

(51) Int Cl⁸ : **E 21 B 47/135** (2017.01), G 01 H 9/00

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 27.06.16.

(30) Priorité : 27.07.15 IB U.S2015042273

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

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

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

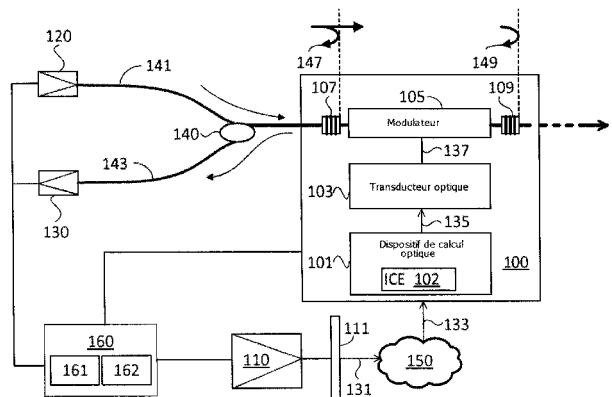
72 Inventeur(s) : BARFOOT DAVID ANDREW, MANDVIWALA TASNEEM AMMAR et SAMSON ETIENNE M

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

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

54) PROCEDES ET SYSTEMES UTILISANT UN RECEPTEUR OPTIQUE ET DES PROCEDES ELECTRO-OPTIQUES POUR TRANSMETTRE DES DONNEES A PARTIR D'ELEMENTS DE CAUCUL INTEGRE

57) La présente invention se rapporte à une liaison optique comprenant un dispositif de calcul optique ayant un élément de calcul intégré (ICE), et à un procédé d'utilisation du dispositif pour exécuter un mesurage à distance d'une caractéristique d'un échantillon avec le dispositif de calcul optique. Le dispositif de calcul optique fournit un signal de calcul optique proportionnel à une caractéristique d'un échantillon, à partir d'une lumière interagie fournie à l'ICE. Le dispositif comprend un transducteur optique pour fournir un signal de modulation sur la base du signal de calcul optique, et un modulateur pour moduler une première partie d'une lumière de transmission dans un guide d'onde optique sur la base du signal de modulation.



PROCÉDÉS ET SYSTÈMES UTILISANT UN RÉCEPTEUR OPTIQUE ET DES PROCÉDÉS ÉLECTRO-OPTIQUES POUR TRANSMETTRE DES DONNÉES À PARTIR D'ÉLÉMENTS DE CALCUL INTÉGRÉ

5

CONTEXTE DE L'INVENTION

[0001] Dans le domaine de l'exploration et de l'extraction du pétrole et du gaz, une pluralité de mesurages est exécutée près du fond du trou de forage ou en bas du trou de forage. Un grand nombre d'applications actuelles exécutent le traitement des données à la position de mesurage, ou près de celle-ci, de sorte que les valeurs traitées sont transmises vers l'amont par des impulsions acoustiques ou électriques. Bien que ces approches permettent de réduire le coût de mécanismes de transfert de signaux et la logistique, ils sont extrêmement sensibles aux conditions environnementales, au bruit, aux interférences, et ils sont généralement lents du fait de la limitation de la bande passante des canaux électriques ou acoustiques.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0002] Les figures suivantes sont incluses afin d'illustrer certains aspects de la présente invention, et ne doivent pas être considérées comme des modes de réalisation exclusifs. L'objet décrit dans la présente invention peut être soumis à des modifications, altérations, combinaisons et équivalents significatifs en termes de forme et de fonction, comme cela semblera évident aux hommes de métier et présentant les avantages de la présente divulgation.

[0003] La figure 1 illustre une liaison optique comprenant un dispositif de calcul optique pour un mesurage à distance de la caractéristique d'un échantillon.

[0004] La figure 2 illustre une vue en coupe transversale d'un élément de calcul intégré devant être utilisé dans un dispositif de calcul optique.

[0005] La figure 3 illustre une réponse en modulation pour une liaison optique en réponse à un signal de modulation émis par un transducteur optique.

[0006] La figure 4A illustre un couplage série à multiplexage par répartition dans le temps (TDM) d'une pluralité de liaisons optiques.

5 [0007] La figure 4B illustre un couplage TDM parallèle d'une pluralité de liaisons optiques.

[0008] La figure 5A illustre un couplage série à multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) d'une pluralité de liaisons optiques.

[0009] La figure 5B illustre un couplage série combiné TDM et WDM d'une pluralité de liaisons optiques.

[0010] La figure 6 illustre un système filaire configuré pour mesurer à distance une caractéristique d'un échantillon durant des essais des couches et un échantillonnage sur une liaison optique.

10 [0011] La figure 7 illustre un schéma de procédé comprenant les étapes d'un procédé pour le mesurage à distance d'une caractéristique d'un échantillon sur une liaison optique.

15 [0012] Sur les figures, sauf indication contraire, des éléments ou des étapes portant des numéros de référence identiques ou similaires ont une description et une configuration identiques ou similaires.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE L'INVENTION

20 [0013] La présente divulgation se rapporte à des liaisons optiques utilisées pour transmettre des signaux à partir de dispositifs de calcul optique au moyen d'éléments de calcul intégré. De façon plus spécifique, la présente divulgation se rapporte à des liaisons optiques utilisant des dispositifs électro-optiques pour transmettre des signaux à partir de dispositifs de calcul optique situés à distance, à des instruments et à des contrôleurs placés en surface, dans une application de trou de forage pour l'industrie du pétrole et du gaz.

25 [0014] Des modes de réalisation cohérents avec la présente divulgation utilisent des dispositifs de calcul optique avec au moins un élément de calcul intégré (ICE) pour détecter des composés ou des caractéristiques de fluide dans un échantillon. Des dispositifs de calcul optique tels que ceux décrits dans le présent document surveillent en temps réel des propriétés de fluides et de produits en bas du trou, et acheminent les résultats jusqu'à la surface au moyen de procédés de télécommunications optiques au lieu de procédés électroniques ou acoustiques. Les procédés de télécommunications optiques peuvent comprendre un récepteur tout optique situé à un emplacement en

surface. Par exemple, dans certains modes de réalisation, un modulateur à phase électro-optique convertit un signal électrique généré par une thermopile dans un dispositif de calcul optique en un signal optique dans une bande de longueurs d'onde de télécommunications à l'emplacement de mesurage en bas du trou, ou près de cet emplacement. Le signal optique est transmis via une fibre optique à un système d'interrogation situé à la surface.

5 [0015] Les avantages d'un procédé tout optique tel que celui décrit dans le présent document comprennent des débits de données plus rapides ainsi que la réduction/l'élimination du bruit électrique. De la même façon, des modes de réalisation cohérents avec la présente divulgation éliminent la nécessité d'utiliser des amplificateurs électriques, des répéteurs et des sources 10 d'alimentation électrique associées, étant donné la faible perte de puissance des canaux de télécommunications optiques. En outre, des modes de réalisation cohérents avec la présente divulgation autorisent une capacité de 15 capteurs distribués au moyen de capacités de multiplexage par répartition dans le temps (TDM) et de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) de schémas de télécommunications optiques.

20 [0016] Des modes de réalisation cohérents avec la présente divulgation impliquent la détection de lumière modifiée avec un détecteur. L'intensité de la lumière modifiée est proportionnelle à la concentration ou à une valeur d'une caractéristique d'intérêt de l'échantillon. Un défi dans un grand nombre 25 d'applications, comme celles exécutées en bas d'un trou de forage, est d'acheminer la sortie du détecteur (et donc les données ou les informations clés) jusqu'à la surface, qui peut se trouver à plusieurs kilomètres (km) du point de mesurage. Actuellement, cela est généralement mis en œuvre au moyen de composants électroniques, d'amplificateurs, de câbles physiques, voire même de dispositifs acoustiques. Ces procédés peuvent introduire du 30 bruit et, par conséquent, des imprécisions dans les informations transmises. De plus, ces procédés exigent de la puissance et peuvent être difficiles à mettre en œuvre physiquement. Dans la présente divulgation, des procédés sont décrits pour obtenir un récepteur tout optique, de sorte que des signaux électriques dérivés à partir d'un détecteur à distance sont utilisés pour moduler un signal optique prenant son origine à la surface moyennant quoi le

signal optique modulé est retourné, du modulateur à distance optique jusqu'à la surface, via une fibre optique et détecté par le récepteur tout optique, à la surface.

[0017] Des modes de réalisation de la présente divulgation comprennent un système de détection tout optique devant être utilisé dans des applications d'exploration et d'extraction de pétrole et de gaz. Certaines des caractéristiques comprennent la capacité d'exécuter une détection à distance au moyen d'une technologie de télécommunications par guide d'onde optique. Par conséquent, des modes de réalisation cohérents avec la présente divulgation fournissent une précision de mesurage améliorée en raison du faible bruit de fond détecté, de la faible perte de transmission, et de la capacité de canal élevée dans les bandes de télécommunications. Dans des modes de réalisation décrits dans le présent document, la capacité de multiplexage de schémas TDM et WDM permet d'utiliser une pluralité de capteurs distribués le long d'un pipeline de pétrole ou de gaz, ou d'un trou de forage. Des dispositifs de calcul optique dans un système de détection optique utilisant des liaisons optiques comme décrit ci-dessus peuvent être déployés durant de longues périodes de temps, voire même indéfiniment, en raison de la robustesse de la technologie de télécommunications optiques. En outre, des modes de réalisation cohérents avec la présente divulgation peuvent réduire sensiblement, voire même éliminer la mise en œuvre d'une électronique complexe en bas du trou. Des modes de réalisation cohérents avec la présente divulgation évitent les erreurs de calcul, la détérioration du SNR, et la faible durée de vie avant une panne des circuits électroniques complexes aux températures élevées du trou de forage, en particulier au fond du trou ou près du fond du trou, qui peuvent atteindre 200 °C.

[0018] Des dispositifs de calcul optique, également couramment appelés des « dispositifs optico-analytiques », peuvent être utilisés pour analyser et surveiller une substance en temps réel. De tels dispositifs de calcul optique emploient souvent un élément de calcul intégré (ICE). Un ICE tel que celui décrit dans le présent document est un élément qui interagit optiquement avec une substance dans le but de déterminer des valeurs quantitatives et/ou qualitatives d'une ou plusieurs propriétés physiques ou chimiques de la

substance. L'ICE peut comprendre des éléments de brouillage multicouche conçus pour fonctionner sur un continuum de longueurs d'onde dans le spectre électromagnétique, de la plage UV à la plage de l'infrarouge moyen (MIR), ou n'importe quel sous-ensemble de cette région. Le rayonnement électromagnétique qui interagit optiquement avec l'ICE est modifié de sorte à pouvoir être lu par un détecteur, de sorte qu'une sortie du détecteur peut être corrélée à la propriété ou à la « caractéristique » physique ou chimique de la substance qui est analysée.

[0019] Tel qu'il est utilisé dans le présent document, le terme « caractéristique » fait référence à une propriété chimique, mécanique, ou physique d'une substance. Une caractéristique d'une substance peut comprendre une valeur quantitative ou qualitative d'un ou plusieurs constituants ou composés chimiques présents dans celle-ci, ou de l'une quelconque des propriétés physiques associées à celle-ci. De tels constituants ou composés chimiques peuvent être appelés des « analytes ». Des caractéristiques illustratives d'une substance qui peut être surveillée avec le dispositif de calcul optique décrit dans le présent document peuvent comprendre par exemple une composition chimique (par ex., une identité et une concentration globales ou de composants individuels), une présence de phase (par ex., gaz, pétrole, eau, etc.), une teneur en impuretés, un pH, une alcalinité, une viscosité, une densité, une intensité ionique, des solides totaux dissous, une teneur en sel (par ex., une salinité), une porosité, une opacité, une teneur bactérienne, une dureté totale, une combinaison de ces éléments, un état de matière (solide, liquide, gaz, émulsion, mélanges, etc.), et similaires.

[0020] Tel qu'il est utilisé dans le présent document, le terme « rayonnement électromagnétique » fait référence à des ondes radio, un rayonnement micro-ondes, un rayonnement infrarouge et un rayonnement proche de l'infrarouge, une lumière visible, une lumière ultraviolette, un rayonnement par rayons X et un rayonnement par rayons gamma.

[0021] Tel qu'il est utilisé dans le présent document, le terme « dispositif de calcul optique » fait référence à un dispositif optique qui est configuré pour recevoir une entrée de rayonnement électromagnétique

associée à une substance et produire une sortie de rayonnement électromagnétique à partir d'un élément de traitement prévu à l'intérieur du dispositif de calcul optique. L'élément de traitement peut être, par exemple, un élément de calcul intégré (ICE), également appelé élément optique à plusieurs variables (MOE). Le rayonnement électromagnétique qui interagit optiquement avec l'élément de traitement est modifié de sorte à pouvoir être lu par un détecteur, si bien qu'une sortie du détecteur peut être corrélée à une caractéristique particulière de la substance. La sortie de rayonnement électromagnétique à partir de l'élément de traitement peut être un rayonnement électromagnétique réfléchi, transmis et/ou dispersé. Le fait que le détecteur analyse un rayonnement électromagnétique réfléchi, transmis, ou dispersé, peut être dicté par les paramètres structurels du dispositif de calcul optique ainsi que par d'autres considérations connues des hommes de métier. De plus, une émission et/ou une diffusion du fluide, par fluorescence, luminescence, diffusion Raman, de Mie et/ou de Raleigh, par exemple, peuvent également être surveillées par des dispositifs de calcul optique.

[0022] Tel qu'il est utilisé dans le présent document, le terme « interaction optique » ou des variantes de celui-ci font référence à la réflexion, la transmission, la diffusion, la diffraction ou l'absorption de rayonnement électromagnétique sur, à travers, ou à partir d'un ou plusieurs éléments de traitement (en d'autres termes, des composants ICE ou MOE) ou d'une substance qui est analysée par les éléments de traitement. Par conséquent, une lumière interagie optiquement fait référence à un rayonnement électromagnétique qui a été réfléchi, transmis, diffusé, diffracté, ou absorbé par, ou re-rayonné, par exemple, au moyen d'un élément de traitement, mais peut aussi s'appliquer à une interaction avec une substance.

[0023] La figure 1 illustre une liaison optique 100 comprenant un dispositif de calcul optique 101 pour un mesurage à distance de la caractéristique d'un échantillon 150. Un dispositif de calcul optique 101 comprend un élément de calcul intégré (ICE) 102, et fournit un signal de calcul optique 135 proportionnel à une caractéristique d'un échantillon 150 à partir d'une lumière interagie 133 fournie à l'ICE 102. Une lumière interagie 133 est le résultat de l'interaction optique d'une lumière

d'éclairement 131 et d'un échantillon 150. Une lumière d'éclairement 131 est fournie par une source de lumière 110, et filtrée par un élément spectral 111. Dans au moins un mode de réalisation, un élément spectral 111 peut également comprendre un ICE.

[0024] Une liaison optique 100 comprend un transducteur optique 103 qui reçoit le signal de calcul optique 135 et fournit un signal de modulation 137 à un modulateur. Un signal de modulation 137 est basé sur la valeur ou l'intensité d'un signal de calcul optique 135. Dans certains modes de réalisation, une liaison optique 100 peut comprendre en outre un modulateur 105 pour moduler une première partie 149 d'une lumière de transmission dans un guide d'onde optique 141 sur la base d'un signal de modulation 137. Dans certains modes de réalisation, un transducteur optique 103 comprend au moins un parmi un transducteur électro-optique ou un transducteur tout optique. Dans des modes de réalisation où un transducteur optique 103 est un transducteur tout optique, un signal de modulation 137 est un signal optique, un signal de calcul optique 135 par exemple.

[0025] Dans certains modes de réalisation, une liaison optique 100 comprend un coupleur d'entrée 107 qui fournit la première partie 149 d'une lumière de transmission à un modulateur 105 et une seconde partie 147 d'une lumière de transmission en retour au guide d'onde optique 141. Une liaison optique 100 peut également comprendre un coupleur de sortie 109 qui fournit la première partie de la lumière de transmission 149 en retour à travers le modulateur 105 et hors de la liaison optique 100 à travers un coupleur d'entrée 107. Dans certains modes de réalisation, un coupleur d'entrée 107 et un coupleur de sortie 109 sont des réseaux de Bragg à fibre (FBG) identiques ayant une vitesse de transmission partielle et un taux de réflexion partiel.

[0026] Dans certains modes de réalisation, un signal de modulation 137 est une tension, et un modulateur 105 est un retardateur à phase électro-optique ayant un indice de réfraction qui change selon la tension (par exemple, une tension fournie par un détecteur thermopile dans un dispositif de calcul optique 101). Par exemple, un modulateur 105 peut comprendre un cristal électro-optique comme du niobate de lithium (LiNbO₃) ou du

5 dihydrogénophosphate de potassium (KDP). Un modulateur 105 crée un retard de phase dans la première partie 149 de la lumière de transmission par rapport à la seconde partie 147 de la lumière de transmission sur la base du signe entré. La seconde partie 147 de la lumière de transmission interfère avec la première partie 149 de la lumière de transmission au coupleur d'entrée 107, ce qui génère ainsi un motif d'interférence circulant en retour à travers un guide d'onde optique 141 à l'intérieur du guide d'onde optique 143 via un séparateur 140. Le motif d'interférence entre la première partie 149 et la seconde partie 147 de la lumière de transmission est mesuré à distance par 10 un photodéTECTeur 130.

15 [0027] Dans certains modes de réalisation, un guide d'onde optique 141 comprend ou autrement inclut une ou plusieurs fibres optiques. Le guide d'onde optique 141 peut avoir un coefficient de perte faible dans une bande de longueurs d'onde de télécommunications, et la lumière de transmission a une longueur d'onde dans la bande de longueurs d'onde de télécommunications. Une bande de longueurs d'onde de télécommunications peut être la bande O (1 260 nm à 1 360 nm environ), la bande E (1 360 nm à 1 460 nm environ), la bande S (1 460 nm à 1 530 nm environ), la bande C (1 530 nm à 1 565 nm environ), la bande L (1 565 nm à 1 625 nm environ), ou la bande U (1 625 nm 20 à 1 675 nm environ). D'autres bandes de longueurs d'onde dans la région du proche infrarouge (NIR) (850 nm à 2 500 nm environ) peuvent être utilisées en fonction des souhaits et des configurations spécifiques liés à l'utilisation d'une liaison optique 100. En outre, dans certains modes de réalisation, au moins un parmi un coupleur d'entrée 107 et un coupleur de sortie 109 est un élément à sélection de longueurs d'onde avec un taux de réflexion partiel qui 25 est supérieur pour une première partie d'une lumière de transmission 149 ayant une longueur d'onde à l'intérieur d'une bande présélectionnée.

30 [0028] La figure 2 illustre une vue en coupe transversale d'un élément de calcul intégré (ICE) 202 fourni à titre d'exemple. L'ICE 202 peut être similaire ou identique à l'ICE 102 de la figure 2 et peut donc être utilisé dans un dispositif de calcul optique 101 de la figure 1. Comme cela est illustré, l'ICE 202 peut comprendre une pluralité de couches alternées 203 et 204, de silicium (Si) et de SiO₂ (quartz), respectivement. En général, des couches 203

et 204 comprennent des matériaux dont un indice de réfraction est élevé et bas, respectivement. D'autres exemples de matériaux pouvant être utilisés dans des couches 203 et 204 peuvent comprendre du niobium et des niobia, du germanium et des germania, du MgF, du SiO, et d'autres matériaux ayant un indice de réfraction élevé et bas, connus dans la technique. Des couches 203, 204 peuvent être déposées stratégiquement sur un substrat optique 206. 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, comme du quartz, du saphir, du silicium, du germanium, du sélénium de zinc, ou du sulfure de zinc par exemple, ou diverses matières plastiques comme du polycarbonate, du polyméthacrylate de méthyle (PMMA), du polychlorure de vinyle (PVC), du diamant, des céramiques par exemple, des combinaisons de ces éléments, et similaires.

15 **[0029]** À l'extrémité opposée (par ex., à l'opposé du substrat optique 206 sur la figure 2), l'ICE 202 peut comprendre une couche 208 qui est généralement exposée à l'environnement du dispositif ou de l'installation, et peut être apte à détecter une substance échantillon. Le nombre de couches 203, 204 et l'épaisseur de chaque couche 203, 204 sont déterminés à 20 partir des attributs spectraux acquis à partir d'une analyse spectroscopique d'une caractéristique de la substance qui est analysée au moyen d'un instrument spectroscopique classique. Le spectre d'intérêt d'une caractéristique donnée comprend généralement un nombre quelconque de différentes longueurs d'onde. Il est important de comprendre que l'ICE 202 fourni à titre d'exemple sur la figure 2 ne représente pas en fait une caractéristique particulière d'une substance donnée, mais qu'il est fourni à 25 titre d'illustration uniquement. Par conséquent, le nombre de couches 203, 204 et leur épaisseur relative, comme cela est illustré sur la figure 2, n'ont aucune corrélation avec aucune caractéristique particulière. Les couches 203, 30 204 et leur épaisseur relative ne sont pas non plus nécessairement dessinées à l'échelle et ne doivent donc pas être considérées comme limitant la présente divulgation. En outre, les hommes du métier comprendront aisément que les matériaux qui constituent chaque couche 203, 204 (en d'autres termes, du Si

et du SiO₂) peuvent varier en fonction de l'application, du coût des matériaux, et/ou de l'applicabilité des matériaux sur la substance donnée qui est analysée.

5 [0030] Dans certains modes de réalisation, le matériau de chaque couche 203, 204 peut être dopé, ou bien deux matériaux ou plus peuvent être combinés de sorte à produire la caractéristique optique souhaitée. En plus de solides, l'ICE 202 fourni à titre d'exemple peut également contenir des liquides et/ou des gaz, en combinaison avec des solides éventuellement, de sorte à produire une caractéristique optique souhaitée. Dans le cas de gaz et de 10 liquides, l'ICE 202 peut contenir un réceptacle correspondant (non représenté) dans lequel sont stockés les gaz ou les liquides. Des variantes de l'ICE 202 fournies à titre d'exemple peuvent également comprendre des éléments optiques holographiques, des réseaux, des éléments piézoélectriques, des conduits de lumière, et/ou des éléments acousto-optiques, par exemple, qui 15 peuvent créer des propriétés de transmission, réflexion, et/ou d'absorption d'intérêt.

20 [0031] Des couches 203, 204 présentent des indices de réfraction différents. En sélectionnant de manière appropriée les matériaux des couches 203, 204 ainsi que leur épaisseur et leur écartement relatifs, l'ICE 202 peut être configuré pour laisser passer/réfléchir/réfracter 25 sélectivement des fractions prédéterminées de rayonnement électromagnétique à différentes longueurs d'onde. À chaque longueur d'onde est attribué un poids ou un facteur de charge prédéterminé. L'épaisseur et l'écartement des couches 203, 204 peuvent être déterminés au moyen d'une variété de procédés d'approximation à partir du spectre de la caractéristique 30 ou de l'analyte d'intérêt. Ces procédés peuvent comprendre une transformée de Fourier inverse rapide (IFT) du spectre de transmission optique et une structuration de l'ICE 100 en tant que la représentation physique de l'IFT. Les approximations convertissent l'IFT en une structure basée sur des matériaux connus ayant des indices de réfraction constants.

[0032] Les poids que les couches 203, 204 de l'ICE 202 appliquent à chaque longueur d'onde sont définis aux poids de régression décrits par rapport à une équation, ou des données, ou une signature spectrale connues.

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique interagit avec une substance, des informations physiques et chimiques uniques relatives à la substance peuvent être encodées dans le rayonnement électromagnétique qui est réfléchi à partir de la substance, transmis à travers celle-ci ou rayonné à partir de celle-ci. Ces informations sont souvent désignées par le terme d'« empreinte » spectrale de la substance. L'ICE 202 exécute le produit scalaire du rayonnement électromagnétique reçu par l'ICE 202 et la fonction de transmission dépendant de la longueur d'onde de l'ICE 202. La fonction de transmission dépendant de la longueur d'onde de l'ICE 202 dépend de l'indice de réfraction du matériau de la couche, du nombre de couches 203, 204 et de l'épaisseur des couches. La fonction de transmission de l'ICE 202 est conçue pour imiter un vecteur de régression souhaité calculé à partir de la solution d'un problème à plusieurs variables linéaires ciblant un composant spécifique de l'échantillon qui est analysé. En résultat, l'intensité de la lumière de sortie de l'ICE 202 est proportionnelle à un produit scalaire d'un spectre de transmission de l'échantillon avec le vecteur de régression associé à la caractéristique d'intérêt. Par conséquent, l'intensité de la lumière de sortie de l'ICE 202 est un indicateur direct d'une valeur de la caractéristique d'intérêt de l'échantillon.

[0033] Un dispositif de calcul optique 101 employant un ICE 202 peut être apte à extraire les informations de l'empreinte spectrale d'une pluralité de caractéristiques ou d'analytes à l'intérieur d'une substance et convertir ces informations en une sortie détectable relative aux propriétés globales de la substance. En d'autres termes, via des configurations appropriées des dispositifs de calcul optique, un rayonnement électromagnétique associé à des caractéristiques ou des analytes d'intérêt dans une substance peut être séparé d'un rayonnement électromagnétique associé à tous les autres composants de la substance dans le but d'estimer les propriétés de la substance en temps réel ou pratiquement en temps réel. Par conséquent, un ICE 202 est apte à différencier et à traiter un rayonnement électromagnétique associé à une caractéristique ou à un analyte d'intérêt.

[0034] La figure 3 illustre une réponse en modulation 305 pour une liaison optique 100 en réponse à un signal de modulation 137 généré par un transducteur optique 103. La réponse en modulation 305 est la fonction de

réponse du modulateur 105. Dans certains modes de réalisation, une réponse en modulation 305 rapporte une tension d'entrée (voir des abscisses V_{in} , sur la figure 3) à une sortie de phase (voir des ordonnées Φ_{out} sur la figure 3). Dans certains modes de réalisation, il est souhaitable qu'une réponse en modulation 305 soit une fonction linéaire, comme montré sur la figure 3. Une valeur pour la plage de tension ΔV_i d'un signal de calcul optique 137 résulte en une sortie de modulation avec un retard de phase $\Delta\Phi_o$ déterminé par la pente de la réponse en modulation 305. Le retard de phase $\Delta\Phi_o$ entre la première partie 149 et une seconde partie 147 de la lumière de transmission produit un signal brouilleur avec une amplitude 315 (ΔS) qui est mesurée par un détecteur 130.

5 [0035] Il est souhaitable que la pente de la réponse en modulation 305 soit importante de sorte qu'une petite ΔV_i donne lieu à un $\Delta\Phi_o$ échelonnable fourni par le modulateur 105. Dans certains modes de réalisation, il est souhaitable que la pente de la réponse en modulation 305 soit suffisamment 10 lente pour fournir un $\Delta\Phi_o$ à des vitesses permettant au système de démoduler les valeurs de phase avec précision. De façon plus spécifique, dans certains modes de réalisation, un détecteur 130 peut échantillonner la lumière modulée en phase retournée par le transducteur 103 à un débit de 100 kHz. Par conséquent, un intervalle échantillon entre deux mesurages consécutifs est 15 d'environ 10 microsecondes μs ($10 \text{ microsecondes} = 10^{-5} \text{ s} = 1/100 \text{ kHz}$). Dans une telle configuration, il est souhaitable que $\Delta\Phi_o$, comprenant tout bruit généré par une liaison optique 100, soit inférieur à $+\/-\pi$ radians en au moins 20 $10 \mu s$. Cela comprend des contributions de bruit blanc à $\Delta\Phi_o$ qui peuvent être nettement plus rapides que $10 \mu s$, ou 100 kHz (par exemple, 1 MHz ou plus). Par exemple, un $\Delta\Phi_o$ de $+\pi$ ou $-\pi$ sur une durée d'environ $10 \mu s$ ou moins, 25 peut ne pas être discernable par un démodulateur à phase optique qui lit le signal en provenance d'un détecteur 130. Dans certains modes de réalisation, un schéma de démodulation synchrone passif peut être utilisé pour lire le signal en provenance d'un détecteur 130 afin d'atténuer l'ambiguïté $+\/-\pi$ et 30 réduire la distorsion harmonique sur le mesurage de la caractéristique de composé ou de fluide associée à ΔV_i . Par conséquent, certains modes de réalisation comprennent un signal de porteuse générée en phase (PGC) dans lequel un $\Delta\Phi_o$ entre deux échantillons consécutifs est inférieur à π . Dans

certains modes de réalisation, il est souhaitable que $\Delta\Phi_0$ soit d'environ $\pi/10$, voire même moins. De façon plus spécifique, dans un modulateur à phase électro-optique ayant une $V\pi$ de 2,5 V, un $\Delta\Phi_0$ de π radians (180°) est obtenu lorsqu'une tension de 2,5 V est appliquée dans un signal de calcul optique 137. En supposant qu'une réponse est linéaire, un $\Delta\Phi_0$ de 6×10^{-3} radians est obtenu pour un signal de calcul optique 137 de 5 mV. Dans ces conditions, lorsque le bruit de fond d'un détecteur 130 est d'environ 10^{-6} rad/ $\sqrt{\text{Hz}}$, un rapport signal sur bruit (SNR) d'environ 60 dB est obtenu. Ce niveau de modulation de phase peut être interrogé et extrait par un détecteur 130 à la surface d'un appareil de forage de pétrole et de gaz.

[0036] La figure 4A illustre un couplage série à multiplexage par répartition dans le temps (TDM) d'une pluralité de liaisons optiques 400a, 400b et 400c (ci-après collectivement appelées des liaisons optiques 400). Chaque liaison optique 400 peut être associée à une partie d'un échantillon 450a, 450b et 450c, respectivement, ci-après collectivement appelés un échantillon 450. Des échantillons 450a, 450b et 450c peuvent être des parties du même échantillon 450 à différents emplacements, obtenus par exemple en différents points dans un trou de forage, ou en différents points le long d'un pipeline de pétrole ou de gaz.

[0037] Chaque liaison optique 400 peut comprendre un dispositif de calcul optique 401a, 401b et 401c, respectivement, ci-après collectivement appelés des dispositifs de calcul optique 401. Des dispositifs de calcul optique 401 fournissent un signal de calcul optique 435a, 435b et 435c (ci-après collectivement appelés des signaux de calcul optique 435) à chacun des modulateurs 405a, 405b et 405c (ci-après collectivement appelés des modulateurs 405), respectivement. Dans certains modes de réalisation, des liaisons optiques 400 sont analogues à des liaisons optiques 100 (voir la figure 1). À cet égard, chaque modulateur 405 peut comprendre un modulateur 105 et un transducteur optique 103. De plus, chaque dispositif de calcul optique 401 peut être similaire à un dispositif de calcul optique 101.

[0038] Chacune des liaisons optiques 400 peut comprendre un coupleur d'entrée 407a, 407b et 407c, et un coupleur de sortie 409a, 409b et 409c (ci-après collectivement appelés des coupleurs d'entrée 407 et des coupleurs de

sortie 409), respectivement. Chacun des coupleurs de sortie 409 donne lieu à des parties de signal de transmission 449a, 449b et 449c (ci-après collectivement appelées des parties de signal de transmission 449). Des parties de signal de transmission 449 sont différencierées les unes des autres dans le temps selon des instants ta, tb, et tc auxquels elles arrivent dans le détecteur 130 après avoir circulé en retour à travers le guide d'onde 141 dans le séparateur 140 et le guide d'onde 143. Par conséquent, un motif d'interférence produit par une partie de signal de transmission 449a, une partie de signal de transmission 449b et une partie de signal de transmission 449c sera observé par un détecteur 130 à différents instants dans le temps ta, tb et tc. De cette manière, la connaissance des temps de circulation ta, tb et tc permet au contrôleur 160 de déterminer laquelle des liaisons optiques 400a, 400b ou 400c, a donné lieu à l'un quelconque de motifs d'interférence donnés dans le détecteur 130.

[0039] Dans certains modes de réalisation, des coupleurs optiques d'entrée 407 et des coupleurs optiques de sortie 409 peuvent être similaires. Dans certains modes de réalisation, les taux de transmission et de réflexion de coupleurs d'entrée 407a-c et de coupleurs de sortie 409a-c peuvent être légèrement différents de sorte que les motifs d'interférence attendus générés par les modulateur 405a, b et c, respectivement, sont de la même grandeur ou d'une grandeur approximativement similaire pour une modulation comparable.

[0040] La figure 4B illustre un couplage TDM parallèle d'une pluralité de liaisons optiques. Sur la figure 4B, des liaisons optiques 400a et 400b sont couplées en parallèle via des séparateurs 440a et 440b (ci-après collectivement appelés des séparateurs 440). Des séparateurs 440 sont sélectionnés avec une faible perte d'insertion. Le mode de réalisation d'une liaison parallèle illustré sur la figure 4B a comme avantage de réduire une diaphonie de capteur due à une pluralité de réflexions (par ex., des réflexions entre un coupleur de sortie 409a et un coupleur d'entrée 407b, voir la figure 4A).

[0041] Dans des modes de réalisation comprenant un couplage TDM pour la pluralité de liaisons optiques 400a-c, comme illustré sur les figures 4A

et 4B, la différence entre des parties de signal de transmission 449a-c correspond au moins aux instants d'arrivée ta, tb et tc au détecteur 130.

[0042] La figure 5A illustre un couplage série à multiplexage par répartition dans le temps (WDM) d'une pluralité de liaisons optiques 500a et 500b (ci-après collectivement appelées des liaisons optiques 500). Chacune des liaisons optiques 500 est associée à une partie d'un échantillon 550a et 550b (ci-après collectivement appelés un échantillon 550). Des échantillons 550a et 550b peuvent être des parties du même échantillon 550 (en d'autres termes, un même type de fluide ou de substance) obtenus à différents emplacements, par exemple, en différents points dans un trou de forage, ou en différents points le long d'un pipeline de pétrole ou de gaz. Deux sources de lumière ou plus 520a et 520b (ci-après collectivement appelées des sources de lumière 520) émettent une lumière de transmission à des longueurs d'onde différentes λ_a et λ_b , respectivement. Les sources de lumière 520 peuvent être des lasers, comme des lasers à fibre ou des lasers à cavité externe dont une longueur de cohérence est deux fois supérieure à la longueur de trajet optique entre des réflecteurs 107 et 109. Les longueurs d'onde λ_a et λ_b peuvent être deux longueurs d'onde différentes à l'intérieur de la même bande de télécommunications.

[0043] Des liaisons optiques 500 peuvent comprendre un dispositif de calcul optique 501a et 501b (ci-après collectivement appelés des dispositifs de calcul optique 501) et des modulateurs 505a et 505b (ci-après collectivement appelés des modulateurs 505). Des dispositifs de calcul optique 501 et des modulateurs 505 peuvent être similaires aux dispositifs de calcul optique 101 et 401, et aux modulateurs 405 décrits dans ce qui précède (voir les figures 1 et 4A-B). Par conséquent, des liaisons optiques 500a et 500b sont similaires à des liaisons optiques 100 et 400 (voir les figures 1 et 4A-B), à la différence près que des coupleurs d'entrée 507 et des coupleurs de sortie 509 sont accordés de sorte à réfléchir uniquement une lumière d'une longueur d'onde sélectionnée : λ_a , pour un coupleur d'entrée 507a et un coupleur de sortie 509a ; ou λ_b , pour un coupleur d'entrée 507b et un coupleur de sortie 509b.

[0044] Une partie de lumière de transmission 549a a une longueur d'onde λ_a , et une partie de lumière de transmission 549b a une longueur

d'onde λ_b . Dans certains modes de réalisation, un détecteur 530 peut être un détecteur sensible à la longueur d'onde, qui sépare des parties d'une lumière de transmission 549a et 549b selon la longueur d'onde. Par exemple, dans certains modes de réalisation, un détecteur 530 peut être similaire à un détecteur 130 couplé à un élément à sélection de longueurs d'onde. L'élément à sélection de longueurs d'onde peut être un prisme, un réseau à diffraction, un réseau sélectif planaire (AWG) ou une pluralité de filtres optiques. Des modes de réalisation cohérents avec un schéma de couplage WDM optimisent l'utilisation d'une bande de télécommunications par ex., une liaison optique 500a est transparente à toutes les longueurs d'ondes transportant des lumières de transmission différentes de λ_a . Cette approche réduit la diaphonie de capteur au détecteur 130, et réduit également la perte de transmission à d'autres longueurs d'ondes (par ex., à la longueur d'onde λ_b). En outre, le couplage WDM autorise un mesurage simultané, ou quasi-simultané, d'une pluralité de liaisons optiques 500.

[0045] La figure 5B illustre un couplage série combiné TDM et WDM d'une pluralité de liaisons optiques 500a-d. Des liaisons optiques 500c et 500d peuvent être associées à une partie d'un échantillon 550c, 550d (que l'on dira par la suite associées à un échantillon 550). Des échantillons 550c et 550d peuvent être des parties du même échantillon 550 à différents emplacements, obtenus par exemple en différents points d'un fluide dans un trou de forage, ou en différents points le long d'un pipeline de pétrole ou de gaz.

[0046] Dans des modes de réalisation illustrés sur la figure 5B, des liaisons optiques 500 peuvent être configurées de sorte que des parties de lumière de transmission 549a et 549c peuvent avoir une longueur d'onde identique ou similaire ($\lambda_a \sim \lambda_c$), et que des parties de lumière de transmission 549b et 549d peuvent avoir une longueur d'onde identique ou similaire ($\lambda_b \sim \lambda_d$). D'autres configurations peuvent comprendre un plus grand nombre de sources de lumière 520 opérant à des longueurs d'ondes différentes, de sorte que, par exemple, toutes les longueurs d'ondes λ_a , λ_b , λ_c et λ_d sont différentes les unes des autres. Sans limitation, il peut être souhaitable d'alterner la séquence TDM de liaisons optiques 500 selon la longueur d'onde de sorte à réduire l'interférence et augmenter la différence de

5 temps d'arrivée au détecteur 530. Par conséquent, une configuration où $\lambda_a \neq \lambda_b$, $\lambda_a \sim \lambda_c$, et $\lambda_b \sim \lambda_d$, réduit l'interférence entre des liaisons optiques les plus voisines 500a et 500b, des liaisons optiques les plus voisines 500b et 500c, et entre des liaisons optiques les plus voisines 500c et 500d. De plus, une telle configuration augmente la différence entre t_a et t_c (ce qui est souhaitable lorsque $\lambda_a \sim \lambda_c$), et entre t_b et t_d (ce qui est souhaitable lorsque $\lambda_b \sim \lambda_d$), allégeant ainsi les spécifications de performance sur le détecteur 530.

10 [0047] La figure 6 illustre un système filaire 600 configuré pour mesurer à distance une caractéristique d'un échantillon durant des essais des couches et un échantillonnage sur une liaison optique. Dans certains modes de réalisation, un système filaire 600 peut être configuré pour utiliser une liaison optique afin d'exécuter un mesurage à distance d'une caractéristique d'un échantillon durant des essais des couches et un échantillonnage. Une fois que le forage d'un puits de forage 618 est accompli, il peut être souhaitable 15 d'obtenir davantage de détails sur les types de fluide de formation et les caractéristiques associées via un échantillonnage exécuté au moyen d'un testeur de formation filaire. Un système 600 peut comprendre un outil de diagraphie filaire 612 qui fait partie d'une opération de diagraphie filaire qui peut comprendre un ou plusieurs dispositifs de calcul optique 614 tels que ceux décrits dans le présent document (par ex., des dispositifs de calcul optique 100, 400a-c, 500a-d, voir les figures 1, 4A-4B et 5A-5B, respectivement). Un système 600 peut comprendre le derrick 602 qui supporte la moufle mobile 604. Un outil de diagraphie filaire 612, une sonde ou un doseur par exemple, peut être abaissé par un câble filaire ou un câble de diagraphie 606 dans le trou de forage 618. L'outil 612 peut être abaissé 20 jusqu'en bas de la région d'intérêt puis remonté à une vitesse sensiblement constante par le câble filaire ou le câble de diagraphie 606. L'outil 612 peut être configuré pour mesurer des propriétés de fluide de fluides de puits de forage, et toutes les données de mesurage générées par l'outil de diagraphie 25 filaire 612 et ses dispositifs de calcul optique 614 associés peuvent être communiquées à un appareil de diagraphie en surface 608 en vue de leur stockage, leur traitement et/ou leur analyse. Des procédés pour un déploiement permanent d'un ou plusieurs dispositifs de calcul optique 30 614

décris dans le présent document consistent à fixer les capteurs et une fibre de transmission optique sur le tubage de production déployé à l'intérieur d'une colonne de tubage, ou à exécuter un déploiement en fixant les capteurs et le câble à fibre optique à l'extérieur de la colonne de tubage. Par conséquent, 5 des modes de réalisation d'un système tel que celui décrit dans le présent document peuvent surveiller en continu les propriétés de fluide d'un puits de forage pendant toute la durée de vie du puits. L'un quelconque des dispositifs de calcul optique 614 peut comprendre un ICE selon des modes de réalisation décrits dans le présent document (par ex., l'ICE 202, voir la figure 2). 10 L'appareil de diagraphe 608 peut comprendre un équipement électronique 610 comprenant des processeurs pour divers types de traitement du signal.

[0048] La figure 7 illustre un schéma de procédé comprenant des étapes d'un procédé 700 pour le mesurage à distance d'une caractéristique d'un échantillon sur une liaison optique. Dans certains modes de réalisation, des étapes d'un procédé 700 peuvent être exécutées au moins partiellement par un contrôleur comprenant un processeur et une mémoire (par ex., un contrôleur 160, un processeur 161 et une mémoire 162, voir la figure 1). La mémoire peut contenir des instructions qui, lorsqu'elles sont exécutées par le processeur, commandent au contrôleur d'exécuter au moins certaines des étapes du procédé 700. Par conséquent, des procédés cohérents avec le procédé 700 peuvent être exécutés en lien avec un système comprenant une liaison optique ayant un coupleur d'entrée, un coupleur de sortie, un dispositif de calcul optique comprenant un ICE, un transducteur optique et un modulateur (par ex., une liaison optique 100, un coupleur d'entrée 107 et un coupleur de sortie 109, un dispositif de calcul optique 101, un ICE 102, un transducteur optique 103, et un modulateur 105). De plus, des procédés cohérents avec le procédé 700 peuvent consister à utiliser une source de lumière pour fournir une lumière de transmission dans une bande de longueurs d'onde de télécommunications, un détecteur, un guide d'onde optique tel qu'une fibre optique, et une source de lumière pour fournir une lumière d'éclairage au dispositif de calcul optique (par ex., une source de 15 20 25 30

lumière 120, un détecteur 130, des guides d'ondes optiques 141 et 143, et une source de lumière 110, voir la figure 1).

5 [0049] Des procédés cohérents avec le procédé 700 peuvent comprendre un moins grand nombre d'étapes que celui illustré sur la figure 7 ou d'autres étapes en plus d'au moins une des étapes du procédé 700. De plus, des procédés cohérents avec la présente divulgation peuvent comprendre au moins une ou plusieurs des étapes du procédé 700 exécutées suivant une séquence différente. Par exemple, certains modes de réalisation cohérents avec la présente divulgation peuvent comprendre au moins deux 10 étapes du procédé 700 exécutées durant un intervalle de temps en chevauchement, ou sensiblement en même temps.

15 [0050] Une étape 702 consiste à fournir une lumière de transmission à un guide d'onde optique couplé à une liaison optique. Dans certains modes de réalisation, l'étape 702 consiste à fournir une pluralité d'impulsions de lumière de transmission, chaque impulsion de lumière de transmission étant transmise à un instant prédéterminé à partir d'une source optique. Par conséquent, l'étape 702 peut consister à sélectionner l'instant prédéterminé selon une distance à parcourir de la pluralité d'impulsions de lumière de transmission et l'emplacement de la liaison optique à l'intérieur d'une pluralité de liaisons optiques situées le long du guide d'onde optique. Dans certains modes de réalisation, l'étape 702 consiste à fournir une première lumière de transmission à une première longueur d'onde et une seconde lumière de transmission à une seconde longueur d'onde, et à sélectionner la première 20 longueur d'onde et la seconde longueur d'onde à l'intérieur d'une bande de longueurs d'onde de télécommunications. Selon certains modes de réalisation, l'étape 702 peut consister à fournir une lumière de transmission dont une longueur de cohérence est deux fois supérieure à une longueur de trajet optique de la lumière de transmission le long de la liaison optique.

25 [0051] Une étape 704 consiste à recevoir un signal de calcul optique, en provenance d'un dispositif de calcul optique dans la liaison optique, le signal étant proportionnel à une caractéristique d'un échantillon. Dans certains modes de réalisation, l'étape 704 consiste à faire interagir une lumière d'éclairage avec un échantillon et avec un élément de calcul intégré dans le

dispositif de calcul optique de sorte à former le signal de calcul optique. Une étape 706 consiste à moduler la lumière de transmission dans la liaison optique sur la base du signal reçu en provenance du dispositif de calcul optique. L'étape 706 peut consister à fournir un retard de phase à la lumière de transmission sur la base du signal de calcul optique.

5 [0052] Une étape 708 consiste à déterminer une valeur de modulation de la lumière de transmission modulée. L'étape 708 peut consister à coupler la lumière de transmission modulée et une lumière de transmission non modulée à un détecteur au moyen d'un séparateur de guide d'onde couplé au guide d'onde optique. L'étape 708 peut consister à détecter une interférence entre la lumière de transmission modulée et une lumière de transmission non modulée. Dans certains modes de réalisation, l'étape 708 consiste à déterminer une pluralité de valeurs de modulation de la lumière de transmission modulée, reçues en provenance d'une pluralité de liaisons optiques situées à différents 10 emplacements. Une étape 710 consiste à déterminer une valeur pour la caractéristique de l'échantillon sur la base de la valeur de modulation. Par conséquent, dans certains modes de réalisation, l'étape 710 consiste à comparer la valeur de modulation à un graphique linéaire associant une valeur de la caractéristique de l'échantillon à la valeur de modulation. Dans certains 15 modes de réalisation, la valeur de la caractéristique de l'échantillon peut ne pas être linéaire par rapport à la valeur de modulation, mais peut être associée à la valeur de modulation selon une formule ou une relation mathématique connues.

20 [0053] Une étape 712 consiste à modifier un fonctionnement d'un trou de forage sur la base de la valeur de modulation. Dans certains modes de réalisation, l'étape 712 consiste à déterminer l'emplacement de chacune des liaisons optiques et à associer la valeur de la caractéristique de l'échantillon à l'emplacement de chacune des liaisons optiques. L'étape 712 peut consister à modifier un fonctionnement d'un trou de forage sur la base de la valeur de la caractéristique de l'échantillon. Par conséquent, dans certains modes de réalisation, l'étape 712 consiste à recevoir la valeur de la caractéristique de l'échantillon, en provenance d'une pluralité de liaisons optiques situées à 25 différents emplacements le long du trou de forage. L'étape 712 peut consister

à renforcer certaines parties du trou de forage ou d'un pipeline lorsqu'un mesurage indique une corrosion, une contamination bactérienne, ou certaines autres conditions dangereuses dans le trou de forage ou le pipeline. Dans certains modes de réalisation, l'étape 712 peut consister à exécuter une opération de maintenance sur le trou de forage ou le pipeline, comme le nettoyage d'un contaminant ou de matières particulières par exemple.

5 [0054] Des modes de réalisation décrits dans le présent document comprennent :

10 [0055] A. Un dispositif, comprenant un dispositif de calcul optique comprenant un élément de calcul intégré (ICE) et fournissant un signal de calcul optique proportionnel à une caractéristique d'un échantillon dérivé d'une lumière interagie fournie à l'ICE. Le dispositif comprend en outre un transducteur optique qui fournit un signal de modulation sur la base du signal de calcul optique, et un modulateur qui module une première partie d'une 15 lumière de transmission dans un guide d'onde optique sur la base du signal de modulation.

20 [0056] B. Un procédé, consistant à fournir une lumière de transmission à un guide d'onde optique couplé à une liaison optique, et à recevoir un signal de calcul optique en provenance d'un dispositif de calcul optique dans la liaison optique. Dans certains modes de réalisation, le signal de calcul optique est proportionnel à une caractéristique d'un échantillon détecté par le dispositif de calcul optique. Le procédé consiste également à moduler la lumière de transmission dans la liaison optique sur la base du signal de calcul optique et à 25 obtenir par là même une lumière de transmission modulée, à déterminer une valeur de modulation de la lumière de transmission modulée, et à déterminer une valeur pour la caractéristique de l'échantillon sur la base de la valeur de modulation.

30 [0057] Chacun des modes de réalisation A et B peut comprendre un ou plusieurs des éléments supplémentaires suivants, dans n'importe quelle combinaison. Élément 1 : un coupleur d'entrée qui fournit la première partie de la lumière de transmission au modulateur et qui fournit en outre une seconde partie de la lumière de transmission en retour au guide d'onde optique, et un coupleur de sortie qui réfléchit la première partie de la lumière

de transmission en retour via le modulateur et hors du dispositif via le coupleur d'entrée. Élément 2 : dans lequel le guide d'onde optique comprend une fibre optique et au moins un parmi le coupleur d'entrée et le coupleur de sortie est un réseau de Bragg à fibre ayant une vitesse de transmission partielle et un taux de réflexion partiel. Élément 3 : dans lequel au moins un parmi l'élément coupleur d'entrée et le coupleur de sortie est un élément à sélection de longueurs d'onde avec un taux de réflexion partiel qui est supérieur pour la première partie de la lumière de transmission ayant une longueur d'onde à l'intérieur d'une bande présélectionnée. Élément 4 : dans lequel le guide d'onde optique est une fibre optique ayant un coefficient de perte peu élevé dans une bande de longueurs d'onde de télécommunications, et la lumière de transmission présente une longueur d'onde dans la bande de longueurs d'onde de télécommunications. Élément 5 : dans lequel le signal de modulation est une tension et le modulateur est un retardateur à phase électro-optique ayant un indice de réfraction qui change selon la tension. En outre, les modes de réalisation A et B peuvent comprendre un élément 6 : dans lequel le transducteur optique comprend au moins un parmi un transducteur électro-optique ou un transducteur tout optique.

[0058] En outre, les modes de réalisation A et B peuvent comprendre un élément 7 : qui fournit une première lumière de transmission à une première longueur d'onde et une seconde lumière de transmission à une seconde longueur d'onde, et qui sélectionne la première longueur d'onde et la seconde longueur d'onde à l'intérieur d'une bande de longueurs d'onde de télécommunications. Élément 8 : dans lequel la fourniture de la lumière de transmission consiste à fournir une lumière de transmission ayant une longueur de cohérence qui est deux fois supérieure à une longueur de trajet optique de la lumière de transmission le long de la liaison optique. Élément 9 : dans lequel la fourniture de la lumière de transmission consiste à fournir une pluralité d'impulsions de lumière de transmission, chaque impulsion de lumière de transmission étant transmise à un instant prédéterminé à partir d'une source optique. Élément 10 : consistant en outre à sélectionner l'instant prédéterminé selon une distance à parcourir de la pluralité d'impulsions de lumière de transmission et l'emplacement de la liaison optique à l'intérieur

d'une pluralité de liaisons optiques situées le long du guide d'onde optique. Élément 11 : dans lequel la modulation de la lumière de transmission dans la liaison optique consiste à fournir un retard de phase à la lumière de transmission sur la base du signal de calcul optique. Élément 12 : dans lequel la détermination de la valeur de modulation de la lumière de transmission modulée consiste à coupler la lumière de transmission modulée et une lumière de transmission non modulée à un détecteur au moyen d'un séparateur de guide d'onde couplé au guide d'onde optique. Élément 13 : dans lequel la détermination de la valeur de modulation de la lumière de transmission modulée consiste à détecter une interférence entre la lumière de transmission modulée et une lumière de transmission non modulée. Élément 14 : dans lequel la détermination de la valeur de modulation de la lumière de transmission modulée consiste à déterminer une pluralité de valeurs de modulation de la lumière de transmission modulée reçues en provenance d'une pluralité de liaisons optiques situées à différents emplacements. Élément 15 : consistant en outre à faire interagir optiquement une lumière d'éclairage avec l'échantillon et un élément de calcul intégré placé dans le dispositif de calcul optique pour former le signal de calcul optique. Élément 16 : consistant en outre à déterminer l'emplacement de chacune d'une pluralité de liaisons optiques et à associer la valeur de la caractéristique de l'échantillon à l'emplacement de chacune de la pluralité de liaisons optiques. Élément 17 : consistant en outre à modifier un fonctionnement d'un trou de forage sur la base de la valeur de la caractéristique de l'échantillon. Élément 18 : dans lequel la modification du fonctionnement d'un trou de forage consiste à recevoir la valeur de la caractéristique de l'échantillon en provenance d'une pluralité de liaisons optiques situées à différents emplacements le long du trou de forage.

[0059] L'homme du métier comprendra aisément que les procédés décrits dans le présent document, ou d'importantes parties de ceux-ci, peuvent être automatisés dans une certaine mesure, de sorte qu'un système informatisé peut être programmé pour transmettre des données à partir d'un dispositif de calcul optique, au moyen d'un élément ICE. Le matériel informatique utilisé pour mettre en œuvre les divers procédés et algorithmes

décris dans le présent document peut comprendre un processeur configuré pour exécuter une ou plusieurs séquences d'instructions, des stances de programmation ou un code stocké sur un support non transitoire lisible par un ordinateur. Le processeur peut être, par exemple, un microprocesseur à usage général, un microcontrôleur, un processeur de signaux numériques, un circuit intégré spécifique à l'application, un réseau prédiffusé programmable par l'utilisateur, un circuit logique programmable, un contrôleur, une machine d'état, une porte logique, des composants matériels discrets, un réseau neuronal artificiel, ou toute autre entité similaire appropriée qui peut exécuter des calculs ou d'autres manipulations de données. Dans certains modes de réalisation, le matériel informatique peut comprendre en outre des éléments tels que, par exemple, une mémoire (par ex., une mémoire à accès aléatoire (RAM), une mémoire flash, une mémoire morte (ROM), une mémoire morte programmable (PROM), une mémoire morte effaçable et programmable électriquement (EEPROM)), des registres, des disques durs, des disques amovibles, des CD-ROM, des DVD, ou tout autre dispositif ou support de stockage similaire approprié.

[0060] Des séquences exécutables décrites dans le présent document peuvent être mises en œuvre avec une ou plusieurs séquences de code contenues dans une mémoire. Dans certains modes de réalisation, un tel code peut être lu dans la mémoire à partir d'un autre support lisible par une machine. L'exécution des séquences d'instructions contenues dans la mémoire peut commander à un processeur d'exécuter les étapes de procédés décrites dans le présent document. Un ou plusieurs processeurs d'un système multitraitements peuvent également être employés pour exécuter des séquences d'instructions contenues dans la mémoire. De plus, des circuits câblés peuvent être utilisés à la place d'instructions logicielles, ou en combinaison avec celles-ci, afin de mettre en œuvre les divers modes de réalisation décrits dans le présent document. Les modes de réalisation de la présente invention ne se limitent donc pas à une combinaison spécifique de matériel et/ou de logiciel.

[0061] Tel qu'il est employé dans le présent document, un support lisible par une machine fait référence à n'importe quel support qui fournit,

directement ou indirectement, des instructions à un processeur en vue de leur exécution. Un support lisible par une machine peut prendre diverses formes comme, par exemple, des supports non volatiles, des supports volatiles, et des supports de transmission. Des supports non volatiles peuvent comprendre, par 5 exemple, des disques optiques et des disques magnétiques. Des supports volatiles peuvent comprendre, par exemple, une mémoire dynamique. Des supports de transmission peuvent comprendre, par exemple, des câbles coaxiaux, des fils, des fibres optiques, et des fils qui forment un bus. Des formes courantes de supports lisibles par une machine peuvent comprendre, 10 par exemple, des disquettes, des disques souples, des disques durs, des bandes magnétiques, d'autres supports magnétiques similaires, des CD-ROM, des DVD, d'autres supports optiques similaires, des cartes à perforer, des bandes de papier et des supports physiques similaires à motifs magnétiques, des RAM, des ROM, des PROM, des EPROM et des EPROM flash.

15 **[0062]** Par conséquent, la présente invention est parfaitement adaptée pour atteindre les objectifs et les avantages mentionnés ainsi que tous ceux qui sont inhérents à la présente invention. Les modes de réalisation particuliers décrits dans ce qui précède sont fournis à titre d'illustration seulement, étant donné que la présente invention peut être modifiée et mise 20 en pratique de manières différentes mais néanmoins équivalentes qui sembleront évidentes à l'homme du métier, et présentant les avantages des enseignements du présent document. En outre, aucune limitation n'est prévue pour être appliquée aux détails de construction ou de conception montrés dans le présent document, autres que celles décrites dans les revendications qui 25 suivent. Il est donc évident que les modes de réalisation particuliers fournis à titre d'exemple décrits dans ce qui précède peuvent être altérés, combinés, ou modifiés et que toutes les variantes correspondantes sont considérées comme entrant dans la portée et l'esprit de la présente invention. L'invention décrite de façon illustrative ici peut être mise en pratique de manière appropriée en l'absence de tout élément qui ne serait pas spécifiquement décrit dans le présent document et/ou tout élément optionnel décrit dans la présente 30 invention. Bien que les compositions et les procédés soient décrits en termes de « comprenant, » « contenant, » ou « incluant » divers composants ou

diverses étapes, les compositions et les procédés peuvent également « comprendre essentiellement » les, ou « se composer » des, divers composants et des diverses étapes. Tous les nombres et plages décrits dans ce qui précède peuvent varier dans une certaine mesure. Chaque fois qu'une 5 plage numérique avec une limite inférieure et une limite supérieure est décrite, n'importe quel nombre et n'importe quelle plage inclus, entrant à l'intérieur de la plage, sont décrits de façon spécifique. En particulier, chaque plage de valeurs (sous la forme « d'environ a à environ b, » ou, de façon équivalente, « d'environ a à b, » ou, de façon équivalente, « d'environ a-b ») décrite dans le présent document doit être comprise comme définissant 10 chaque nombre et chaque plage englobés à l'intérieur de la plage plus large de valeurs. De la même façon, les termes employés dans les revendications ont leur signification pleine, entière et courante, sauf indication contraire explicitement et clairement définie par le déposant. De plus, tel qu'il est utilisé 15 dans les revendications, l'article indéfini « un » ou « une » est défini dans le présent document comme signifiant un ou plus d'un de l'élément qu'il introduit. En cas de conflit dans l'utilisation d'un mot ou d'un terme dans la présente description et un ou plusieurs brevets ou autres documents qui peuvent être incorporés dans le présent document à titre de référence, les 20 définitions qui sont cohérentes avec la présente description doivent être adoptées.

REVENDICATIONS

1. Dispositif comprenant :

un dispositif de calcul optique comprenant un élément de calcul intégré (ICE) et fournissant un signal de calcul optique proportionnel à une caractéristique d'un échantillon dérivé d'une lumière interagie fournie à l'ICE ;

un transducteur optique qui fournit un signal de modulation basé sur le signal de calcul optique ; et

un modulateur qui module une première partie d'une lumière de transmission dans un guide d'onde optique sur la base du signal de modulation.

2. Dispositif selon la revendication 1, comprenant en outre :

un coupleur d'entrée qui fournit la première partie de la lumière de transmission au modulateur et qui fournit en outre une seconde partie de la lumière de transmission en retour au guide d'onde optique ; et

un coupleur de sortie qui réfléchit la première partie de la lumière de transmission en retour via le modulateur et hors du dispositif via le coupleur d'entrée.

3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel le guide d'onde optique comprend une fibre optique et au moins un parmi le coupleur d'entrée et le coupleur de sortie est un réseau de Bragg à fibre ayant une vitesse de transmission partielle et un taux de réflexion partiel.

4. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel au moins un parmi l'élément coupleur d'entrée et le coupleur de sortie est un élément à sélection de longueurs d'onde avec un taux de réflexion partiel qui est supérieur pour la première partie de la lumière de transmission

ayant une longueur d'onde à l'intérieur d'une bande présélectionnée.

5. 5. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le guide d'onde optique est une fibre optique ayant un coefficient de perte peu élevé dans une bande de longueurs d'onde de télécommunications, et la lumière de transmission présente une longueur d'onde dans la bande de longueurs d'onde de télécommunications.
10. 6. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le signal de modulation est une tension et le modulateur est un retardateur à phase électro-optique ayant un indice de réfraction qui change selon la tension.
15. 7. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le transducteur optique comprend au moins un parmi un transducteur électro-optique ou un transducteur tout optique.
20. 8. Procédé consistant à :
fournir une lumière de transmission à un guide d'onde optique couplé à une liaison optique ;
recevoir un signal de calcul optique, en provenance d'un dispositif de calcul optique dans la liaison optique, le signal de calcul optique étant proportionnel à une caractéristique d'un échantillon détecté par le dispositif de calcul optique ;
25. moduler la lumière de transmission dans la liaison optique sur la base du signal de calcul optique et ainsi obtenir une lumière de transmission modulée ;
déterminer une valeur de modulation de la lumière de transmission modulée ; et
30. déterminer une valeur pour la caractéristique de l'échantillon sur la base de la valeur de modulation.

9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la fourniture de la lumière de transmission consiste à :

fournir une première lumière de transmission à une première longueur d'onde et une seconde lumière de transmission à une seconde longueur d'onde ; et

5 sélectionner la première longueur d'onde et la seconde longueur d'onde à l'intérieur d'une bande de longueurs d'onde de télécommunications.

10 10. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la fourniture de la lumière de transmission consiste à fournir une lumière de transmission ayant une longueur de cohérence qui est deux fois supérieure à une longueur de trajet optique de la lumière de transmission le long de la liaison optique.

15 11. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la fourniture de la lumière de transmission consiste à fournir une pluralité d'impulsions de lumière de transmission, chaque impulsion de lumière de transmission étant transmise à un instant prédéterminé à partir d'une source optique.

20 12. Procédé selon la revendication 11, consistant en outre à sélectionner l'instant prédéterminé selon une distance à parcourir de la pluralité d'impulsions de lumière de transmission et l'emplacement de la liaison optique à l'intérieur d'une pluralité de liaisons optiques situées le long du guide d'onde optique.

25 13. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la modulation de la lumière de transmission dans la liaison optique consiste à fournir un retard de phase à la lumière de transmission sur la base du signal de calcul optique.

30 14. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la détermination de la valeur de modulation de la lumière de transmission modulée

consiste à coupler la lumière de transmission modulée et une lumière de transmission non modulée à un détecteur au moyen d'un séparateur de guide d'onde couplé au guide d'onde optique.

- 5 15. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la détermination de la valeur de modulation de la lumière de transmission modulée consiste à détecter une interférence entre la lumière de transmission modulée et une lumière de transmission non modulée.
- 10 16. Procédé selon la revendication 8, dans lequel la détermination de la valeur de modulation de la lumière de transmission modulée consiste à déterminer une pluralité de valeurs de modulation de la lumière de transmission modulée reçues en provenance d'une pluralité de liaisons optiques situées à différents emplacements.
- 15 17. Procédé selon la revendication 8, consistant en outre à faire interagir optiquement une lumière d'éclairement avec l'échantillon et un élément de calcul intégré placé dans le dispositif de calcul optique pour former le signal de calcul optique.
- 20 18. Procédé selon la revendication 8, consistant en outre à déterminer l'emplacement de chacune d'une pluralité de liaisons optiques et à associer la valeur de la caractéristique de l'échantillon à l'emplacement de chacune de la pluralité de liaisons optiques.
- 25 19. Procédé selon la revendication 8, consistant en outre à modifier un fonctionnement d'un trou de forage sur la base de la valeur de la caractéristique de l'échantillon.
- 30 20. Procédé selon la revendication 19, dans lequel la modification du fonctionnement d'un trou de forage consiste à recevoir la valeur de la caractéristique de l'échantillon en provenance d'une pluralité de

31

liaisons optiques situées à différents emplacements le long du trou de forage.

5

10

15

20

25

30

1/9

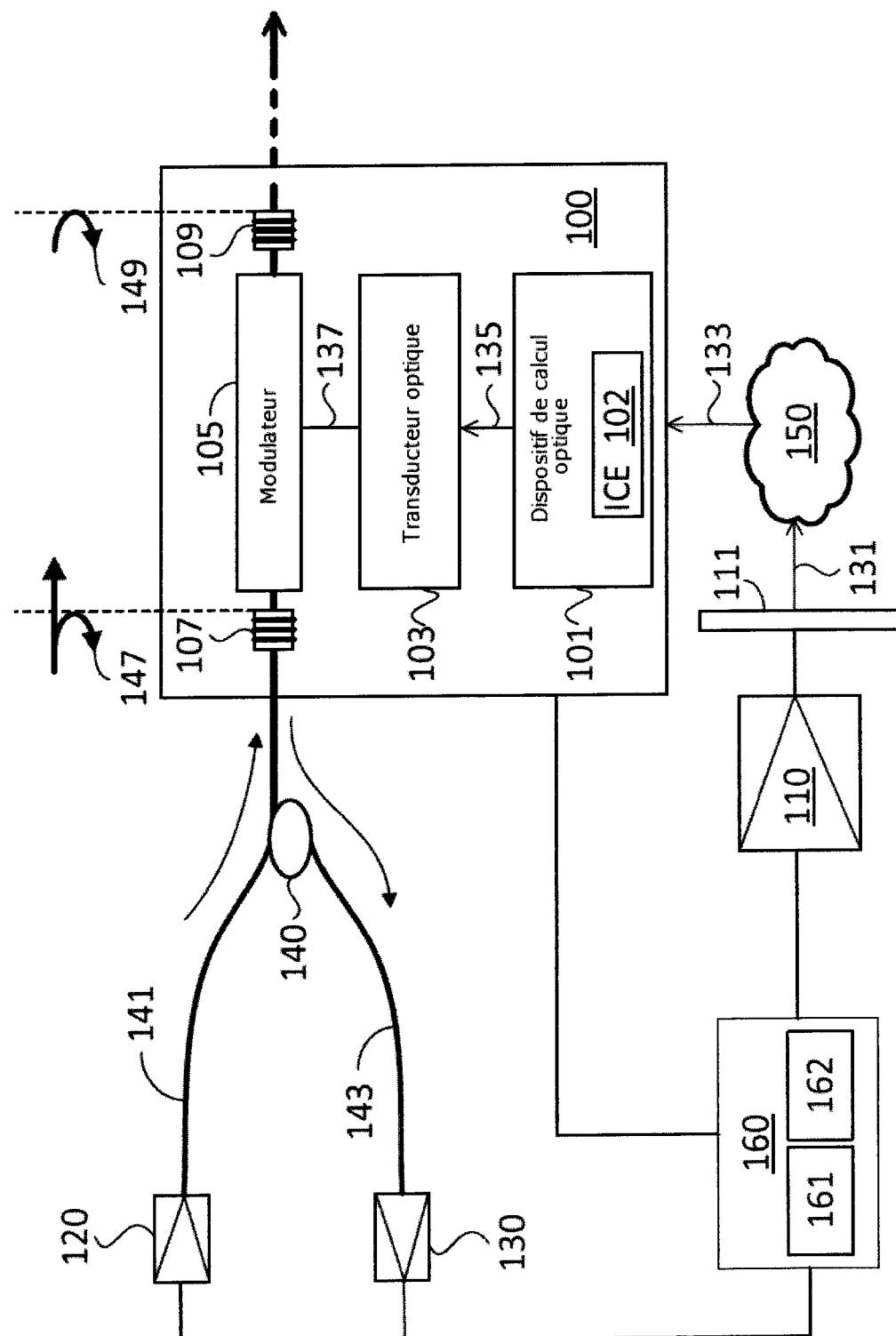


FIG. 1

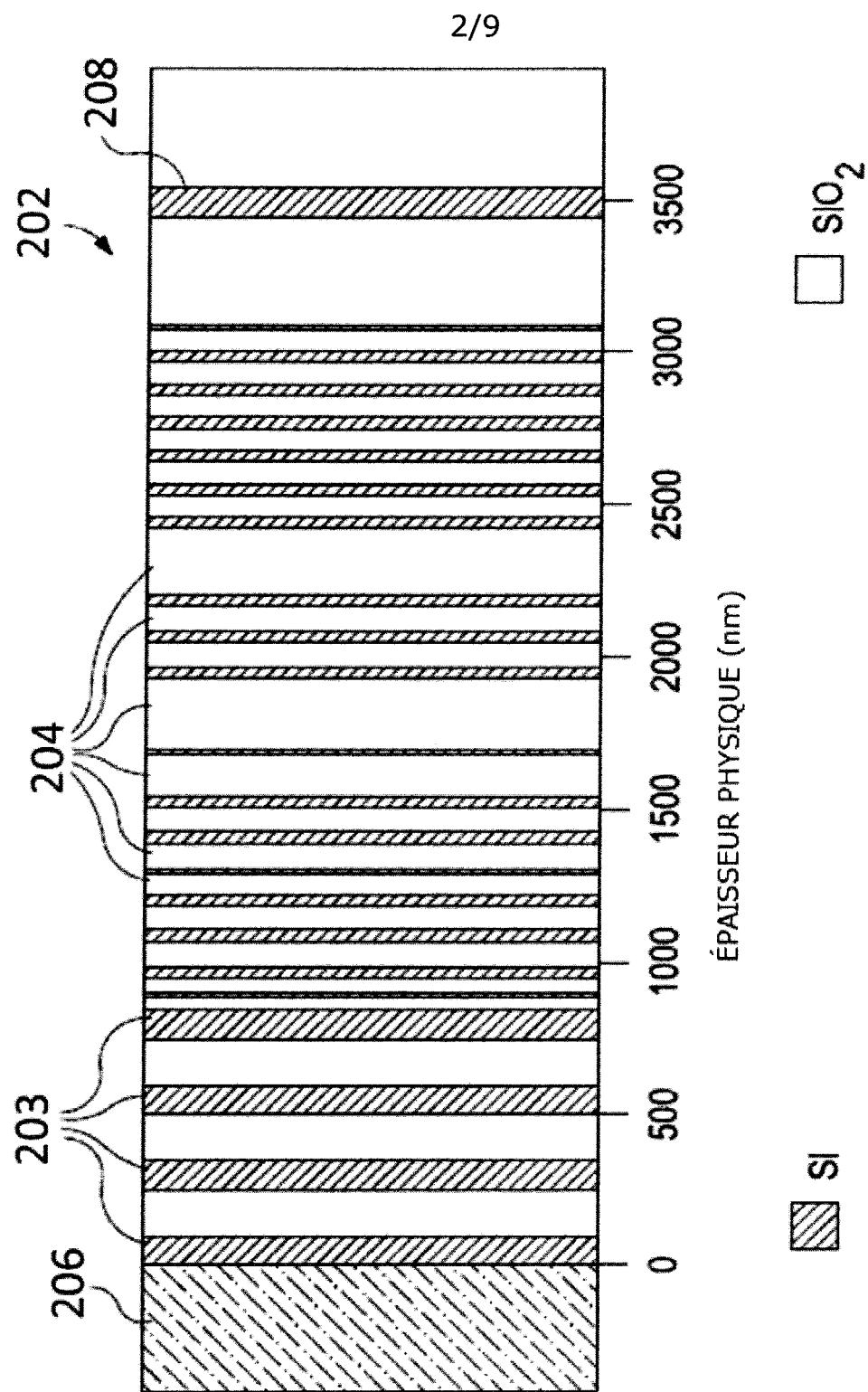


FIG. 2

3/9

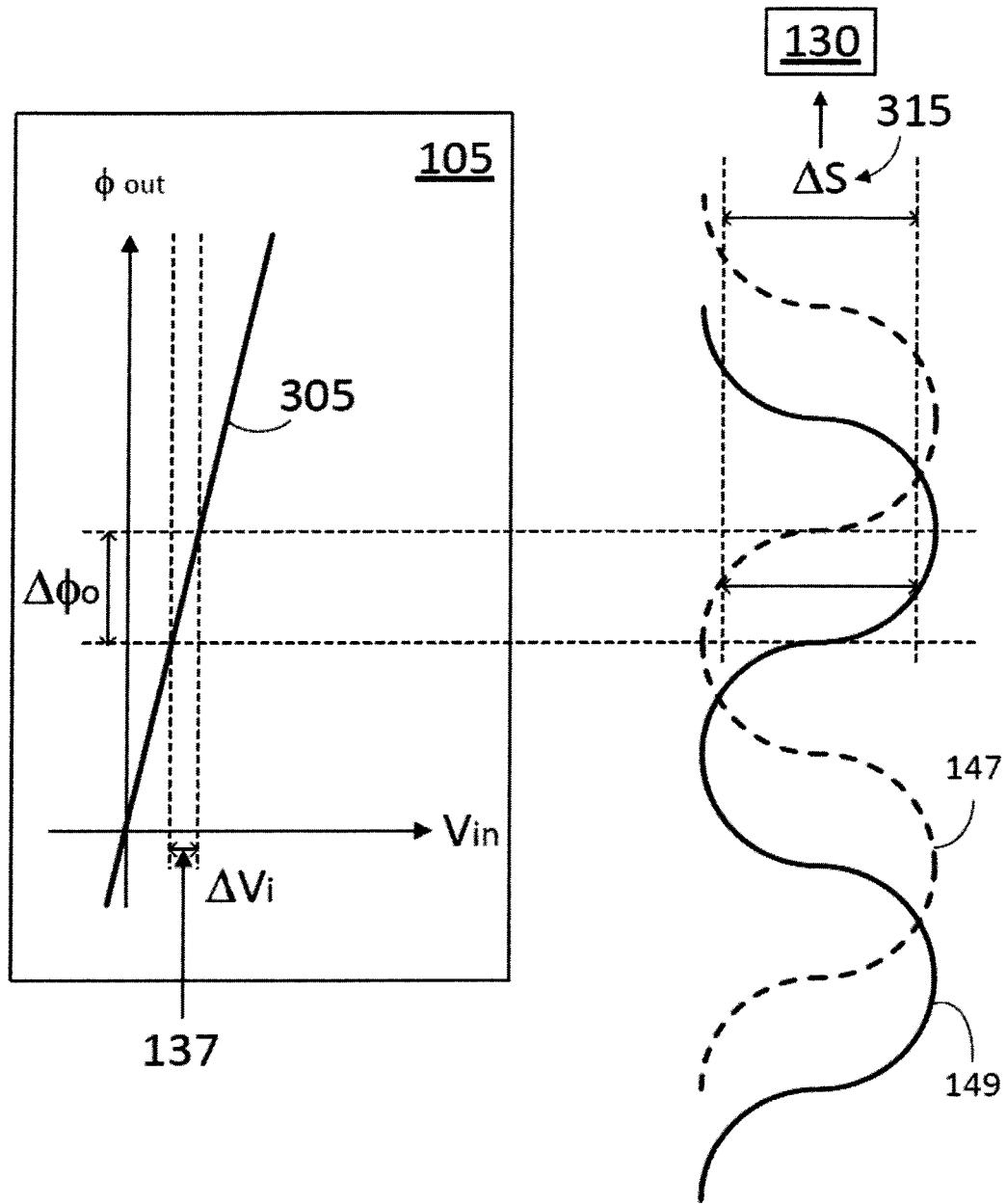


FIG. 3

4/9

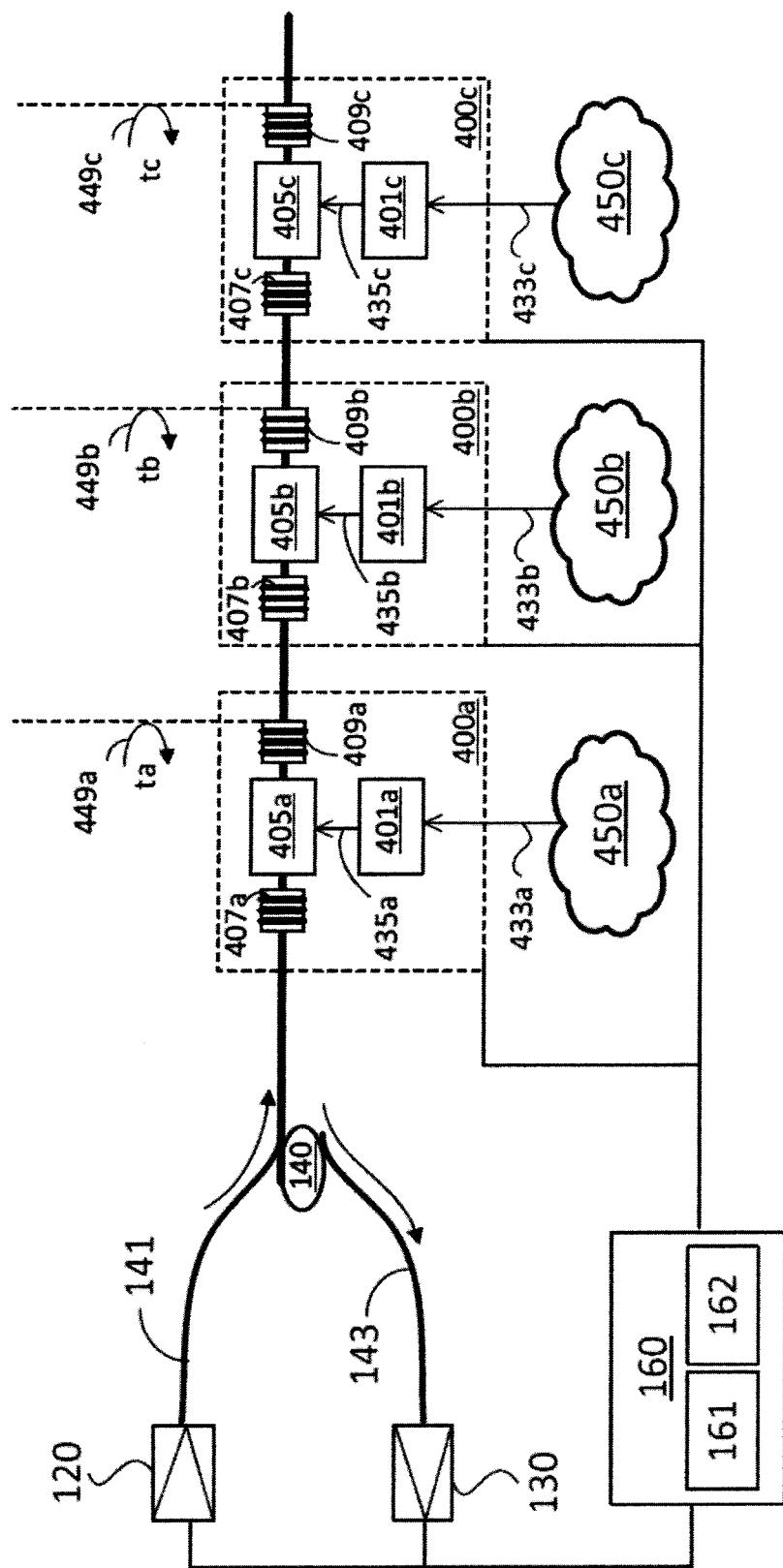


FIG. 4A

5/9

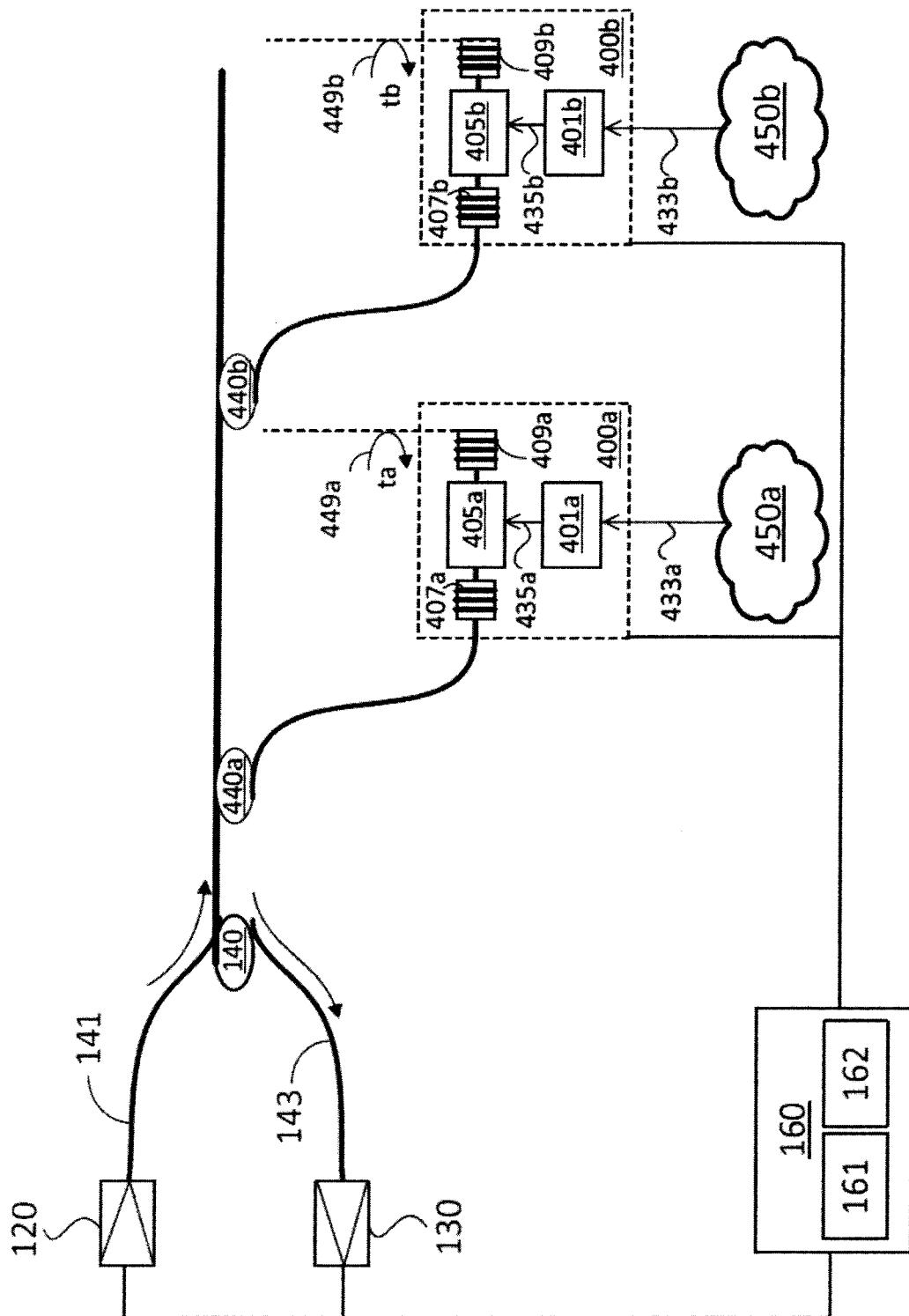


FIG. 4B

6/9

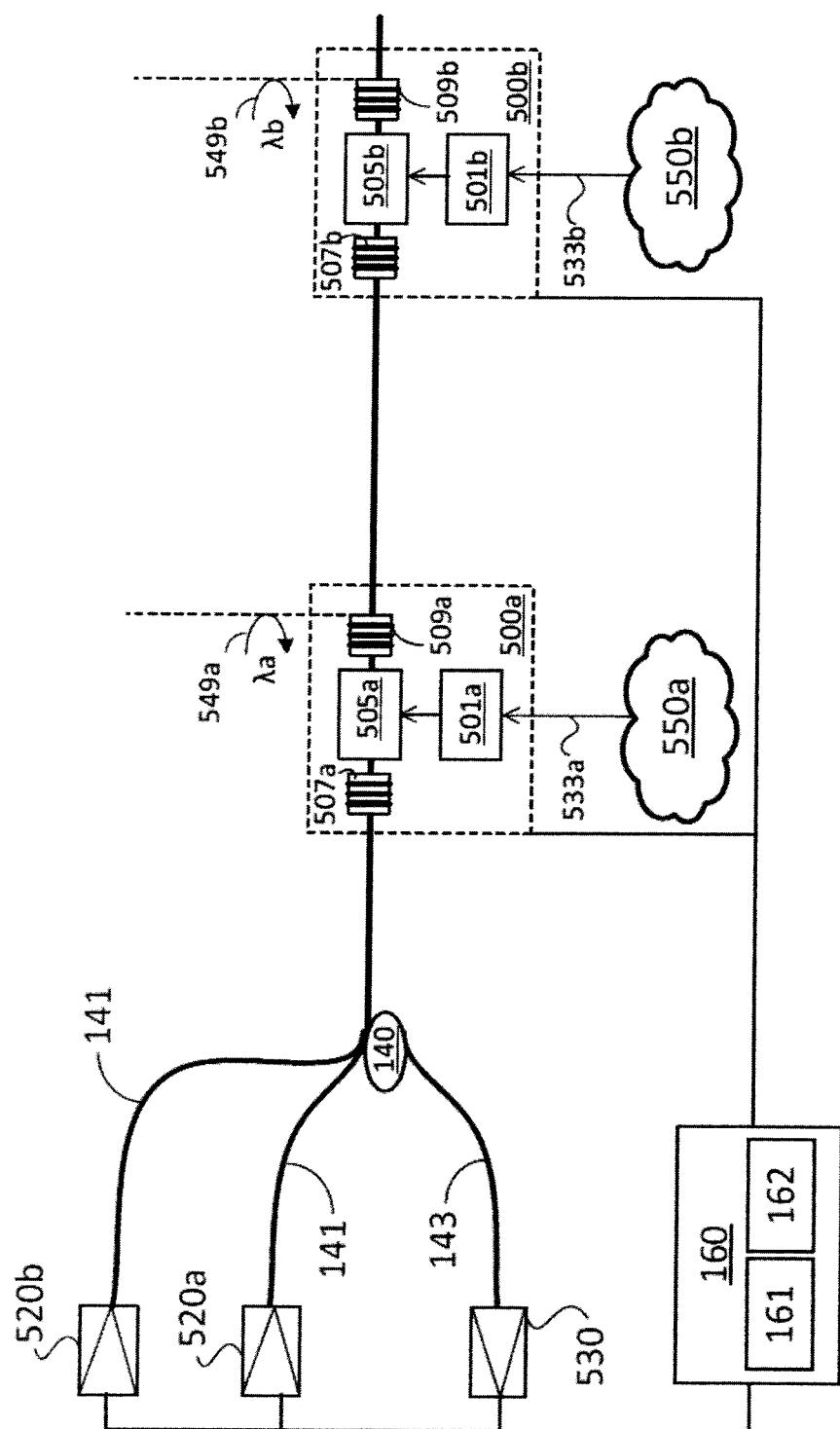


FIG. 5A

7/9

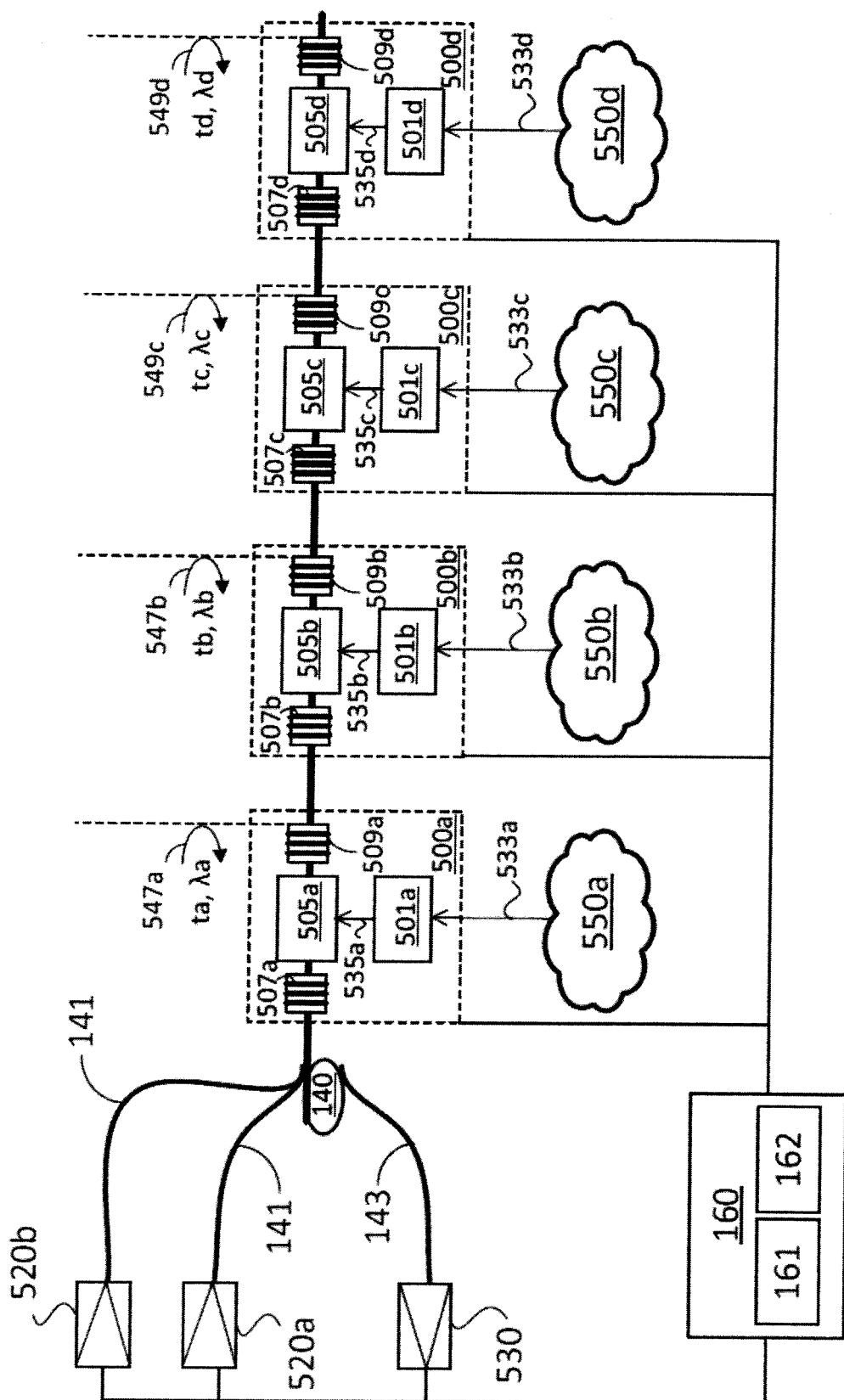


FIG. 5B

8/9

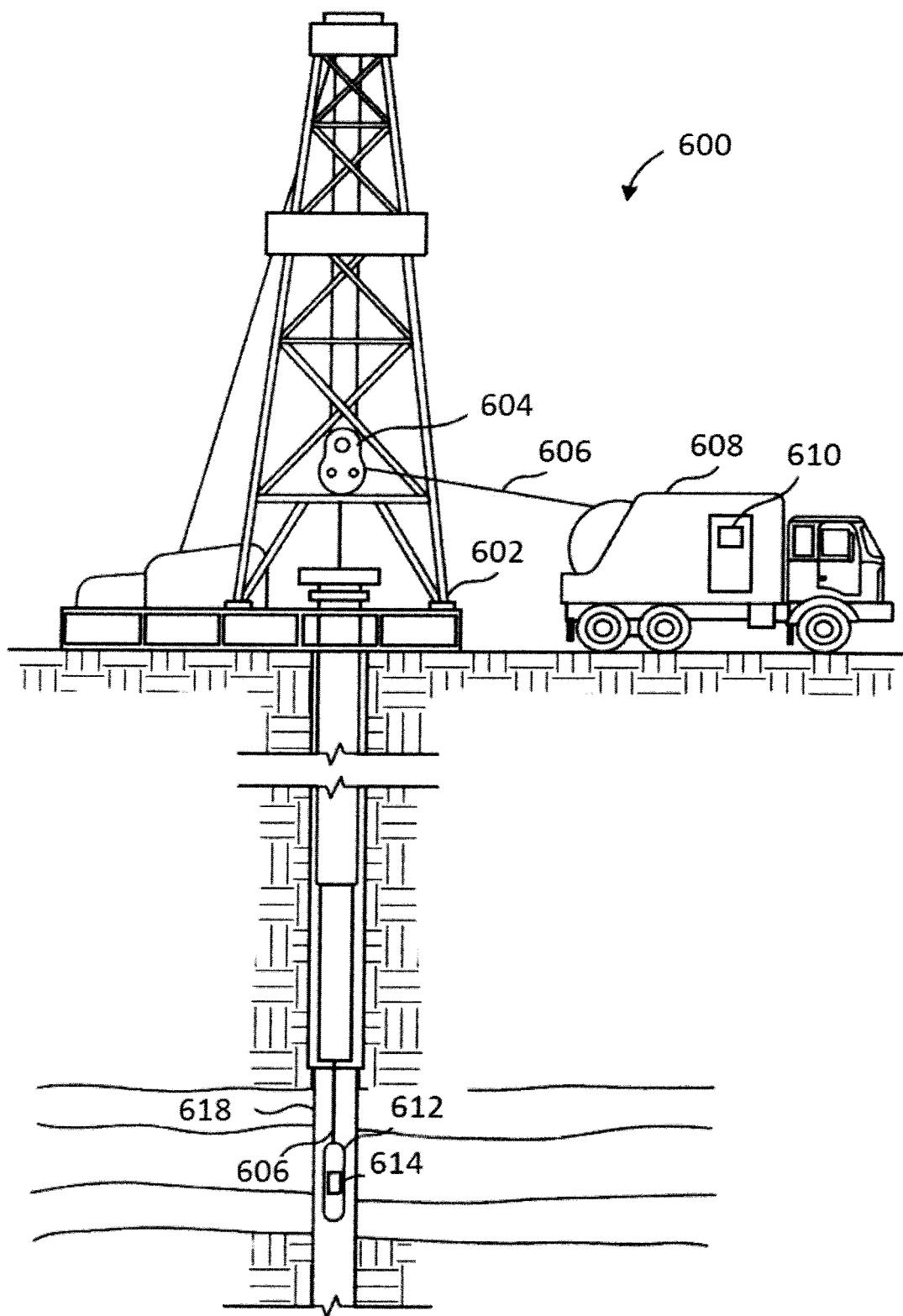


FIG. 6

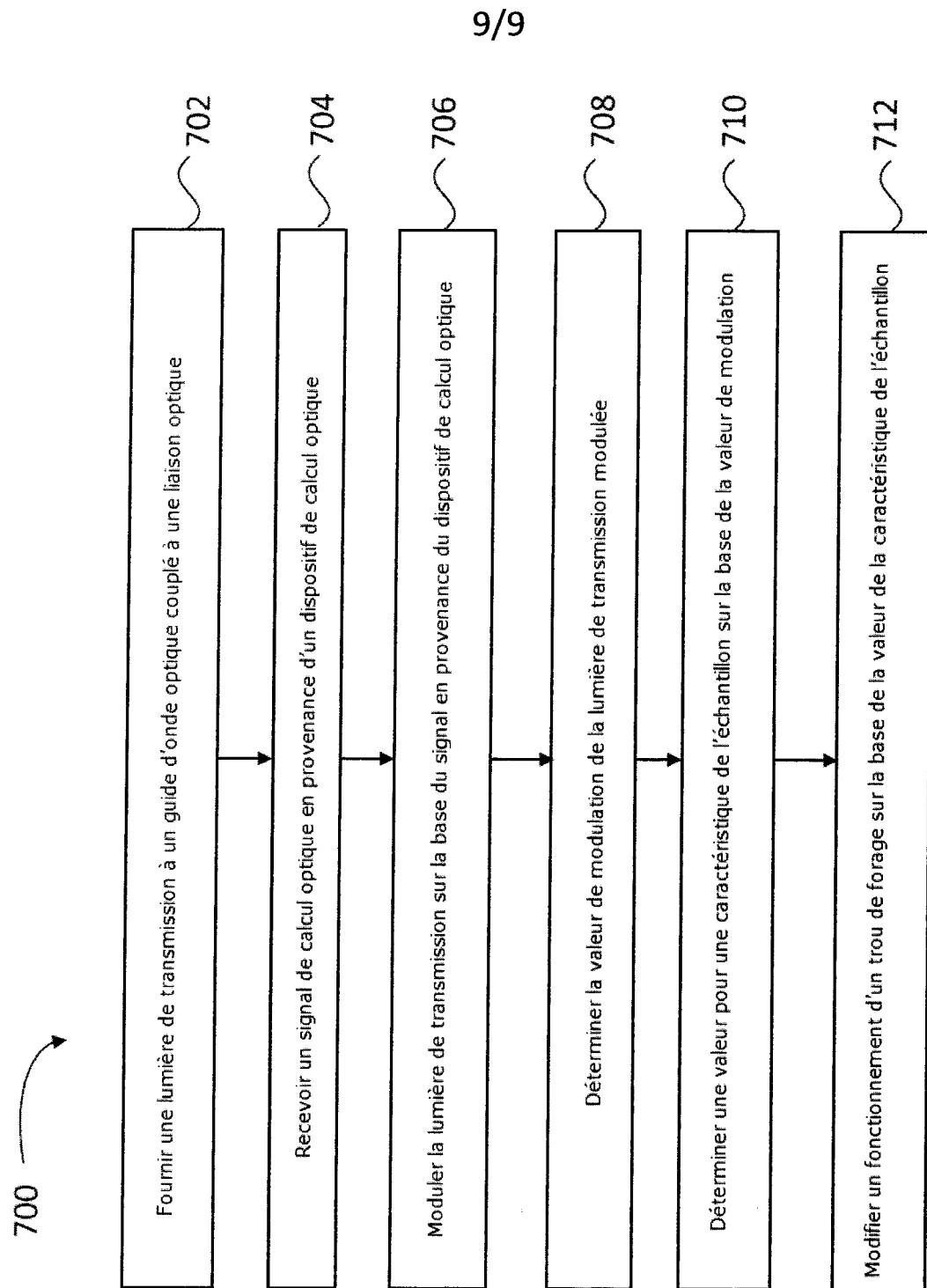


FIG. 7