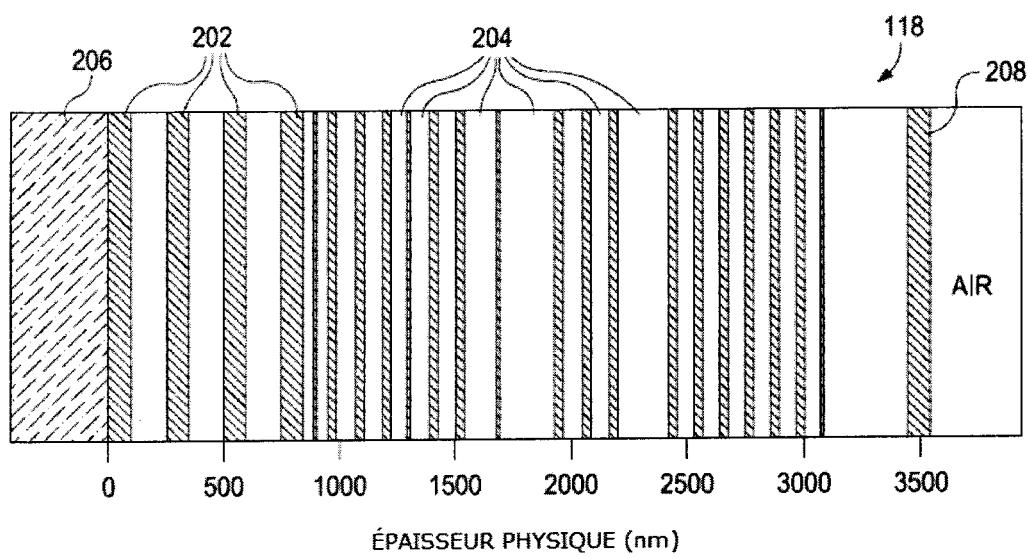


FIG. 2B

3/4

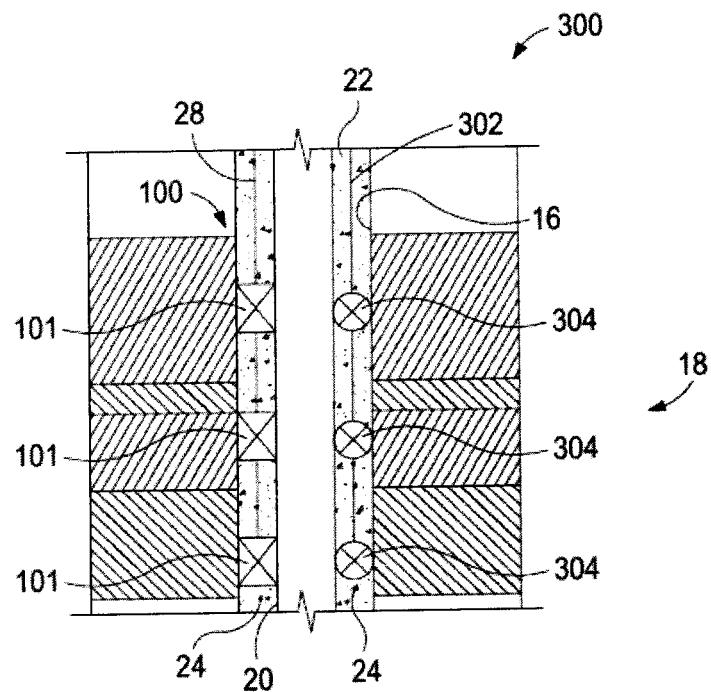


FIG. 3

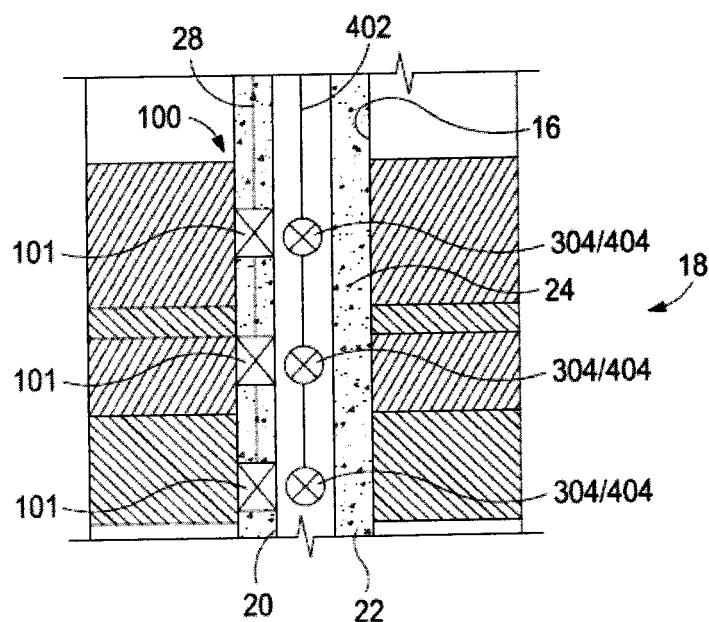


FIG. 4

4/4

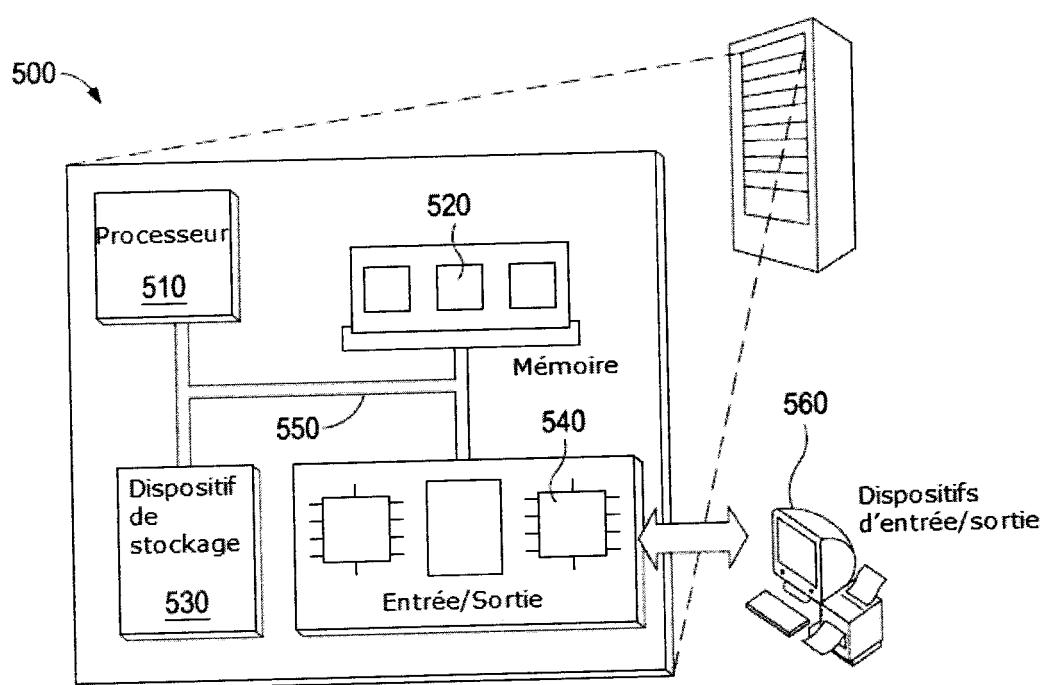


FIG. 5