



(43) Date de la publication internationale
17 décembre 2015 (17.12.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/189286 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G01N 21/65 (2006.01) *G01N 21/71* (2006.01)
G01J 3/443 (2006.01) *G01N 1/04* (2006.01)
G01N 33/24 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2015/062965

(22) Date de dépôt international :
10 juin 2015 (10.06.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
14 55233 10 juin 2014 (10.06.2014) FR

(71) Déposants : **CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES** [FR/FR]; 2, Place Maurice Quentin, F-75039 Paris Cedex 01 (FR). **THARSYS ENERGY** [FR/FR]; 16, chemin de Chantegrillet, F-69110 Sainte Foy-les-Lyon (FR). **UNIVERSITE PAUL SABATIER-TOULOUSE III** [FR/FR]; 118, route de Narbonne, F-31062 Toulouse Cedex 9 (FR). **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE** [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75794 Paris Cedex 16 (FR).

(72) Inventeurs : **SACCOCCIO, Muriel**; 4, rue les Balcons du Lauragais, F-31450 Pompertuzat (FR). **DROMART, Gilles**; 16, chemin de Chantegrillet, F-69110 Sainte Foy-les-Lyon (FR). **MAURICE, Sylvestre**; 8, rue Giuseppe Verdi, F-31500 Toulouse (FR).

(74) Mandataires : **OCVIRK, Philippe** et al.; Office Freylinger S.A., 234, Route d'Arlon, BP 48, L-8001 Strassen (LU).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : SPECTROSCOPIC ANALYSIS DEVICE FOR DRILLING CORES

(54) Titre : DISPOSITIF D'ANALYSE SPECTROSCOPIQUE DE CAROTTES DE FORAGE

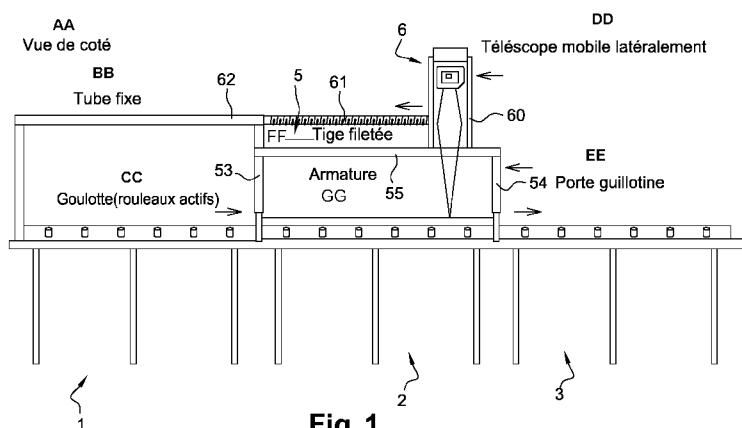


Fig. 1

AA Side view
BB Fixed tube
CC Chute (active rollers)
DD Laterally mobile telescope
EE Guillotine door
FF Threaded rod
GG Reinforcement

(57) Abstract : A spectroscopic analysis device for drilling cores (C), in particular drilling cores for oil, mining or scientific exploration, implementing a method of spectroscopic analysis induced by laser ablation (LIBS), comprises a measurement assembly (6), with optical laser illumination means, linked to a laser source (63), configured to direct at least one laser beam suitable for generating, at a point on the core, the plasma required in order to use the LIBS method, and optical collection means for collecting the light from the plasma. An imaging camera makes it possible to accurately photograph the analysis area and film the analysis (65). At least one spectrometer (93) is linked to the optical collection means. Data processing means are provided to process the signals supplied by the spectrometer(s) and the images supplied by the camera. A core support (7) supports the core on a measuring table, and holds the core in a predefined position. Means (61, 62) make it possible to effect a relative movement between the measurement assembly (6) and the core support (7), in at least the axial direction (A1) of the core, and to position the laser beam, and the optical axis of the optical collection means respectively,

at predefined points on the core. Adjustment means (511) assist the adjustment of the distance between the core support and the measurement assembly.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



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

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

Un dispositif d'analyse spectroscopique de carottes de forage (C), notamment de carottes de forage d'exploration pétrolière, minière ou scientifique mettant en œuvre une méthode d'analyse spectroscopique induite par ablation laser (LIBS), comprend un ensemble de mesure (6), avec des moyens optiques d'illumination laser, reliés à une source laser (63), configurés pour diriger au moins un faisceau laser apte à générer en un point de la carotte le plasma requis pour l'utilisation de la méthode LIBS, des moyens optiques de collecte de la lumière du plasma. Une caméra d'imagerie permet de photographier précisément la zone d'analyse et de filmer l'analyse (65). Au moins un spectromètre (93) est relié aux moyens optiques de collecte. Des moyens de traitement de données sont prévus pour traiter les signaux fournis par le(s) spectromètre(s) et les images fournies par la caméra. Un support de carotte (7) supporte la carotte sur une table de mesure, et pour maintenir la carotte dans une position prédéterminée. Des moyens (61, 62) permettent d'opérer un déplacement relatif entre l'ensemble de mesure (6) et le support de carotte (7), selon au moins la direction axiale (A1) de la carotte, et pour positionner le faisceau laser, respectivement l'axe optique des moyens optiques de collecte, en des points prédéterminés de la carotte. Des moyens de réglage (511) facilitent le réglage de la distance entre le support de carotte et l'ensemble de mesure.

DISPOSITIF D'ANALYSE SPECTROSCOPIQUE DE CAROTTES DE FORAGE

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un dispositif d'analyse
5 spectroscopique de carottes de forage, notamment de carottes de forage
d'exploration pétrolière, minière, ou scientifique, par une méthode d'analyse
spectroscopique induite par ablation laser, qui sera désignée par la suite par la
terminologie couramment utilisée de méthode « LIBS » pour «Laser Induced
Breakdown Spectroscopy».

10 [0002] Selon cette technique, un laser à énergie élevée et impulsions
courtes est utilisé pour vaporiser et ioniser une petite quantité de matériau pour
son analyse. Le matériau vaporisé, ou le plasma de rupture induit au laser,
produit une émission optique forte. L'analyse spectroscopique de l'émission
optique donne des informations concernant la composition chimique du
15 matériau analysé.

Etat de la technique

[0003] L'analyse LIBS qui constitue une technique d'analyse rapide, sans
contact, et sans préparation d'échantillon, a été proposée dans divers
domaines, et a trouvé également application en géologie. Dans ce domaine,
20 rien ne vaut l'analyse in situ ou, à défaut, l'analyse déportée d'échantillons
collectés, pour réellement identifier et quantifier précisément les matériaux
présents, et donc évaluer l'intérêt réel d'un ou de plusieurs site(s).

[0004] La démarche à l'ancienne du géologue parcourant le terrain existe
encore. Elle est souvent complétée par des prélèvements d'échantillons pour
25 des analyses poussées en laboratoire, utilisant des instruments non mobiles. Le
processus entre l'exploration, la sélection, la collecte, le transport puis l'analyse
des échantillons est donc très long et coûteux.

[0005] On connaît par exemple des dispositifs d'analyse LIBS sur des matériaux se présentant sous différentes formes, mais en versions de laboratoire sur des échantillons de petites dimensions, comme enseigné notamment par CN102692399 ou US2009/0273782. D'autres, destinés à l'analyse séquentielle ou continue de matériaux en grains ou poudre en vrac, 5 tels que décrits notamment dans WO2012/40769 ou US 6,771,368, comportent des moyens tels qu'une bande transporteuse pour faire passer le matériau en défilement devant l'ensemble de mesure.

[0006] Depuis quelques années, des spectromètres LIBS ont été développés en version portable, permettant au géologue d'aller analyser, 10 directement sur le terrain, quelques échantillons de son choix. Même si cette technique est pratiquement la seule qui permet des analyses chimiques in situ, directement sur le terrain, elle n'est pas répandue en géologie de terrain, car elle est longue et coûteuse à mettre en œuvre. Il faut déporter une source de recharge d'énergie, les conditions atmosphériques et d'exposition des roches 15 en surface ne sont pas toujours favorables, et enfin elle ne permet pas d'assurer a priori un positionnement précis de la zone soumise à l'analyse.

[0007] Toutefois de tels spectromètres LIBS portables, qui peuvent prendre la forme d'un pistolet manipulé par le géologue et positionné au droit de 20 la zone à analyser, sont intéressants dans un contexte exploratoire ponctuel. Mais ils ne conviennent pas pour une analyse systématique et régulière requise par exemple pour l'analyse de carottes de forage, afin d'évaluer le potentiel d'un site en vue d'une possible exploitation.

Le US 2013/024531 et le US 2009/091745 décrivent des méthodes 25 d'analyse spectroscopique mettant en œuvre la technique LIBS.

Problème à résoudre

[0008] L'invention a pour but de proposer un dispositif d'analyse LIBS adapté pour l'analyse de la composition d'une carotte de forage, et en particulier adapté pour un traitement systématique et reproductible avec une 30 grande précision. L'invention vise de manière générale à permettre une acquisition par spectroscopie de type LIBS de données de géochimie

élémentaire de carottes de forages des sous-sols géologiques, et en particulier à permettre une acquisition de profils géochimiques verticaux, à haute résolution et espacement régulier, dans de telles carottes.

- [0009] Elle vise aussi à permettre une telle analyse sur une pluralité de carottes, pour assurer une comparaison et/ou une corrélation plus efficace entre des carottes issues de différents forages voisins. Elle vise encore à faciliter l'analyse de nombreuses carottes en automatisant les procédures d'analyse.

Description générale de l'invention

- 10 [0010] Afin de résoudre les problèmes mentionnés ci-dessus et d'atteindre les objectifs visés, la présente invention a pour objet un dispositif d'analyse spectroscopique de carottes de forage, notamment de carottes de forage d'exploration pétrolière, minière, ou scientifique, mettant en œuvre une méthode d'analyse spectroscopique induite par ablation laser (LIBS).

- 15 [0011] Selon l'invention, le dispositif comprend :

- un ensemble de mesure, comportant
 - une caméra d'imagerie, de préférence à haute résolution, permettant notamment de localiser et identifier la zone de mesure, de connaître son aspect, de localiser les points de mesures, et d'enregistrer des photographies des zones analysées et/ou des films des analyses.

- des moyens optiques d'illumination laser, reliés à une source laser, configurés pour diriger un (ou des) faisceau(x) laser apte(s) à générer en un ou plusieurs point(s) de la carotte le plasma requis pour l'utilisation de la méthode LIBS ;

- 25 - des moyens optiques de collecte de la lumière du plasma ;

- au moins un spectromètre recevant la lumière du plasma collectée par les moyens optiques de collecte, par exemple via une fibre optique. Ledit au moins un spectromètre permet la mesure de l'intensité des raies spectrales correspondant à chacun des composants de la cible, une analyse de plusieurs

bandes spectrales en parallèle pouvant également se faire au moyen d'un démultiplexeur et de plusieurs spectromètres.

- des moyens de traitement de données pour traiter les signaux/spectres fournis par le(s) spectromètre(s) et les images fournies par la
5 caméra ;

- un support de carotte pour supporter la carotte sur une table de mesure, de préférence avec sa direction longitudinale orthogonale à l'axe optique de l'ensemble de mesure, et pour maintenir la carotte dans une position prédéterminée,

10 - des moyens pour déplacer relativement l'ensemble de mesure par rapport au support de carotte, selon au moins la direction axiale de la carotte, et pour positionner l'axe optique de l'ensemble de mesure en des points prédéterminés de la carotte,

- et de préférence des moyens de réglage de la distance entre le
15 support de carotte et l'ensemble de mesure.

[0012] Grâce aux moyens de support et de positionnement de la carotte, et aux moyens de positionnement (relatifs) de l'ensemble de mesure par rapport au support de carotte, le dispositif selon l'invention permet d'effectuer des analyses LIBS de carottes de forage en des points précisément déterminés
20 de la carotte. Il permet donc de connaître la composition d'une carotte de forage avec une grande précision selon notamment la direction axiale de la carotte. De plus, ces moyens permettent d'assurer une bonne répétabilité des mesures pour des mesures effectuées sur diverses carottes.

[0013] L'invention fournit ainsi un dispositif d'acquisition par spectroscopie
25 de type LIBS de données de géochimie élémentaire de carottes de forages, et en particulier une acquisition de profils verticaux (logs). Le dispositif fournit alors au géologue : la position relative de l'ensemble de mesure par rapport à la carotte, les données de mesure LIBS correspondantes, et les images contextuelles fournies par la caméra à haute résolution. Les données de
30 chaque carotte sont utilisées pour reconstruire le log vertical.

[0014] Le dispositif selon l'invention permet aussi le contrôle du contexte textural de l'échantillonnage, sur un matériau rocheux qui n'est pas homogène, par la caméra qui permet de positionner a priori l'échantillonnage et de contrôler a posteriori le point effectif d'échantillonnage.

5 [0015] La connaissance du contexte textural de l'analyse, et notamment de la taille de grain, permet d'optimiser l'analyse LIBS, en connaissance du point d'impact. En effet, lorsque la taille de grain est inférieure à celle du spot laser incident, le spot laser va ablater à la fois des grains et les ciments aux joints de grains, donnant une composition élémentaire dite "bulk" (volume total)
10 sans distinction possible. La distinction grains ciment devient possible dès que la taille de grains est supérieur à celle du spot laser incident sur l'échantillon.

[0016] Par exemple, une taille de spot laser conventionnel pour du LIBS est de l'ordre de 350 à 500 microns, ce qui correspond à une granulométrie de sables moyens, et se trouve à la transition entre les roches mères / réservoirs
15 compacts et les réservoirs conventionnels.

[0017] Dans le contexte particulier des forages d'exploration pétrolière, on aura donc:

1) pour les roches-mères à hydrocarbures et les réservoirs compacts non conventionnels (argilites, siltites, grès fins), les compositions de volume
20 d'éléments tels que l'hydrogène, le carbone, ou encore indirectement des métaux comme le vanadium, le molybdène ou le zinc, qui fourniront des indications sur les teneurs en place des hydrocarbures de la carotte;

2) pour les réservoirs conventionnels à hydrocarbures (sables grossiers, conglomérats), la distinction possible la composition élémentaire des grains de
25 celles des ciments par exemple permet d'obtenir des informations sur la qualité pétrophysique des réservoirs (e.g. absence ou faible représentation du calcium et du soufre confirment absence de ciments carbonatés et sulfatés ayant pu obturer la porosité de la roche).

[0018] Les documents connus de l'état de la technique, et notamment
30 US 2013/024531 et US 2009/091745, ne décrivent aucun système conçu pour

l'analyse de carottes de forage ni prenant en compte l'hétérogénéité de tels échantillons.

[0019] En outre, comme explicité ci-après, le présent dispositif a la capacité, selon une variante préférée, de réaliser plusieurs tirs séparés spatialement dans une même position de l'ensemble de mesure, ce qui permet, en une séquence de mesure, d'obtenir une meilleure idée de l'hétérogénéité de la zone d'analyse.

[0020] On notera encore que l'utilisation de la méthode LIBS pour analyser des carottes de forage d'exploration pétrolière permet de détecter les éléments géochimiques légers tels l'hydrogène et le lithium.

[0021] Le terme « carotte de forage » tel qu'il est utilisé ici couvre tous éléments rocheux de forme oblongue ou cylindrique, naturels ou reconstitués, issus d'une opération de forage. En particulier, le terme « carotte de forage » englobe les carottes pleines (dites « pleine taille »), ainsi que des coupes longitudinales (« SLAB ») de telles carottes, et également des carottes reconstituées (notamment dans de la résine), des carottes formées de déblais de forage (« CUTTING ») encapsulés dans de la résine, ainsi que des coupes longitudinales de celles-ci.

[0022] Concernant les déblais de forage, on vise notamment les morceaux de roches arrachés par le trépan en forage destructif - non-carotté - et remontés en surface par les boues de forage. Ces déblais peuvent être lavés, séchés, inclus dans une résine ; cet ensemble solidifié peut être ensuite coupé en tranches qui peuvent être disposées dans le présent dispositif pour analyse.

[0023] L'homme du métier pourra employer toutes sortes de mécanismes appropriés pour réaliser les moyens de déplacement relatif entre l'ensemble de mesure et la carotte, optant selon les cas pour un déplacement de la carotte, de l'ensemble de mesure, ou les deux. Pour des raisons de compacité il est préférable de laisser la carotte fixe pendant l'analyse, et de déplacer l'ensemble de mesure.

[0024] De préférence, l'ensemble de mesure est configuré pour permettre un déplacement du point de mesure sur la carotte, sans mouvement relatif,

dans la direction axiale, entre l'ensemble de mesure et la carotte. A cet effet, l'ensemble de mesure peut comprendre des moyens pour déplacer le faisceau laser ou pour répartir le rayonnement laser en plusieurs faisceaux, sur une distance par exemple d'un ou plusieurs cm, ce qui permet de prendre une série
5 de points de mesures séparés par une distance de 1 à 10 mm par exemple. On peut ainsi réaliser plusieurs points de mesure séparés pour une position de mesure axiale définie par la position relative carotte / ensemble de mesure. Ceci permet d'évaluer plus rapidement l'hétérogénéité de la zone analysée. Le principe d'acquisition de plusieurs points de mesures pour une même position
10 axiale est ci-après appelé « matriciel ».

[0025] Plusieurs possibilités peuvent être envisagées pour déplacer le point de mesure longitudinalement et/ou latéralement sur la carotte et analyser l'hétérogénéité d'une même zone de mesure. Une première possibilité consiste à déplacer le laser par déviation du faisceau au moyen d'un miroir pivotant.
15 Cette solution est la plus simple et la plus flexible, car le nombre de positions et l'écartement peuvent être facilement programmés. Dans une procédure de tirs séquentielle, la discrimination des différents points de mesure peut se faire simplement de façon temporelle : il suffit d'enregistrer le moment des tirs, la logique de définition des différents points de mesure, et le moment
20 d'enregistrement des spectres pour remonter aux spectres de chaque point de mesure. On peut alors réaliser successivement des mesures en plusieurs points de la carotte (déterminés par les différentes positions du faisceau laser), avec un seul dispositif de collecte et d'analyse spectrale (focalisé sur chacun des points de mesure), et sans changer de position globale de visée du
25 dispositif d'analyse sur la carotte.

[0026] Alternativement, on peut prévoir au niveau de l'ensemble de mesure, un répartiteur de faisceau, système optique planaire ou bien à base de composants optiques discrets ou de fibres optiques par exemple, permettant de produire plusieurs faisceaux lasers (parallèles ou non). Ces faisceaux émergent
30 de l'ensemble de mesure et suivent chacun des chemins respectifs et distincts de l'ensemble de mesure à la cible, pour former des points de mesure espacés par exemple de 1 à 10 mm. Les moyens de collecte sont configurés pour

acheminer la lumière du plasma de chaque point de mesure vers le(s) spectromètre(s). On peut alors réaliser simultanément ou successivement des mesures en plusieurs points (déterminés par les faisceaux laser), sans changer de position axiale pour la tête de mesure. Pour activer successivement chaque

5 voie de mesure, la direction du faisceau laser source peut être choisie à l'aide d'un moyen de déviation associé, par exemple un miroir en entrée du répartiteur de faisceau, pour amener celui-ci successivement vers chaque chemin optique d'illumination de la cible. On peut alors discriminer les spectres de chaque point de mesure par leurs dates d'enregistrement et le séquentiel de

10 séquençement des tirs entre les différents points. Un même spectromètre par bande peut être utilisé pour par exemple 4 points de mesure en utilisant des détecteurs CCD.

[0027] Alternativement encore, on peut utiliser un dispositif de collecte et d'analyse spectrale adapté pour une discrimination spatiale de la lumière

15 collectée. Une possibilité est d'envoyer la lumière des différents plasmas dans une zone d'analyse vers un groupe de fibres optiques accolées, chaque fibre recevant finalement la lumière d'une sous région de la zone d'analyse comprenant un seul point d'analyse. Prenons le cas, par exemple, de 4 points de mesure sur lesquels on procède à des tirs simultanés. Le moyen de collecte

20 comprend un dispositif optique permettant de focaliser chacun des plasmas obtenus sur un groupe de 4 fibres optiques (par exemple), sur lesquelles la lumière collectée est envoyée ; chacune des fibres représente donc une voie de collecte à laquelle correspond une sous-région du champ de vision et d'analyse, et un point de mesure. Chaque fibre doit amener la lumière collectée

25 vers le(s) spectromètre(s) et doit être associée à une zone spécifique du détecteur, typiquement une matrice CCD, pour discriminer les spectres relatifs à chaque point. Les spectromètres étant préférentiellement déportés de la tête de mesure, les différentes fibres peuvent être réunies en un seul câble (fiber bundle) pour la transmission des signaux vers la zone d'analyse spectrale. On

30 sépare ensuite à nouveau les signaux de chaque point de mesure au niveau de la zone d'analyse spectrale par des dispositifs optiques adaptés. Le câble amène les 4 signaux (par exemple) vers le spectromètre unique, ou

respectivement vers un démultiplexeur pour séparer les différentes bandes spectrales de chaque point, puis les injecter dans un autre câble qui les amènent vers les spectromètres. Chaque spectromètre (un par bande spectrale) analyse enfin, sur son détecteur CCD, les 4 faisceaux réarrangés
5 pour être alignés le long de la fente d'entrée. La discrimination se fait par la zone du CCD couverte par chacun des faisceaux en veillant à éviter le mélange des signaux.

[0028] Enfin, on peut envisager des voies de collectes et d'analyse spectrale intégralement séparées spatialement, configurées pour associer une
10 (seule) voie de collecte et d'analyse spectrale indépendante à un point de mesure (donc à un faisceau laser). Ceci garantit une meilleure isolation des signaux entre eux mais alourdit les dispositifs de collecte et d'analyse spectrale par rapport aux solutions précédentes, rendant le système moins compact et plus complexe.

15 [0029] Dans tous les cas, les différents points de mesure doivent tous être dans le champ de vision de la caméra et les moyens de collecte doivent maximiser la collecte de chaque plasma. Grâce aux moyens de réglage de la distance entre le support de carotte et l'ensemble de mesure, le dispositif peut s'adapter à des dimensions transversales, donc des diamètres de carottes très
20 divers, pour assurer un préréglage de la position de l'ensemble de mesure par rapport à la carotte, un réglage plus fin des paramètres de tir laser et de la prise d'image pouvant être effectué par des réglages propres de l'ensemble de mesure.

[0030] Préférentiellement, le support de carotte comporte un convoyeur, typiquement à rouleaux motorisés, pour porter la carotte à analyser et la
25 déplacer axialement pour l'amener dans la position requise face à l'ensemble de mesure. Une butée axiale pourra être prévue pour définir une même position axiale des différentes carottes à analyser.

[0031] Selon un premier mode de réalisation, le convoyeur comporte une
30 pluralité de rouleaux fixes en position sur la table de mesure, les rouleaux étant disposés avec leurs axes inclinés pour former un vé de centrage de la carotte,

et certains au moins des rouleaux étant motorisés pour assurer le déplacement de la carotte axialement.

[0032] Selon un deuxième mode de réalisation, le convoyeur comporte une goulotte de support et de centrage sur lequel la carotte est immobilisée, et
5 la dite goulotte est déplaçable sur la table de mesure, guidée en translation selon la direction axiale de la carotte, de manière à assurer une concordance de position entre la carotte et l'ensemble de mesure, quelle que soit leur position relative selon ladite direction axiale.

[0033] Selon une disposition préférentielle, le dispositif comporte
10 successivement une table d'amenée des carottes, la table de mesure prémentionnée, portant l'ensemble de mesure et le support de carotte, et une table d'évacuation des carottes, les trois tables précitées formant un ensemble modulaire dans lequel les tables peuvent être assemblées, puis séparées et réassemblées aisément. Une telle réalisation modulaire facilite grandement
15 l'utilisation du dispositif qui peut ainsi, notamment lors de carottages d'exploration minière, pétrolière ou scientifique, être facilement monté à proximité d'un site de carottage, puis démonté et déplacé pour être utilisé sur un autre site.

[0034] La table d'amenée et la table d'évacuation comportent chacune
20 une pluralité de moyens de convoyage de carotte, déplaçables selon une direction transversale à la direction longitudinale du support de carotte de la table de mesure pour être alignés avec ledit support de carotte, chacun de ces moyens de convoyage comportant des moyens de translation de carotte, pour déplacer une carotte portée par un moyen de convoyage de la table d'amenée
25 vers le support de carotte de la table de mesure, ou déplacer une carotte portée par ledit support de carotte vers un moyen de convoyage de la table d'évacuation.

[0035] Selon le mode de réalisation choisi, ce sera donc la carotte seule
30 qui sera déplacée de la table d'amenée vers le support de carotte de la table de mesure, puis de cette dernière vers la table d'évacuation, ou bien ce sera la carotte portée par une goulotte de support.

[0036] Quel que soit le mode de réalisation, les moyens de convoyage permettent de charger plusieurs carottes sur la table d'amenée, en attente de réaliser l'analyse successivement sur chaque carotte. De manière similaire, les moyens de convoyage de la table d'évacuation permettent de stocker plusieurs
5 carottes analysées avant de les évacuer par groupe. Ainsi, toutes les opérations de convoyage et de placement des carottes sur la table de mesure en position d'analyse, ainsi que leur évacuation sur la table d'évacuation, peuvent être aisément automatisées.

[0037] Le support de carotte de la table de mesure est préférentiellement
10 situé dans une chambre d'analyse fermée, formant un caisson. Ce caisson comporte une armature, des parois latérales, une porte d'entrée escamotable du côté de la table d'amenée, une porte de sortie escamotable du côté de la table d'évacuation, et un capot supérieur comportant une ouverture longitudinale permettant une communication entre l'ensemble de mesure et la
15 carotte placée à l'intérieur de la chambre d'analyse, pendant le déplacement de l'ensemble de mesure sur toute la longueur de la carotte. La chambre de mesure est fermée pour assurer le confinement du rayonnement laser, empêcher la perturbation, par des lumières de l'environnement, des rayonnements émis lors de l'ablation de matière de la carotte par le laser et des
20 dispositifs de collecte de spectre et d'images, et aussi pour assurer au besoin une climatisation et une dessiccation de la chambre d'analyse. Pour obturer l'ouverture longitudinale, on pourra notamment utiliser des moyens d'obturation déformables de type bandes souples, lors du passage de l'ensemble de mesure, pour permettre la dite communication entre l'ensemble de mesure et
25 l'intérieur de la chambre d'analyse, et revenant ensuite en position d'obturation.

[0038] Avantageusement, l'ensemble de mesure porté par la table de mesure est guidé en translation, selon la direction longitudinale du support de carotte, sur l'armature solidaire de la table de mesure, et des moyens de translation sont prévus, par exemple un système vis-écrou, actionnés par un
30 moteur permettant un positionnement précis de l'ensemble de mesure par rapport à la carotte analysée. La source laser peut être déportée pour limiter/alléger la masse de l'ensemble de mesure, le faisceau laser étant

acheminé vers celui-ci par un système de transmission optique, par exemple à base de fibre optique.

[0039] Le positionnement de l'ensemble de mesure pourra être automatique, par une automatisation des moyens de translation et de positionnement, par exemple incrémental à partir d'une position d'origine, par
5 exemple tous les 2 à 20 cm à partir d'une extrémité de la carotte.

[0040] On appréciera encore que la présence de la caméra permet une observation de la texture de la carotte, qui n'est pas possible à l'œil nu par un géologue utilisant simplement par exemple une version manuelle type pistolet-
10 LIBS. Dans ce contexte, l'opérateur qui aura identifié à l'œil certaines zones de la carotte pourra opérer une séquence de tir sur une zone de son choix, éventuellement déviant de l'axe principal de la carotte.

[0041] Pour ce faire, le dispositif pourra aussi comporter des moyens de déplacement complémentaires pour déplacer l'ensemble de mesure
15 transversalement à la direction longitudinale de la carotte, pour effectuer des analyses de part et d'autre de la génératrice située dans le plan vertical passant par l'axe de la carotte.

[0042] Les moyens de réglage de la distance entre le support de carotte et l'ensemble de mesure peuvent être notamment formés de moteurs agissant sur
20 la hauteur de l'armature.

[0043] Le dispositif selon l'invention comportera aussi préférentiellement des moyens d'automatisation de la commande des moteurs de déplacement de l'ensemble de mesure, la commande du laser et de la caméra, et l'acquisition des résultats de l'analyse LIBS, cette automatisation permettant un pas
25 d'échantillonnage régulier et contrôlé, et donc un traitement ultérieur plus pertinent des données et une comparaison/corrélation plus efficace entre deux forages. Les moyens d'automatisation peuvent également comprendre un module de traitement d'image, par exemple par segmentation graphique, pour identifier automatiquement des zones d'aspect différent et y réaliser des
30 analyses.

[0044] On notera aussi que l'analyse LIBS associée à l'ablation de matière par le laser permet de détecter et de s'affranchir des contaminations de surface. En particulier, le présent dispositif permet une irradiation répétée de la carotte sur le même point de mesure autant que requis, de sorte à atteindre une certaine profondeur de mesure. Dans la pratique, le nombre de tirs lasers pratiqués au niveau d'un point de mesure peut par exemple varier de quelques dizaines à plusieurs centaines, pour atteindre une profondeur de pénétration jusqu'à environ 1 mm. On peut aussi envisager des séquences plus longues, et des profondeurs de pénétration plus importantes, mais d'une part celle-ci est
5 liée au matériau analysé, et d'autre part la mesure peut éventuellement être perturbée par des retombées de matériau de la surface dans le cratère formé. Enfin, la stabilité de la ligne de visée peut être un facteur limitant si le nombre de tirs consécutifs augmente et selon la cadence du faisceau laser.

[0045] Reste encore à noter que le présent dispositif peut être configuré pour intégrer en plus une mesure Raman à une longueur d'onde moitié de celle utilisée pour le LIBS. La mesure Raman peut se faire par les voies de d'illumination et de collecte utilisées pour le LIBS, en les adaptant pour transporter les deux longueurs d'ondes. Alternativement on peut prévoir au niveau de la tête de mesure une voie d'illumination supplémentaire, formant un
15 point de collecte dans le champ de vision et d'analyse, c.-à-d. des moyens de collecte et de la caméra. Selon les configurations, comme expliqué plus haut, la mesure Raman peut se faire simultanément ou séquentiellement par rapport aux mesures LIBS. Très simplement, si l'on travaille en LIBS à 1064 nm, on peut facilement obtenir une source laser adaptée au Raman avec un doubleur de fréquence, le rayonnement Raman ainsi préparé étant injecté sur une voie
20 d'illumination indépendante pour une mesure matricielle.

[0046] Selon un autre aspect, la présente invention concerne également une méthode d'analyse de carottes de forage selon la technique LIBS telle que décrite ci-dessous.

[0047] On propose en particulier une méthode d'analyse de carottes de forage au moyen du présent dispositif d'analyse spectroscopique, qui comprend les étapes suivantes :

- a) installation de la carotte sur le support de carotte;
- 5 b) positionnement de l'ensemble de mesure par déplacement relatif entre l'ensemble de mesure et le support de carotte ;
- c) réalisation d'une séquence de tir laser comprenant l'illumination d'au moins un point de mesure sur la carotte avec un faisceau laser d'analyse LIBS et la collecte du/des plasma(s) généré(s), et enregistrement de l'analyse et/ou
10 du contexte de la zone d'analyse au moyen de la caméra d'imagerie ;
- d) répétition des étapes b) et c) pour acquérir des mesures LIBS en des points prédéterminés selon au moins la direction axiale de la carotte ;
- e) stockage des données d'analyses LIBS en associant les données mesurées aux positions axiale de mesure et aux les enregistrements de la
15 caméra d'imagerie.

[0048] Cette méthode permet la construction un profil vertical correspondant à un forage sur bases des données d'analyse LIBS stockées des carottes de forages, associant données de mesure LIBS aux profondeurs correspondantes et les images des zones d'analyse.

- 20 [0049] Selon une variante, l'ensemble de de mesure comprend des moyens optiques d'illumination aptes à diriger au moins deux faisceaux laser d'analyse LIBS distincts vers la carotte, de sorte à former au moins deux points d'analyse séparés spatialement sur l'échantillon, et les moyens optiques de collecte ont un champ de vision dans lequel se trouvent lesdits au moins deux
25 points de mesure. La méthode peut donc être mise en œuvre de sorte qu' à l'étape c) on réalise un tir sur au moins deux points de mesure séparés spatialement, de manière séquentielle ou simultanée, sans mouvement axial relatif de l'ensemble de mesure par rapport à la carotte.

Brève description des dessins

[0050] D'autres particularités et caractéristiques de l'invention ressortiront de la description d'au moins un mode de réalisation présenté ci-dessous, à titre d'illustration, en se référant aux dessins annexés. Ceux-ci montrent:

5 Fig. 1: une vue de côté de l'ensemble du dispositif selon un premier mode de réalisation :

Fig. 2: une vue de dessus de l'ensemble du dispositif de la Fig.1 ;

Fig. 3: une vue selon une coupe transversale du dispositif de la Fig.1, montrant également l'appareillage électronique associé à l'ensemble de
10 mesure ;

Fig. 4 : un diagramme illustrant un protocole de mesure de carottes ;

Fig. 5-6 : des images de carottes analysées selon la technique LIBS ;

Fig. 7 : une vue selon une coupe transversale d'une deuxième variante du présent dispositif ;

15 Fig. 8 : une vue selon l'axe longitudinal de la carotte d'une troisième variante d'ensemble de mesure utilisable dans le présent dispositif ;

Fig. 9 : a) une vue selon l'axe longitudinal de la carotte d'une quatrième variante d'ensemble de mesure utilisable dans le présent dispositif, et b) une vue des points de mesure obtenus.

20

Description d'une exécution préférée

[0051] Une première variante de la présente invention est illustrée aux figures 1 à 3. Le dispositif d'analyse représenté comporte successivement une table d'amenée 1, une table de mesure 2 et une table d'évacuation 3. Ces
25 tables sont assemblées de manière démontable. Elles sont complétées par des tables d'accessoires, tels qu'une table 41 de commande et de traitement de signal, supportant une unité électronique 91 de commande à processeurs numériques, pour la commande du laser, des différents moteurs et de la caméra, entre autres, ainsi qu'un démultiplexeur 92, et un ou plusieurs

spectromètre(s) 93 de traitement des signaux lumineux provenant de l'ensemble de mesure, et une table 42 portant par exemple un bloc numérique 94 de calcul et de retransmission sans fil par une antenne 95.

[0052] La table de mesure 2 porte un caisson 5, de dimensions adaptées
5 pour contenir une carotte de forage C et ayant donc une forme allongée selon une direction axiale A1 d'une telle carotte. Le caisson 5 comporte une armature 51, des parois latérales 52, une porte d'entrée 53 et une porte de sortie 54, réalisés par exemple sous forme de portes guillottes. Le caisson 5 comporte aussi un capot 55 dans lequel est ménagée une ouverture longitudinale 551
10 obturée par des volets souples déformables 552.

[0053] L'ensemble de mesure 6 est porté par l'armature 51 du caisson 5, guidé en translation sur ladite armature, le déplacement de l'ensemble de mesure 6 étant par exemple réalisé par une tige filetée 61 coopérant avec un tube 62, formant un système vis écrou actionné par un moteur de commande
15 de position de l'ensemble de mesure, non représenté. Ce système vis / écrou commandé par moteur constitue donc un moyen de déplacement axial de l'ensemble de mesure par rapport à la carotte, qui reste en position dans la chambre de mesure. Dans un protocole de mesure typique, l'ensemble de mesure est déplacé le long de la carotte pour prendre des mesures le long de la
20 carotte, avançant de préférence à pas constant. Il est ainsi aisé de prendre des mesures de manière fiable et reproductible sur des carottes de forage, ce qui permet de construire le profil vertical de la roche correspondant au forage avec une bonne précision le long de l'axe de forage.

[0054] L'armature 51 comporte aussi avantageusement des moteurs 511
25 permettant de modifier l'altitude de l'ensemble de mesure par rapport à la table de mesure 2 et donc d'adapter cette altitude en fonction du diamètre de la carotte C. Cet ajustement de hauteur peut se faire manuellement par l'opérateur, ou de manière automatisée, par détection de la distance entre l'ensemble de mesure et la carotte, ce qui peut par exemple se faire soit par
30 détecteur dédié ou par exemple par un système autofocus de l'ensemble de mesure.

[0055] L'ensemble de mesure 6 comporte de manière générale :

- des moyens optiques d'illumination (ou d'irradiation) laser, reliés à une source laser 63 (qui peut aussi être déportée et reliée par fibre optique), configurés pour diriger un faisceau laser apte à générer en un point de la carotte le plasma requis pour l'utilisation de la méthode LIBS, ou
5 respectivement configurés pour générer plusieurs faisceaux lasers différents pour former plusieurs points de mesure spatialement distincts sur la carotte ;
- des moyens optiques de collecte (60) de la lumière du ou des plasma(s) ; et
- 10 - une caméra d'imagerie 65, notamment pour prendre des images et vidéos couleur haute résolution.

[0056] Dans la présente variante, l'ensemble de mesure 6 comprend préférablement un ensemble optique, appelé télescope 60, qui peut être par exemple construit à la manière du télescope de la suite instrumentale
15 ChemCam équipant le Rover martien *Curiosity* de la NASA (mission Mars Science Laboratory), voir notamment l'article paru dans le périodique *Space Science Reviews*, no. 170, 2012 : *The ChemCam Instrument suite on the Mars Science Laboratory (MSL) Rover: Science objectives and Mast Unit* par Maurice, S., Wiens, R., Saccoccio, M., ou bien adapté de celui-ci.

20 [0057] Cet ensemble optique, appelé télescope 60, est conçu pour focaliser le(s) faisceau(x) laser (et ainsi créer un (respectivement des) plasma(s)) et capturer la lumière du ou des plasma(s) et l'image du contexte, le long d'un même axe optique.

[0058] Le télescope 60 comporte donc un ou plusieurs sous-ensembles
25 optiques ou optoélectroniques agencés pour :

- focaliser le faisceau laser sur un point de la surface de la carotte analysée, par exemple au moyen d'un miroir mobile assurant la fonction d'auto-focus. On peut également prévoir un système de focalisation

5 automatique comprenant un dispositif automatique de collecte et mesure du signal renvoyé par la zone d'analyse vers un capteur, un critère définissant la meilleure position de focalisation, et une boucle rétro-active permettant de sélectionner automatiquement la position du dispositif de réglage de la focalisation.

10 - collecter les émissions spectrales du plasma généré. Cela se fait en focalisant la lumière captée par le télescope sur un moyen de transmission d'analyse spectrale de lumière. Ainsi, à l'arrière du télescope, l'essentiel de la lumière captée est refocalisé sur l'extrémité 64 d'une fibre optique 641 (ou un ensemble de fibres optiques). Une lame dichroïque 66 permet de différencier les voies émission (laser) et collecte (plasma) empruntées par les signaux au travers du télescope.

15 - obtenir par la caméra 65 une image de la zone englobant le point d'impact du laser, avant et après l'action du laser. Pour ce faire, on peut par exemple utiliser une lame dichroïque pour envoyer une fraction de la lumière collectée par le télescope en direction de la caméra, qui peut comprendre un Dispositif de Transfert de Charges (capteur CCD).

[0059] Dans la présente variante, la source laser 63 est directement montée sur l'ensemble de mesure 6 et connecté au télescope 60. Elle peut être 20 déportée à l'extérieur de celui-ci, sur une partie fixe du dispositif, afin de limiter la masse de la partie mobile. Dans ce cas, le raccordement entre la source laser et l'ensemble de mesure peut se faire préférentiellement par fibre optique.

[0060] La lumière collectée est transmise par la fibre optique 641 au démultiplexeur 92 qui envoie les signaux lumineux vers un ou plusieurs 25 spectromètres 93, leurs dispositifs de couplage de charges (CCD), et leurs électroniques associées (non représentées). L'ensemble spectrométrique est préférentiellement choisi pour couvrir la gamme 204 – 800 nm. Les images de la caméra 65 sont transmises à l'unité électronique de commande 91.

[0061] Le support de carotte 7, situé dans le caisson de mesure 5 reposant sur la table mesure 2, comporte une pluralité de rouleaux motorisés 71 inclinés de manière à former un V de soutien et de centrage de la carotte C.

[0062] Les tables d'amenée 1 et d'évacuation 3 comportent chacune
5 plusieurs convoyeurs 11, 31, pourvus de rouleaux motorisés 12, 32, aptes à supporter une carotte et à déplacer la carotte selon sa direction axiale.

[0063] La table d'amenée 1 comporte plusieurs convoyeurs 11
déplaçables selon la direction des flèches F1, transversalement à la direction
axiale A1 de la carotte, de manière que chaque convoyeur 11, sur lequel les
10 carottes C auront été préalablement déposées, puisse être placé en alignement
avec le support de carotte 7 de la table de mesure 2, et de manière que la
carotte portée par le convoyeur ainsi aligné puisse être translatée selon les
flèches F2 sur le support de carotte 7, après avoir ouvert la porte d'entrée 53
du caisson 5.

15 [0064] De manière similaire, la table d'évacuation 3 comporte plusieurs
convoyeurs 31 déplaçables transversalement à la direction axiale A1, de
manière que chaque convoyeur 31 puisse être placé en alignement avec le
support de carotte 7, pour recevoir une carotte translatée depuis le support de
carotte 7, après ouverture de la porte de sortie 54.

20 [0065] On notera que l'instrument de mesure, respectivement l'ensemble
optique du télescope 60, est avantageusement conçu pour permettre de
déplacer le faisceau laser à la surface de la carotte sur une courte distance,
typiquement de l'ordre 1 à 2 cm. Il est ainsi possible de prendre sur la carotte
une série de points de mesure rapprochés, sans déplacement relatif entre
25 l'ensemble de mesure 6 et la carotte C, respectivement son support/la table de
mesure.

[0066] Un intérêt du présent dispositif est sa transportabilité. La
conception du dispositif est avantageusement réalisée pour former plusieurs
modules coopérant pour faciliter l'assemblage/démontage du dispositif :

30 - Module 1 : Instrument de mesure 6 = Télescope 60 + caméra 65 + autofocus
le cas échéant + optionnellement le laser 63 (s'il n'est pas déporté)

- Module 2 : armature 55
- Module 3 : Spectromètres + démultiplexeur + bloc électronique
- Module 4 : Bloc numérique + antenne

[0067] Un protocole de mesure préféré va être maintenant décrit en
5 référence à la Figure 4. A l'étape 100 la carotte est mise en position sur le support de carotte dans la chambre de mesure 5. Les portes sont fermées et l'ajustement en hauteur est effectué (étape 102), de sorte à amener l'ensemble de mesure 6 à une distance prédéterminée de la carotte, qui correspond environ à la distance focale de l'optique de collecte. A l'étape 104, le dispositif
10 est initialisé en vue de la mesure, et en particulier les compteurs de position (position axiale et position matricielle) sont initialisés. Le compteur de position axiale, noté A, indique la position axiale de la mesure (position relative de l'ensemble de mesure 6 par rapport à la carotte), alors que le compteur R est un compteur de série de points, qui indique les mesures voisines obtenues au
15 même point A, sans déplacement relatif ensemble de mesure/carotte.

[0068] Après la phase d'initialisation, l'ensemble de mesure est positionné/déplacé au premier point de mesure (étape 106) qui correspond aux valeurs $A=1$ et $R=1$, soit $P(1,1)$. On procède alors successivement aux étapes :

- 108 : acquisition d'image et/ou de vidéos couleur haute résolution
20 avant tir – cette étape est optionnelle, mais l'image permet de savoir ce sur quoi le (ou les) faisceau(x) a (ont) frappé (trou, inclusion...), et l'enregistrement de la séquence d'analyse peut aider à un éventuel diagnostic en cas de difficulté ou d'aberration lors d'une analyse.

- 110 : l'étape de tir englobe en fait la sous-étape de tir laser, c'est à
25 dire l'émission du rayonnement focalisé sur le point de mesure désiré sur la carotte, correspondant à $P(A,R)$, et la sous-étape suivante de l'acquisition de la lumière du plasma engendré par l'ablation laser, conformément au principe LIBS. Classiquement, l'acquisition est légèrement décalée dans le temps du fait de la physique associée. Ces sous-étapes de tir laser et d'acquisition de la
30 lumière laser sont en pratique répétées un certain nombre de fois, par exemple quelques dizaines ou centaines de fois (tirs en rafale générant un spectre par

tir). La lumière collectée est envoyée vers les spectromètres et moyens de traitement pour analyse. Dans les étapes décrites ici, chaque tir laser fournit un spectre. Mais, alternativement, plusieurs tirs peuvent aboutir à une acquisition spectrale intégrée ou moyennée.

5 A l'issue de l'étape 110, une image couleur haute résolution de la carotte au niveau de la zone incluant le point de mesure est acquise. Une alternative ou un autre mode de fonctionnement à prévoir, si c'est jugé utile pour l'application visée, consiste à filmer les tirs lasers et la création du plasma.

[0069] Dans le mode « matriciel », on exécute plusieurs mesures voisines
10 au niveau de la position axiale $A=1$. On peut par exemple prendre une série de 4 points de mesure espacés régulièrement (par ex. de 1 à 5 mm) et alignés selon l'axe de la carotte. Des moyens d'ajustement de la position du point de mesure associés à l'instrument de mesure sont donc mis en œuvre pour déplacer le point de mesure du point $P(1,1)$ au point $P(1,2)$, puis $P(1,3)$, sans
15 déplacement axial carotte/ensemble de mesure. Cela peut se faire par déviation des éléments optiques. On peut aussi générer une matrice de faisceaux lasers (pluralité de faisceaux laser, parallèles ou non, suivant des chemins différents), où les différents faisceaux sont allumés en même temps ou successivement. La
20 collecte, séparée ou commune, et la discrimination spatiale ou temporelle des spectres issus des différents points de mesure, donne alors accès à l'hétérogénéité de la zone analysée.

[0070] Ainsi après la mesure $P(1,1)$, on effectue la mesure pour le 2^e point de la position axiale $A=1$, ce qui est noté $P(1, 2)$. Les étapes 106 à 108 sont donc répétées pour chacun point de la séquence matricielle. A la fin, on
25 déplace l'ensemble de mesure selon l'axe de la carotte pour le préparer à la mesure au deuxième point axial $A=2$, qui se situe à plusieurs centimètres, par exemple de 5 à 20 cm du premier point $P(1,1)$. Et on reproduit les étapes de mesure (106 à 112) pour les différents points du mode matriciel à cette position $A=2$.

30 [0071] Les étapes de mesures sont donc répétées le long de la carotte, en incrémentant le compteur axial A jusqu'à la fin de la carotte, où celle ci peut être

déchargée (étape 122). Le processus peut alors être stoppé, ou recommencé avec une autre carotte.

[0072] L'unité électronique de commande (91) peut aisément être configurée pour mettre en œuvre le protocole de mesure décrit ci-dessus en
5 relation avec la Fig.4.

[0073] La Fig.5 illustre le principe de mesure décrit ci-dessus, et notamment la différence de pas entre les compteurs A et R sur une carotte. Les points de mesure sur la surface de la carotte sont indiqués par les ronds noirs. La mesure démarre en haut (par rapport à la Fig.5) de la carotte, le premier
10 point de mesure étant à la position 1, donc P(1,1). Puis le déplacement du faisceau (sans déplacement de l'ensemble de mesure) permet l'acquisition d'une série de 4 autres points P(1,2) à P(1,5). Ensuite l'ensemble de mesure est déplacé à la 2ème position axiale, pour l'acquisition de la série P(2,1) à P(2,5). Puis l'ensemble de mesure est déplacé à la 3^{ème} position axiale, pour la
15 mesure de P(3,1) à P(3,5). Et ainsi de suite sur la longueur de la carotte.

[0074] L'intérêt de l'imagerie post tir, qui permet de connaître la position exacte du (des) point(s) de mesure sur la surface de la carotte, et donc le contexte de la texture géologique, est manifeste sur les Figures 5 et 6.

[0075] En effet, l'image contextuelle permet la reconnaissance de la zone
20 analysée et l'interprétation des données LIBS. Dans le cas d'une matrice à grains fins (typiquement taille de particule <256 μm), comme pour les exemples des figures 5 et 6, le faisceau laser a une taille comparable ou supérieure à celle des grains, et la zone ablatée par le laser englobera des grains et la matrice, donnant la composition générale de la roche (« bulk composition »). En
25 revanche, si le grain est gros, le faisceau laser peut tomber en plein milieu d'un grain, et la mesure ne révélera donc pas la nature de la matrice ou du ciment adjacent, mais permettra une analyse spécifique des grains ou inclusions analysées. L'image contextuelle permet entre autres de constater cela et d'interpréter les résultats en conséquence.

30 [0076] Dans la figure 6, on a également représenté la possibilité de réaliser outre les mesures P(A,R), le long de la génératrice comprise dans le

plan vertical passant par l'axe de la carotte, des mesures transversales, notées T, ou décalées par rapport à l'axe, notées D.

[0077] On notera que dans l'exemple représenté aux figures 1 à 3, ce sont les rouleaux motorisés 12, 32 et 71 qui assurent l'entraînement direct des carottes C, par contact avec la surface des carottes. On pourrait aussi utiliser des goulottes dans lesquelles les carottes sont disposées et centrées de manière fixe, les dites goulottes étant mobilisées par des rouleaux motorisés de manière similaire à ce qui a été décrit précédemment, ou comportant d'autres moyens d'entraînement.

[0078] Une telle variante avec goulotte de manutention est illustrée à la Fig.7, dans laquelle l'instrument de mesure est également simplifié. Dans la figure 7, on reconnaît la table de mesure 2 avec le caisson 5 et l'armature 55, ainsi que le convoyeur 7. On notera que la carotte est ici placée dans une goulotte de manutention 78, ou plus simplement « goulotte », ayant une section en V. Une telle goulotte 78 permet de supporter rigidement des carottes fragiles (par ex. friables), qui sont ainsi immobilisées, et centrées, dans la goulotte, et ne sont pas soumises au contact direct avec les rouleaux 71 motorisés. A titre d'alternative, au lieu du convoyeur à rouleaux moteur 71, d'autres types de mécanismes de convoyage et d'alignement peuvent être employés. Par exemple les rouleaux non motorisés supportent la goulotte, dont l'entraînement est réalisé par un mécanisme d'entraînement latéral.

[0079] Dans la présente variante, l'ensemble de mesure est simplifié et compact. Le signe de référence 6' désigne l'ensemble de mesure qui comprend :

[0080] - des moyens optiques d'illumination laser, reliés à la source laser 63, configurés pour diriger un faisceau laser 80 apte à générer en un point de la carotte le plasma requis pour l'utilisation de la méthode LIBS. La source laser 63 n'est de préférence pas portée par l'ensemble de mesure 6', et peut donc être placée sur le caisson 5, la table de mesure 2 ou déportée ailleurs. La transmission du rayonnement laser à l'ensemble de mesure se fait simplement par fibre(s) optique(s). Au niveau de l'ensemble de mesure 6', la fibre optique

est associée à un bloc optique 84 comprenant des éléments d'alignement et de focalisation du faisceau laser sur la carotte.

[0081] - des moyens optiques de collecte sont prévus pour capter/collecter la lumière du plasma généré par le faisceau laser incident 80 à la surface de la carotte, le point de mesure se trouvant dans le champ de vision 86 des moyens optiques de collecte. Les moyens optiques de collecte, symbolisés 88, peuvent être formés par l'extrémité d'une fibre optique, associée à des éléments optiques de focalisation (non montrés). Comme dans la variante de la Fig.3, les moyens optiques de collecte sont reliés par fibres optiques 641 aux instruments d'analyse 92, 93.

[0082] - la caméra d'imagerie couleur haute résolution 65 pour les prises de vue de la zone analysée, avant et/ou après tir, ou des prises vidéo pendant les tirs, ou pour la sélection de la zone à analyser.

[0083] Les moyens optiques d'illumination 84 et de collecte 88, et la caméra 65, sont donc ici intégrés dans un boîtier commun 90, qui est plus compact que le télescope 60 de la Fig.3.

[0084] Pour permettre le déplacement du point de mesure sans déplacer l'ensemble de mesure, le faisceau laser en sortie de fibre est dirigé vers un élément de déviation de faisceau 92, qui peut être par exemple un miroir pivotant.

[0085] On notera encore que l'ensemble de mesure, dans toutes les variantes présentées, comprend de préférence une vitre ou un hublot (non montré) qui sépare les éléments optiques de la chambre de mesure. Cela évite de détériorer les optiques et autres mécanismes de l'intérieur du télescope ou de l'instrument de mesure, en les protégeant en particulier contre les poussières, projections, gaz et autres produits potentiellement corrosifs émis par l'ablation au laser du matériel carotté (avec hydrocarbures, etc).

[0086] La commande du dispositif selon cette variante peut se faire au moyen de l'unité électronique de commande 91, comme pour la variante de la Fig.1, ou comme les Fig.8/9 ci-dessous. Ici également, elle peut être

programmée pour mettre en œuvre la méthode décrite ci-dessus en relation avec la Fig.4.

[0087] Dans la variante de la Fig.7, le mode matriciel, i.e. acquisition de plusieurs points de mesure spatialement séparés pour une même position
5 axiale tête de mesure / carotte, est réalisé avec un seul faisceau laser dévié par un miroir.

[0088] Dans la variante de la Fig.8, l'ensemble de mesure est initialement conçu pour émettre plusieurs faisceaux lasers séparés vers la carotte, de sorte à former au moins deux points d'analyse séparés spatialement sur l'échantillon,
10 selon un motif prédéfini. Plus précisément, dans le cas présenté ici, l'ensemble de mesure est conçu pour générer et diriger trois faisceaux laser distincts et spatialement séparés vers l'échantillon, pour former 3 points d'analyse séparés spatialement sur l'échantillon. Les 3 points de mesure, indiqués 81, sont alignés selon la génératrice se trouvant dans le plan vertical passant par l'axe A de la
15 carotte, ce qui correspond par exemple aux points P(1,1), P(1,2) et P(1,3) de la carotte de la Fig.5. Chacun des 3 faisceaux laser 81 est acheminé vers l'échantillon via un chemin optique propre par des moyens optiques d'illumination laser contenus dans l'ensemble de mesure. Par exemple, le rayonnement laser arrivant de la source 63 par la fibre optique 82 au niveau de
20 l'ensemble de mesure 6'' peut être redistribué, au moyen d'un coupleur approprié (non montré), sur 3 fibres optiques 85, définissant 3 chemins optiques internes indépendants, associés chacun à une optique de focalisation (non montrée) pour l'émission du faisceau laser 80' respectif.

[0089] Les 3 points de mesure 81 se trouvent dans le champ de vision 86' des moyens optiques de collecte 88'. La caméra 85 possède également un
25 champ de vision englobant les 3 points de mesure.

[0090] Comme pour la variante de la Fig.4, les moyens optiques de collecte 88' peuvent être constitués par l'extrémité d'une fibre optique lentillée (avec distance focale et distance de travail appropriée), formant une voie
30 unique de collecte à condition que cela ne perturbe pas la voie illumination laser. Si l'absence de perturbation n'est pas garantie, il est préférable de

procéder aux mesures séquentiellement, c'est-à-dire alternativement au niveau de chaque point de mesure 81, de sorte à générer/collecter/analyser les plasmas de façon indépendante pour chaque point de mesure. Par ailleurs, avec des moyens optiques de collecte adaptés, c'est-à-dire aptes à discriminer spatialement la lumière collectée, on peut procéder à des tirs simultanés sur les trois points de mesure 85. A cet effet, les moyens optiques de collecte peuvent comprendre un ensemble de fibres optiques positionnées centralement (comme 88'), ou bien plusieurs voies de collecte distinctes, chacune ayant un champ de vision limité à un point de mesure donné, et étant reliée à un spectromètre (ou un par bande spectrale).

[0091] Une quatrième variante est illustrée à la Fig.9, dans laquelle l'ensemble de mesure 206 est conçu pour former 4 points d'analyse séparés spatialement sur l'échantillon, selon un motif matriciel prédéfini, par exemple placés aux 4 coins d'un parallépipède. Chacun des 4 faisceaux laser 280 est acheminé jusqu'à l'échantillon via un chemin optique propre, par des moyens optiques de transmission et de focalisation contenus dans l'ensemble de mesure 206. Comme pour la Fig.8, le rayonnement laser arrivant de la source 263 par la fibre optique 282 au niveau de l'ensemble de mesure 206 peut être redistribué, au moyen d'un coupleur approprié (non montré), sur 4 fibres optiques 285, définissant 4 chemins optiques internes indépendants, associés chacun à une optique de focalisation (non montrée) pour l'émission du faisceau laser 280 respectif. Ici les 4 fibres optiques sont placées aux coins d'un carré, seuls deux fibres 285 et deux faisceaux laser 280 étant représentés sur la Fig.9 a) pour des raisons de clarté. Les 4 points de mesure 281 obtenus, représentés sur la Fig.9 b), sont disposés aux quatre coins d'un carré (cela pourrait aussi être un rectangle) centré par rapport à la génératrice se trouvant dans le plan vertical passant par l'axe A de la carotte. Au centre des 4 fibres 285 se trouve la caméra 240 couleur haute résolution, qui englobe le carré de la zone d'analyse.

[0092] Les moyens de collecte comprennent autant de voies de collecte qu'il y a de voies d'illumination. Une fibre de collecte 250 est donc associée à chaque voie d'illumination. Dans la représentation de la Fig.9, l'extrémité de

- chaque fibre 250 est représentée avec un angle, qui symbolise l'optique de focalisation recevant la lumière du plasma créé par le faisceau laser associé, réfléchi par une lame dichroïque 252. A noter que dans cette configuration les voies de collecte 250 sont indépendantes et permettent donc des analyses en
- 5 simultané sur les quatre points sans interférences. Les 4 fibres optiques 250 (à noter que seules deux sont représentées, comme pour les voies d'illumination) se rejoignent à l'arrière de l'ensemble de mesure 206 pour former un fibre bundle 256 relié au démultiplexeur. La caméra 240 est reliée aux moyens de traitement.
- 10 [0093] Selon encore un autre mode de réalisation, les 2x4 dispositifs optiques de la Fig.9 peuvent être remplacés par 1 seul, capable d'assurer la focalisation de 4 faisceaux laser et la collecte de 4 plasmas sans les mélanger, avec une seule lame dichroïque sur le trajet des signaux (1 chemin pour la longueur d'onde laser ~ 1064 nm ; l'autre pour la lumière allant de l'ultraviolet au
- 15 très proche infrarouge pour le plasma).

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'analyse spectroscopique de carottes de forage (C), notamment de carottes de forage d'exploration pétrolière, minière ou scientifique mettant en œuvre une méthode d'analyse spectroscopique induite par ablation laser (LIBS), comprenant :
- 5
- un ensemble de mesure (6), comprenant :
 - des moyens optiques d'illumination laser, reliés à une source laser (63), configurés pour diriger au moins un faisceau laser apte à générer en au moins un point de la carotte le plasma requis pour l'utilisation de la méthode LIBS,
 - 10
 - des moyens optiques de collecte de la lumière du plasma,
 - une caméra d'imagerie permettant de photographier précisément la zone d'analyse et/ou de filmer l'analyse (65) ;
 - au moins un spectromètre (93) relié aux moyens optiques de collecte ;
 - 15
 - des moyens de traitement de données pour traiter les signaux fournis par le(s) spectromètre(s) et les images fournies par la caméra ;
 - un support de carotte (7) pour supporter la carotte sur une table de mesure (2), et pour maintenir la carotte dans une position prédéterminée,
 - des moyens (61, 62) pour opérer un déplacement relatif entre l'ensemble de mesure (6) et le support de carotte (7), selon au moins la direction axiale (A1) de la carotte, et pour positionner le faisceau laser, respectivement l'axe optique des moyens optiques de collecte, en des points prédéterminés de la carotte,
 - 20
 - de préférence, des moyens de réglage (511) pour régler la distance entre le support de carotte et l'ensemble de mesure.
 - 25
2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le support de carotte comporte un convoyeur (7, 71), pour porter la carotte à analyser et la

déplacer axialement pour l'amener dans la position requise face à l'ensemble de mesure.

3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel le convoyeur comporte une pluralité de rouleaux (71) fixes en position sur la table de mesure, les rouleaux étant disposés avec leurs axes inclinés pour former un vé de centrage de la carotte, et certains au moins des rouleaux étant motorisés.
4. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel le convoyeur comporte une goulotte de support et de centrage sur lequel la carotte est immobilisée, et la dite goulotte est déplaçable sur la table de mesure, guidée en translation selon la direction axiale de la carotte.
5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel
le dispositif comporte successivement une table d'amenée des carottes (1), la table de mesure (2), portant l'ensemble de mesure et le support de carotte, et une table d'évacuation (3) des carottes, les trois tables précitées formant un ensemble modulaire ; et
la table d'amenée (1) et la table d'évacuation (3) comportent de préférence chacune une pluralité de moyens de convoyage de carotte (11, 31), déplaçables selon une direction transversale à la direction longitudinale (A1) du support de carotte (7) de la table de mesure.
6. Dispositif selon la revendication 5, dans lequel chacun des moyens de convoyage (11, 31) comporte des moyens de translation de carotte (12, 32), en particulier des rouleaux de transport motorisés (12, 32), pour déplacer une carotte portée par un moyen de convoyage de la table d'amenée vers le support de carotte de la table de mesure ou déplacer une carotte portée par ledit support de carotte vers un moyen de convoyage de la table d'évacuation.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant un caisson fermé formant une chambre d'analyse dans laquelle le support de carotte de la table de mesure est placé.
- 5
8. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel le caisson comporte une armature, des parois latérales, une porte d'entrée escamotable du côté de la table d'amenée et une porte de sortie escamotable du côté de la table d'évacuation, et un capot supérieur comportant une ouverture
- 10 longitudinale avec les moyens d'obturation déformables, permettant une communication entre l'ensemble de mesure et l'intérieur de la chambre d'analyse, pendant le déplacement de l'ensemble de mesure, sur toute la longueur de la carotte..
- 15 9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'ensemble de mesure (6) porté par la table de mesure est guidé en translation, selon la direction longitudinale du support de carotte, sur une armature (55) solidaire de la table de mesure, et comprenant
- 20 préférentiellement des moyens de translation de l'ensemble de mesure, actionnés par un moteur permettant un positionnement précis de l'ensemble de mesure par rapport à la carotte analysée.
10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant des moyens de déplacement complémentaires pour déplacer
- 25 l'ensemble de mesure transversalement à la direction longitudinale de la carotte.
11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'ensemble de mesure comprend en ensemble d'éléments optiques
- 30 pour diriger et focaliser le faisceau laser sur la carotte, de sorte à y créer un plasma, capturer la lumière du plasma, en particulier dans une fibre

optique, et capturer le contexte autour du point de mesure au moyen de la caméra d'imagerie.

- 5 12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'ensemble de mesure est configuré de sorte que la focalisation du laser et la collecte de la lumière sont réalisées le long du même axe optique.
- 10 13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel :
- les moyens optiques d'illumination sont aptes à diriger au moins deux faisceaux laser séparés vers la carotte, de sorte à former au moins deux points d'analyse séparés spatialement sur l'échantillon, selon un motif prédéfini ;
- 15 les moyens optiques de collecte ont un champ de vision dans lequel se trouvent lesdits au moins deux points de mesure.
- 20 14. Dispositif selon la revendication 13, dans lequel les moyens optiques de collecte sont conçus pour permettre une discrimination spatiale des plasmas provenant desdits au moins deux points de mesure, respectivement une collecte indépendante des plasmas par des voies de collecte séparées, notamment en cas de tir simultané des au moins deux faisceaux laser.
- 25 15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant des moyens d'ajustement du faisceau laser associés à l'ensemble de mesure, permettant de déplacer le point de mesure sans mouvement relatif entre la carotte, respectivement son support, et

l'ensemble de mesure, pour réaliser une matrice de points de mesure non simultanés.

- 5 16. Dispositif selon la revendication précédente, dans lequel l'ajustement de direction du faisceau laser sur la carotte est effectué par un élément optique de l'ensemble de mesure, en particulier un miroir pivotant.
- 10 17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la carotte de forage est une carotte pleine, une carotte reconstituée, carotte reconstituée de déblais forages, ou une coupe longitudinale d'une telle carotte.
- 15 18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'ensemble de mesure comprend des moyens de focalisation, en particulier un autofocus, sur le chemin optique d'illumination laser et/ou de collecte de la lumière du plasma.
- 20 19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant une unité électronique (91) de commande pour commander le dispositif et opérer de manière automatisée la manipulation des carottes et/ou l'acquisition de données avec l'ensemble de mesure.
- 25 20. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'ensemble de mesure comprend une voie d'illumination supplémentaire recevant un rayonnement laser à une longueur d'onde appropriée pour l'analyse Raman de sorte à générer un faisceau laser formant sur la carotte un point de mesure dans le champ de vision des moyens de collecte.

21. Méthode d'analyse de carottes de forage au moyen du dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant les étapes:
- a) installation de la carotte sur le support de carotte;
 - b) positionnement de l'ensemble de mesure par déplacement relatif entre
5 l'ensemble de mesure et le support de carotte ;
 - c) réalisation d'une séquence de tir laser comprenant l'illumination d'au moins un point de mesure sur la carotte avec un faisceau laser d'analyse LIBS et la collecte du/des plasma(s) généré(s), et enregistrement de l'analyse et/ou du contexte de la zone d'analyse au
10 moyen de la caméra d'imagerie ;
 - d) répétition des étapes b) et c) pour acquérir des mesures LIBS en des points prédéterminés selon au moins la direction axiale de la carotte ;
 - e) stockage des données d'analyses LIBS en associant les données mesurées aux positions axiale de mesure et aux les enregistrements
15 de la caméra d'imagerie.
22. Méthode selon la revendication 21, dans laquelle on construit un profil vertical correspondant à un forage sur bases des données d'analyse LIBS stockées des carottes de forages, associant données de mesure LIBS aux
20 profondeurs correspondantes et les images des zones d'analyse.
23. Méthode selon la revendication 21 ou 22, dans laquelle l'ensemble de de mesure comprend des moyens optiques d'illumination aptes à diriger au moins deux faisceaux laser d'analyse LIBS distincts vers la carotte, de
25 sorte à former au moins deux points d'analyse séparés spatialement sur l'échantillon, et les moyens optiques de collecte ont un champ de vision dans lequel se trouvent lesdits au moins deux points de mesure; et
- dans laquelle à l'étape c) on réalise un tir sur au moins deux points de mesure séparés spatialement, de manière séquentielle ou simultanée,

sans mouvement axial relatif de l'ensemble de mesure par rapport à la carotte.

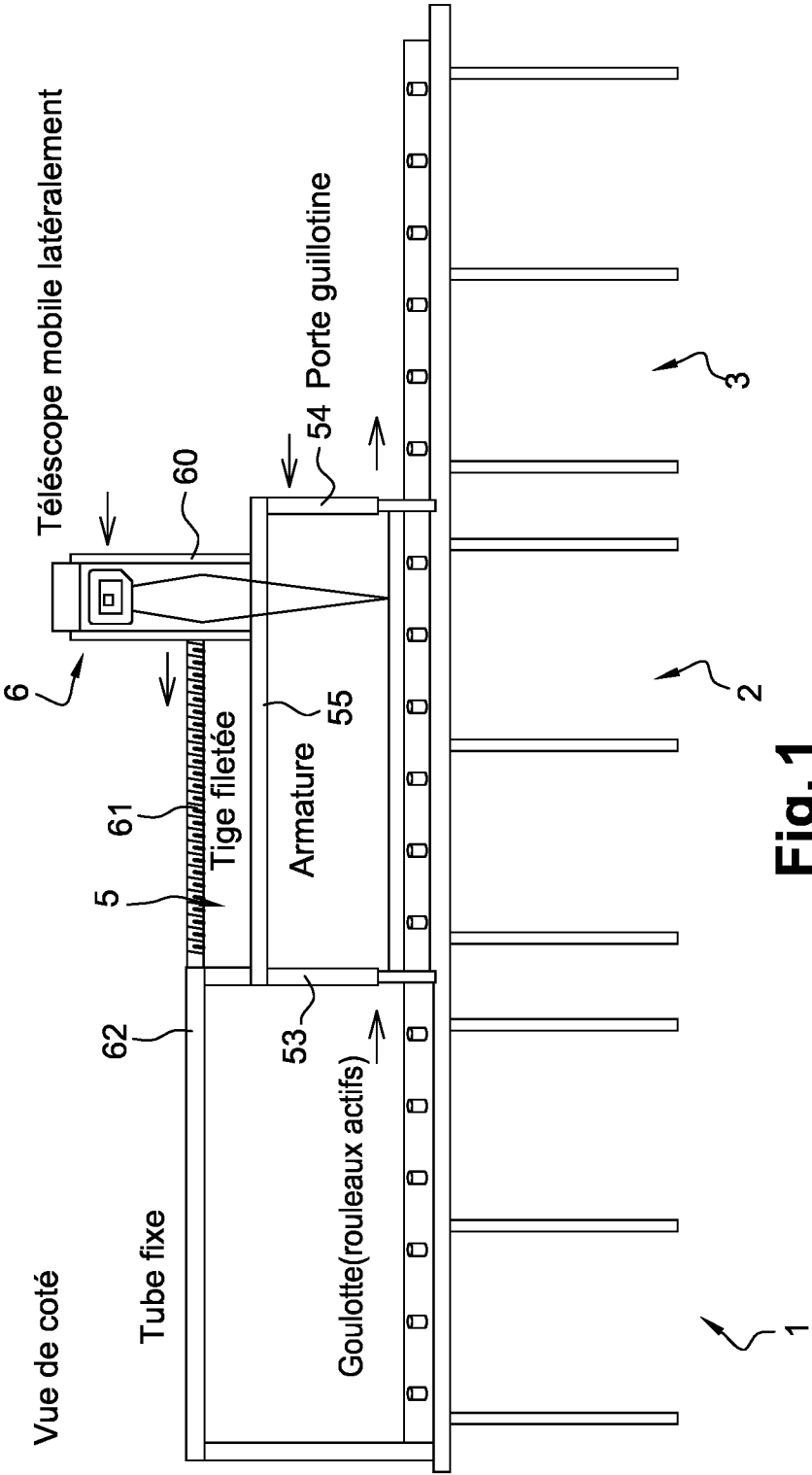


Fig. 1

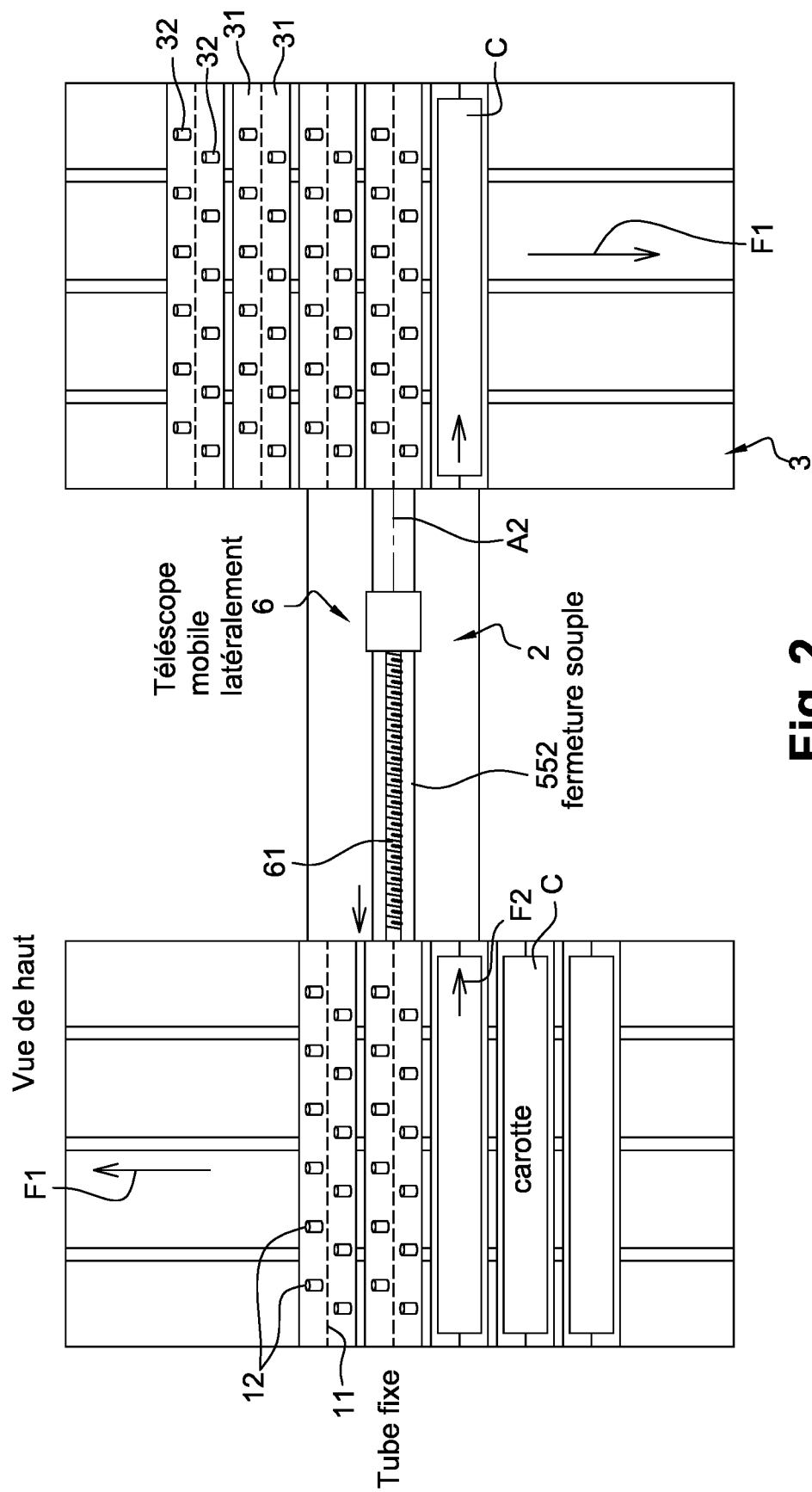
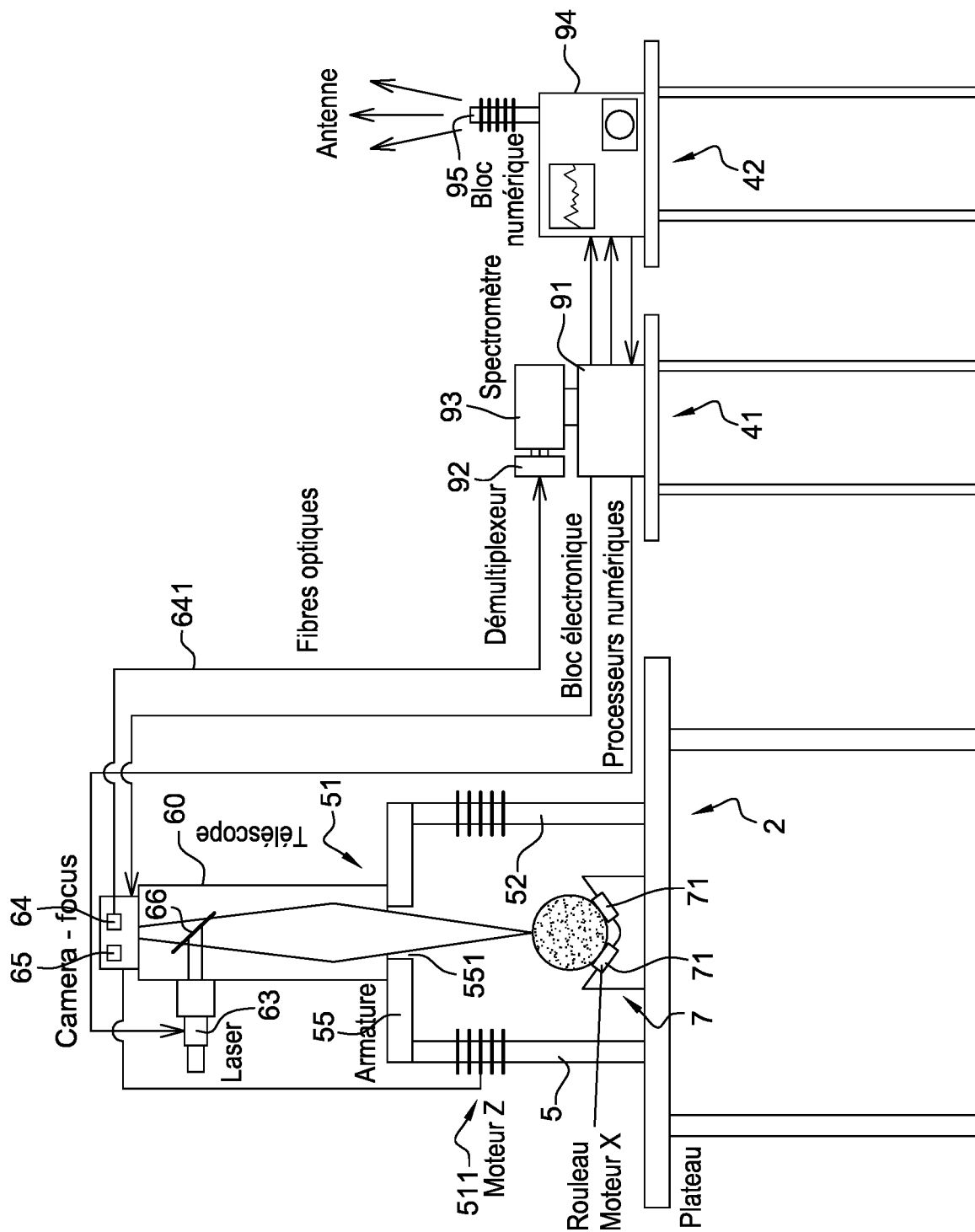
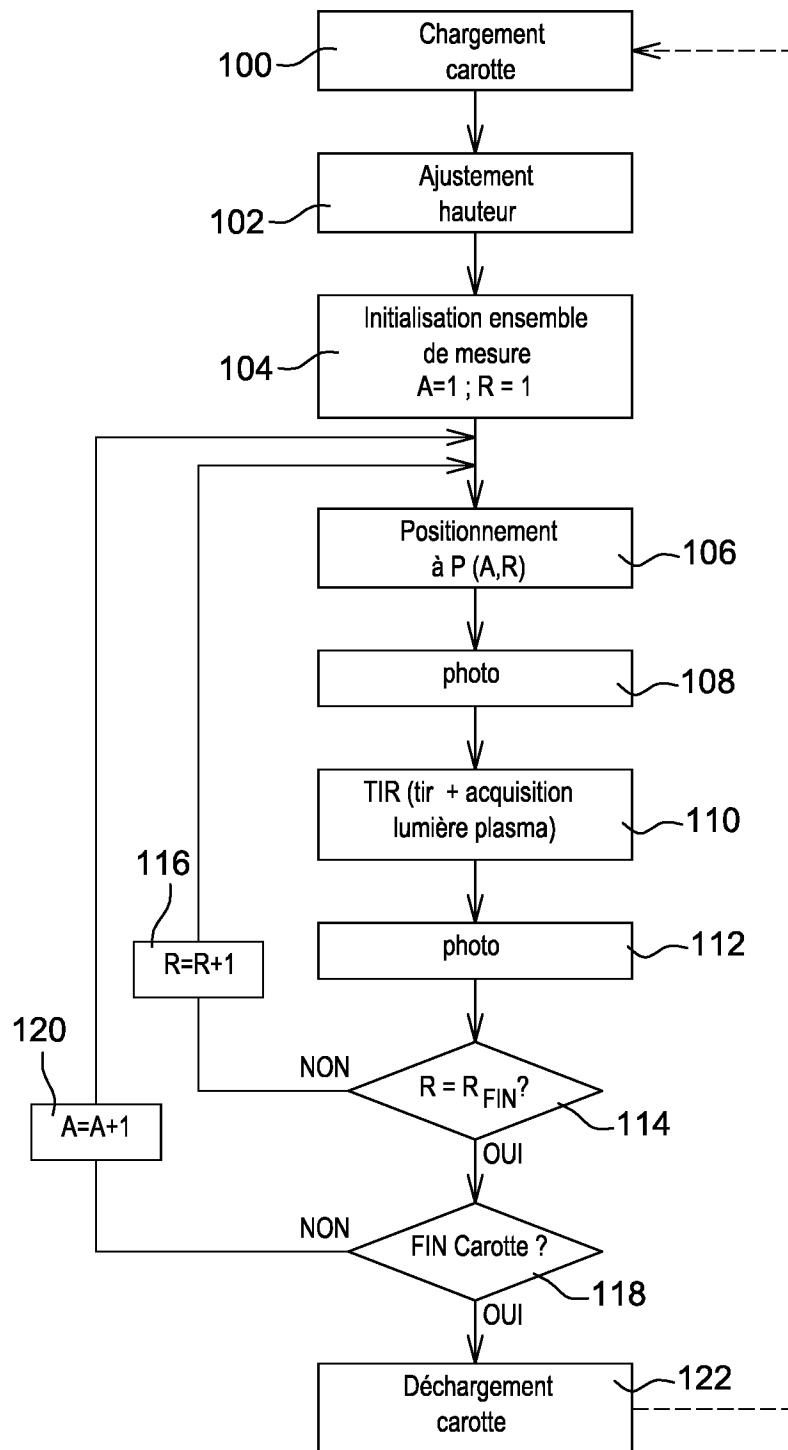
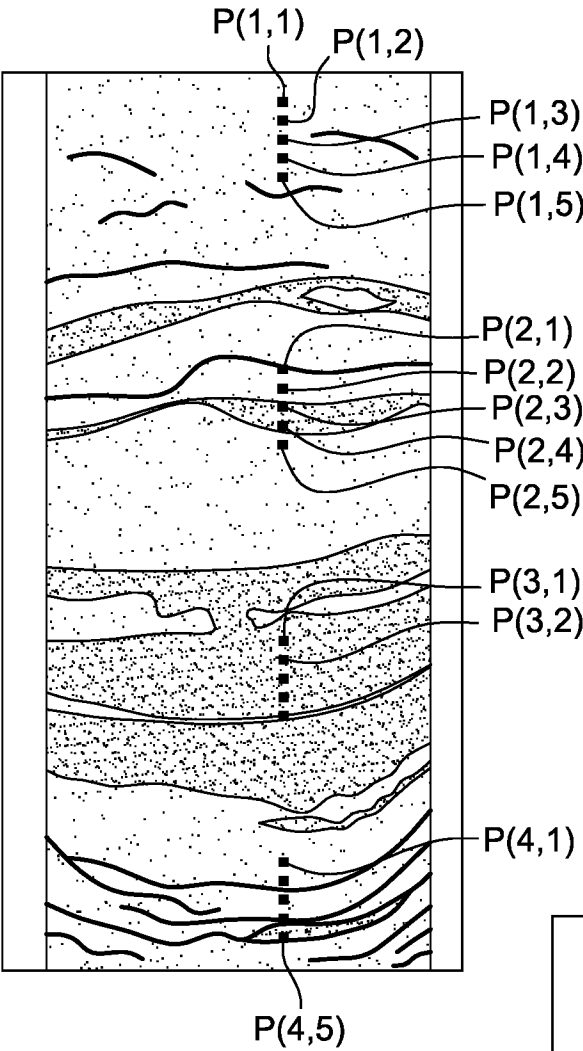


Fig. 2

Fig. 3



**Fig. 4**

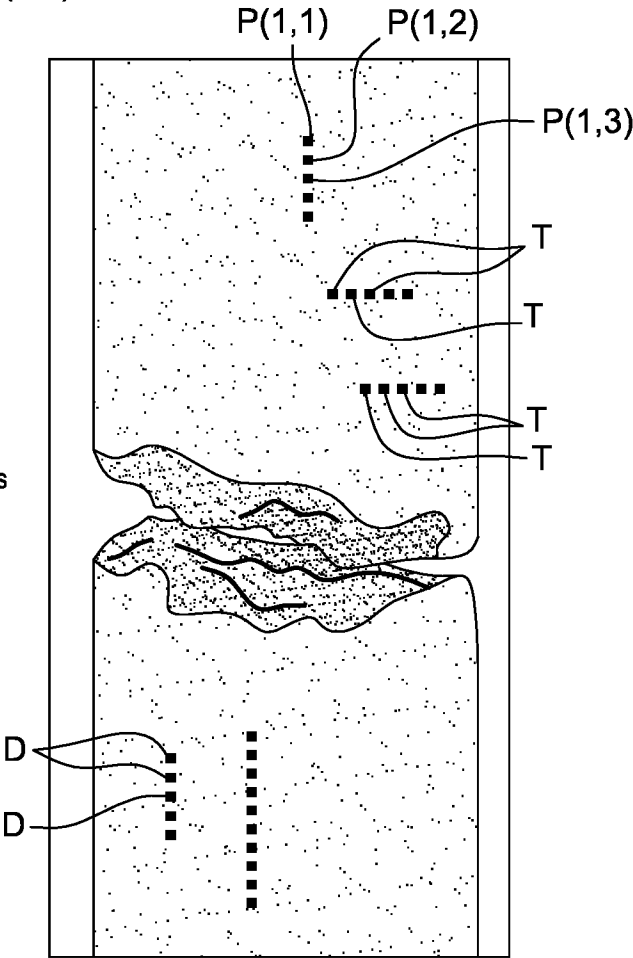


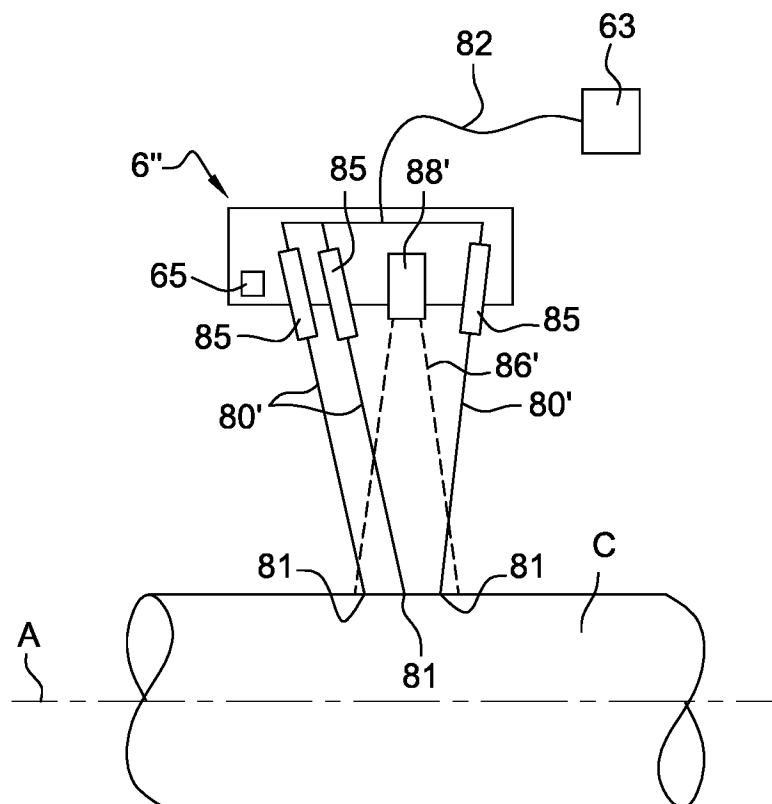
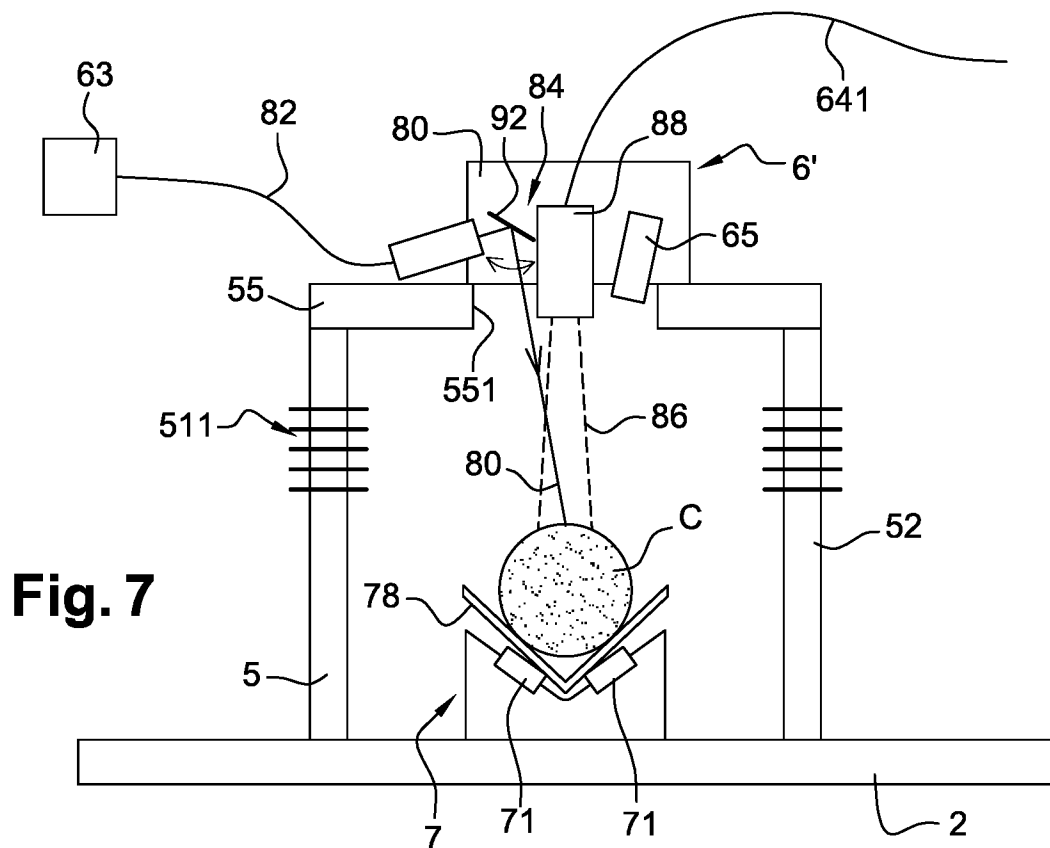
Grès fin hétérolithique
Réservoir Rhénan_Bassin Paris

Fig. 5

Dolomite compacte à grains fins

Fig. 6





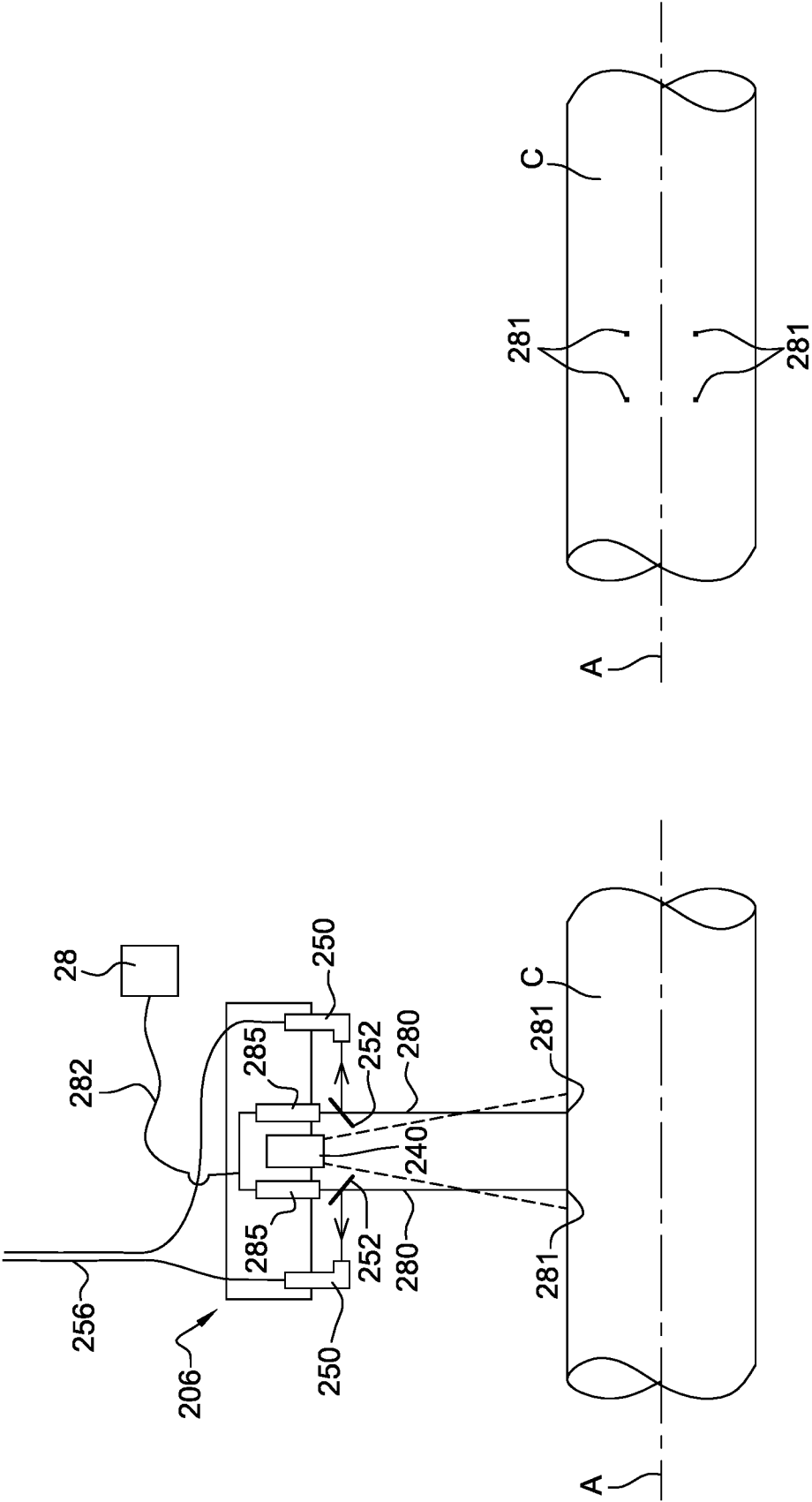


Fig. 9b

Fig. 9a

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/062965

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N21/65 G01J3/443 G01N33/24 G01N21/71 G01N1/04
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N G01J B07C

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 2013/204531 A1 (MCMANUS CATHERINE E [US] ET AL) 8 August 2013 (2013-08-08) paragraphs [0002] - [0010], [0038] paragraph [0065] - paragraph [0071] paragraph [0076] - paragraph [0080] figure 4 ----- -/--	1,9-11, 15-18 2-6,13, 14,19,20



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 July 2015

Date of mailing of the international search report

11/08/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Consalvo, Daniela

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/062965

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2009/091745 A1 (LEVESQUE MARC [CA] ET AL) 9 April 2009 (2009-04-09)	1,9,10, 13,14,17
Y	paragraphs [0002], [0003] paragraph [0048] - paragraph [0058] paragraph [0063] - paragraph [0066]; figure 1 paragraph [0078] paragraph [0087] paragraph [0090] paragraph [0101] - paragraph [0103] paragraph [0112] - paragraph [0113] paragraph [0123] - paragraph [0132]; figure 5 -----	2-6,19, 20
X	US 2013/168545 A1 (CLEM WILLIAM E [US] ET AL) 4 July 2013 (2013-07-04)	1,7-10, 12-14, 17,21,22
Y	paragraph [0018] paragraph [0024] - paragraph [0032]; figures 3, 4A, 4B paragraph [0040] - paragraph [0043]; figure 8 claims 1,2 -----	2-6,19, 20,23
Y	US 2010/171951 A1 (MISRA ANUPAM KUMAR [US] ET AL) 8 July 2010 (2010-07-08) paragraph [0024] - paragraph [0029]; figure 1 -----	20
Y	WO 2006/008155 A1 (SCANDINAVIAN HIGHLANDS AS [DK]; JENSEN SOEREN LUND [DK]; STEENBERG THO) 26 January 2006 (2006-01-26) page 3, line 3 - page 5, last line page 7, line 28 - page 11, line 14 page 13, line 14 - line 30 page 16, line 13 - page 17, line 27; figures 1,2 claim 1 -----	13,14,23
Y	US 4 884 696 A (PELEG KALMAN [US]) 5 December 1989 (1989-12-05) column 11, line 66 - page 12, line 29; figures 1,2,5,9 -----	2-6
Y	WO 2011/159269 A1 (SPECTRAMET LLC [US]; SOMMER EDWARD J [US]; SPENCER DAVID B [US]; CONLE) 22 December 2011 (2011-12-22) abstract; figure 2 page 12, line 15 - line 17 page 17, line 26 - page 18, line 1 page 29, line 4 - line 6 page 33, line 7 - line 9 -----	2-6,19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/062965

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2013204531	A1	08-08-2013	EP 2812676 A1 17-12-2014
			JP 2015506484 A 02-03-2015
			US 2013204531 A1 08-08-2013
			US 2014185043 A1 03-07-2014
			WO 2013119604 A1 15-08-2013
US 2009091745	A1	09-04-2009	CA 2701176 A1 09-04-2009
			US 2009091745 A1 09-04-2009
			US 2010324832 A1 23-12-2010
			WO 2009043138 A1 09-04-2009
US 2013168545	A1	04-07-2013	CA 2854941 A1 04-07-2013
			CN 103959042 A 30-07-2014
			EP 2798332 A1 05-11-2014
			JP 2015504161 A 05-02-2015
			KR 20140107323 A 04-09-2014
			TW 201331565 A 01-08-2013
			US 2013168545 A1 04-07-2013
			WO 2013101745 A1 04-07-2013
US 2010171951	A1	08-07-2010	NONE
WO 2006008155	A1	26-01-2006	AU 2005263614 A1 26-01-2006
			CA 2574867 A1 26-01-2006
			EP 1779095 A1 02-05-2007
			WO 2006008155 A1 26-01-2006
			ZA 200701442 A 25-03-2009
US 4884696	A	05-12-1989	NONE
WO 2011159269	A1	22-12-2011	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2015/062965

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01N21/65 G01J3/443 G01N33/24 G01N21/71 G01N1/04 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01N G01J B07C		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2013/204531 A1 (MCMANUS CATHERINE E [US] ET AL) 8 août 2013 (2013-08-08)	1,9-11, 15-18
Y	alinéas [0002] - [0010], [0038] alinéa [0065] - alinéa [0071] alinéa [0076] - alinéa [0080] figure 4	2-6,13, 14,19,20
X	US 2009/091745 A1 (LEVESQUE MARC [CA] ET AL) 9 avril 2009 (2009-04-09)	1,9,10, 13,14,17
Y	alinéas [0002], [0003] alinéa [0048] - alinéa [0058] alinéa [0063] - alinéa [0066]; figure 1 alinéa [0078] alinéa [0087] alinéa [0090] alinéa [0101] - alinéa [0103] alinéa [0112] - alinéa [0113] alinéa [0123] - alinéa [0132]; figure 5 ----- -/-	2-6,19, 20
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 31 juillet 2015		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 11/08/2015
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Consalvo, Daniela

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2013/168545 A1 (CLEM WILLIAM E [US] ET AL) 4 juillet 2013 (2013-07-04)	1,7-10, 12-14, 17,21,22
Y	alinéa [0018] alinéa [0024] - alinéa [0032]; figures 3, 4A, 4B alinéa [0040] - alinéa [0043]; figure 8 revendications 1,2	2-6,19, 20,23
Y	----- US 2010/171951 A1 (MISRA ANUPAM KUMAR [US] ET AL) 8 juillet 2010 (2010-07-08) alinéa [0024] - alinéa [0029]; figure 1 -----	20
Y	WO 2006/008155 A1 (SCANDINAVIAN HIGHLANDS AS [DK]; JENSEN SOEREN LUND [DK]; STEENBERG THO) 26 janvier 2006 (2006-01-26) page 3, ligne 3 - page 5, dernière ligne page 7, ligne 28 - page 11, ligne 14 page 13, ligne 14 - ligne 30 page 16, ligne 13 - page 17, ligne 27; figures 1,2 revendication 1 -----	13,14,23
Y	US 4 884 696 A (PELEG KALMAN [US]) 5 décembre 1989 (1989-12-05) colonne 11, ligne 66 - page 12, ligne 29; figures 1,2,5,9 -----	2-6
Y	WO 2011/159269 A1 (SPECTRAMET LLC [US]; SOMMER EDWARD J [US]; SPENCER DAVID B [US]; CONLE) 22 décembre 2011 (2011-12-22) abrégé; figure 2 page 12, ligne 15 - ligne 17 page 17, ligne 26 - page 18, ligne 1 page 29, ligne 4 - ligne 6 page 33, ligne 7 - ligne 9 -----	2-6,19

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2015/062965

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2013204531 A1	08-08-2013	EP 2812676 A1	17-12-2014
		JP 2015506484 A	02-03-2015
		US 2013204531 A1	08-08-2013
		US 2014185043 A1	03-07-2014
		WO 2013119604 A1	15-08-2013
US 2009091745 A1	09-04-2009	CA 2701176 A1	09-04-2009
		US 2009091745 A1	09-04-2009
		US 2010324832 A1	23-12-2010
		WO 2009043138 A1	09-04-2009
US 2013168545 A1	04-07-2013	CA 2854941 A1	04-07-2013
		CN 103959042 A	30-07-2014
		EP 2798332 A1	05-11-2014
		JP 2015504161 A	05-02-2015
		KR 20140107323 A	04-09-2014
		TW 201331565 A	01-08-2013
		US 2013168545 A1	04-07-2013
		WO 2013101745 A1	04-07-2013
US 2010171951 A1	08-07-2010	AUCUN	
WO 2006008155 A1	26-01-2006	AU 2005263614 A1	26-01-2006
		CA 2574867 A1	26-01-2006
		EP 1779095 A1	02-05-2007
		WO 2006008155 A1	26-01-2006
		ZA 200701442 A	25-03-2009
US 4884696 A	05-12-1989	AUCUN	
WO 2011159269 A1	22-12-2011	AUCUN	