



(51) Classification internationale des brevets :
G01T 1/10 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2015/062067

(22) Date de dépôt international :
1 juin 2015 (01.06.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
14 55032 3 juin 2014 (03.06.2014) FR

(71) Déposant : COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25 Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs : MAGNE, Sylvain; 10, rue Jean-Pierre Timbaud, F-92320 Chatillon (FR). BOUDERGUL, Karim; 8 rue du Réservoir, F-28630 Nogent-le-Phaye (FR). MAKIL, Hamid; 9 rue de Launay, F-91380 Chilly-Mazarin (FR).

(74) Mandataire : BREVALEX; 95, rue d'Amsterdam, F-75378 Paris Cedex 8 (FR).

(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), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, 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))

(54) Title : DEVICE FOR DETECTING RADIATION AND ASSOCIATED DETECTION SYSTEM

(54) Titre : DISPOSITIF DE DETECTION DE RADIATIONS ET SYSTEME DE DETECTION ASSOCIE

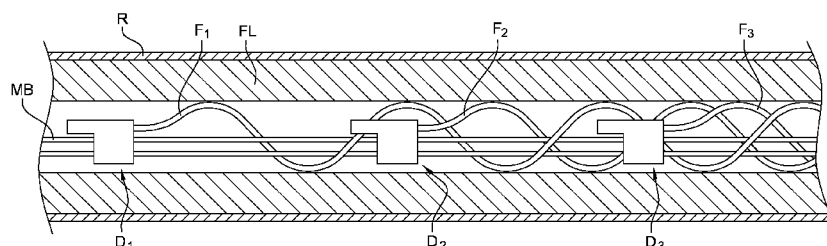


Fig. 3

(57) Abstract : The invention relates to a radiation-detecting device comprising at least two radiation detectors (D₁, D₂, D₃) distributed in series along a support cable (MB), each detector comprising an optically stimulated luminescence detection element which is optically coupled to at least one optical fibre (F₁, F₂, F₃), each optically stimulated luminescence detection element being held opposite a first end of the optical fibre by a mechanical part fixed to the support cable, the mechanical part being held in a flexible cable (FL) by holding means, the second ends of each optical fibre leading to the same first end of the flexible cable.

(57) Abrégé : L'invention concerne un dispositif de détection de radiations comprenant au moins deux détecteurs de radiations (D₁, D₂, D₃) distribués en série le long d'un câble support (MB), chaque détecteur comprenant un élément de détection à luminescence stimulée optiquement couplé optiquement à au moins une fibre optique (F₁, F₂, F₃), chaque élément de détection à luminescence stimulée optiquement étant maintenu en vis-à-vis d'une première extrémité de la fibre optique par une pièce mécanique fixée sur le câble support, la pièce mécanique étant maintenue dans un câble flexible (FL) par des moyens de maintien, les deuxièmes extrémités de chaque fibre optique débouchant à une même première extrémité du câble flexible.



DISPOSITIF DE DETECTION DE RADIATIONS ET SYSTEME DE DETECTION ASSOCIE

DESCRIPTION

5 Domaine technique et art antérieur

L'invention concerne un dispositif de détection de radiations ainsi qu'un système de détection apte à déterminer des radiations présentes dans une installation.

Les radiations concernées sont, par exemple, des photons d'énergie comprise entre 50KeV et 6MeV, voire plus, des électrons d'énergie supérieure au MeV,
10 etc.

La protection radiologique des personnes qui interviennent en milieu électronucléaire est obligatoire dans le but de minimiser leur exposition. Le respect du principe ALARA (ALARA pour « As Low As Reasonably Achievable », soit « Aussi Bas que Raisonnablement Possible ») a des répercussions réglementaires, économiques et
15 logistiques importantes sur l'organisation du travail.

Une dosimétrie individuelle est ainsi déployée à toutes les étapes du cycle d'un combustible, de sa préparation à la surveillance du fonctionnement d'une centrale, jusqu'au suivi de son assainissement en vue de son démantèlement et au stockage des déchets consécutifs à sa déconstruction. Les techniques de démantèlement
20 (*i.e.* robotique, télé-opération, dosimétrie) ont progressé au cours du temps et permettent de déconstruire les infrastructures au plus tôt après mise à l'arrêt définitif en minimisant l'exposition des travailleurs. Une dosimétrie permet d'optimiser le stockage et la gestion des déchets, d'anticiper l'impact de l'assainissement sur le personnel d'intervention et de mettre au point un scénario de démantèlement optimisé en termes
25 de logistique, coût et maîtrise des risques. En amont du cycle, la dosimétrie concerne le suivi d'activités d'infrastructures en opération (centrales, usines de production, etc.).

Le problème de la détection de la contamination existant dans les zones difficiles d'accès telles que, par exemple, les conduites de tuyauterie, est particulièrement important à résoudre. Le brevet US 5 665 972 divulgue des dispositifs qui mesurent la

contamination dans des conduites de tuyauterie. Les mesures relevées sont des mesures à une dimension également nommées mesures 1-D. Dans la suite de la description, les abréviations respectives « 0-D », « 1-D » et « 2-D » seront fréquemment utilisées à la place des termes « ponctuel », « à une dimension » et « à deux dimensions ».

5 Un premier dispositif divulgué dans le brevet US 5 665 972 est représenté en figure 1. Il comprend un élément de détection 1 formé d'une pluralité de dosimètres thermo-luminescents, par exemple quatre dosimètres, insérés dans un support. L'élément de détection 1 est fixé sur ses parois latérales à des câbles métalliques souples 2. Deux disques 3a, 3b percés en leur centre sont disposés de part et d'autre de
10 l'élément détecteur 1, les câbles métalliques souples 2 traversant les disques via leur perçage. Les disques 3a, 3b prennent appui sur la paroi intérieure de la conduite 4 dont la contamination est à mesurer. Les disques 3a, 3b ont pour objectif de maintenir l'élément de détection 1 sensiblement selon l'axe de la conduite à l'aide d'une pré-tension des câbles. Deux demi-tubes intercalaires T_1 , T_2 sont placés en vis-à-vis sur la paroi intérieure
15 de la conduite 4 afin de maintenir une distance minimale entre les deux disques. La détection de la contamination à l'intérieur de la conduite s'effectue par traction, en déplaçant l'élément détecteur 1 à l'intérieur de la conduite.

Le dispositif représenté en figure 1 présente des inconvénients. La présence des demi-tubes intercalaires T_1 , T_2 exclut le franchissement de courbures. Ce
20 dispositif ne peut donc être utilisé que dans des conduites rectilignes. Par ailleurs, les dosimètres thermo-luminescents ne permettent pas un usage opérationnel puisqu'ils nécessitent de démonter l'assemblage après chaque exposition, puis, de transmettre les dosimètres à un laboratoire spécialisé pour relever les mesures.

25 Un deuxième dispositif divulgué dans le brevet US 5 665 972 est représenté en figure 2.

Il comprend une série de détecteurs 5. Chaque détecteur 5 est constitué d'un détecteur Geiger-Muller miniature inséré dans une coquille de protection. Les coquilles sont reliées les unes aux autres par un câble porteur 6 constitués de deux câbles métalliques souples élémentaires, chaque câble métallique souple élémentaire ayant un
30 diamètre de 1,6mm. Le câble porteur 6 a pour fonction de tracter l'ensemble des

détecteurs dans la conduite 4 dont la contamination est à mesurer. Un câble électrique 7 relie les différents détecteurs 5 entre eux. Le câble électrique 7 a pour fonction d'alimenter les détecteurs Geiger-Muller en haute tension et de véhiculer les signaux de mesure.

5 Le dispositif de la figure 2 présente également des inconvénients. En effet, les détecteurs Geiger-Muller, même miniatures, demeurent relativement volumineux. Il n'est ainsi pas possible d'effectuer des mesures de débit de dose dans des conduites de très faible diamètre telles que, par exemple, des conduites de 8mm de diamètre. Un autre inconvénient des détecteurs Geiger-Muller est qu'ils nécessitent
10 l'apport d'une haute tension et qu'ils sont « éblouis » par des débits de dose importants. Par ailleurs, la transmission d'un signal de mesure est perturbée dès lors que la longueur du câble est trop grande (par exemple, au-delà de 20m) et la résolution d'un détecteur Geiger-Muller miniature déporté par une grande longueur de câble est de l'ordre du mGy/h, ce qui n'est pas suffisant aux stades ultimes de la décontamination où le débit de
15 dose atteint des valeurs de quelques $\mu\text{Gy/h}$.

Un inconvénient commun des deux dispositifs de l'art antérieur décrit ci-dessus est qu'ils doivent être installés par traction, nécessitant alors la présence d'un accès à chacune des deux extrémités de la conduite à analyser. Un autre inconvénient commun des deux dispositifs est que les conduites concernées ont un diamètre
20 relativement élevé, typiquement compris entre 25mm et 50mm.

L'invention ne présente pas les inconvénients mentionnés ci-dessus.

Exposé de l'invention

En effet, l'invention concerne un dispositif de détection de radiations comprenant au moins deux détecteurs de radiations distribués en série le long d'un câble support, chaque détecteur comprenant un élément de détection à luminescence stimulée
25 optiquement (« Optically Stimulated Luminescence » ou OSL) couplé optiquement à au moins une fibre optique, chaque élément de détection OSL étant maintenu en vis-à-vis d'une première extrémité de la fibre optique par une pièce mécanique fixée sur le câble support, la pièce mécanique étant maintenue dans un câble flexible par des moyens de

maintien, les deuxièmes extrémités de chaque fibre optique débouchant à une même première extrémité du câble flexible.

Selon le mode de réalisation préférentiel de l'invention, la pièce mécanique qui enserre le câble support comprend un premier alésage taraudé et un deuxième alésage alignés avec le premier alésage, l'élément de détection OSL étant fixé dans une vis elle-même vissée dans le premier alésage et la fibre optique étant fixée dans le deuxième alésage.

Selon une autre caractéristique supplémentaire de l'invention, les moyens de maintien comprennent un cylindre porteur fait d'une matière solide déformable sur lequel les fibres optiques sont enroulées, préférentiellement en hélice.

Selon encore une autre caractéristique supplémentaire de l'invention, une pluralité de fibres optiques sont couplées à un même élément de détection OSL, la pluralité de fibres optiques étant regroupées dans un tuyau capillaire sous la forme d'un faisceau de fibres optiques.

Selon encore une autre caractéristique supplémentaire de l'invention, une fibre optique contenant une pluralité de réseaux de Bragg (« Fiber Bragg Gratings » en langue anglaise) est insérée dans un tuyau capillaire (e.g. polyimide), puis enroulée de la même façon que les autres fibres optiques pour déboucher à la première extrémité du câble flexible.

Selon encore une autre caractéristique supplémentaire de l'invention, la deuxième extrémité du câble flexible, opposée à la première extrémité, est fermée par un embout. Dans un mode de réalisation particulier, l'embout comprend un microphone.

Selon encore une autre caractéristique supplémentaire de l'invention, le câble support est un fil multi-brins.

Selon encore une autre caractéristique supplémentaire de l'invention, le câble flexible est un tube métallique agrafé.

L'invention concerne également un système de détection de radiations dans une installation, le système comprenant un dispositif de détection de radiations selon l'invention et des moyens pour introduire par propulsion le dispositif de détection de radiations dans l'installation.

L'objet de l'invention est un câble flexible et de très faible diamètre (typiquement quelques millimètres) qui contient des détecteurs miniatures de taille millimétrique, voire sub-millimétrique, délivrant une cartographie linéaire (1-D), résistant aux radiations de niveaux élevés (typiquement plusieurs dizaines de kGy, voire plus) et pouvant être déportés sur une longue distance (typiquement plusieurs dizaines de mètres, voire plus).

Dans le cas des très faibles débits de dose, par exemple inférieurs à 10 $\mu\text{Gy/h}$, il est possible d'intégrer la dose sur une durée d'exposition de plusieurs heures, jours, semaines, voire mois, et ainsi d'obtenir un signal de dose exploitable (*i.e.* présentant un rapport signal sur bruit satisfaisant) pour en déduire un débit de dose moyen avec l'incertitude recherchée qui est généralement de l'ordre du pourcent.

Le mode opératoire qui résulte de l'utilisation du dispositif de détection de l'invention a un impact bénéfique sur l'organisation du travail. Les chantiers étant rarement opérationnels de nuit, la possibilité qu'offre le dispositif de l'invention d'une exposition nocturne permet en effet de réduire les contraintes d'organisation. Par ailleurs, l'intégralité du câble sensible peut être exposée de façon simultanée. A titre d'exemple non limitatif, seize lectures simultanées par jour correspondant à seize détecteurs répartis dans le câble flexible peuvent être effectuées. Il est alors possible de gagner du temps sur l'inspection de la totalité d'une infrastructure (conduite, cuves, bâtiment, etc.) par l'utilisation d'une pluralité de câbles conformes au câble de l'invention.

Selon le mode de réalisation préférentiel de l'invention, le dispositif de détection est constitué de détecteurs à luminescence stimulée optiquement ou détecteurs OSL (OSL pour « Optically Stimulated Luminescence ») couplés optiquement, chacun, à l'extrémité de fibres optiques servant, d'une part, à transmettre une lumière de stimulation optique jusqu'au détecteur OSL et, d'autre part, à collecter la luminescence émise par le détecteur OSL, qui résulte de l'exposition de celui-ci aux radiations. De façon avantageuse, la stimulation optique du détecteur OSL entraîne simultanément l'émission de lumière OSL par le détecteur et la remise à zéro du détecteur.

De façon avantageuse également, le dispositif de détection de l'invention permet d'effectuer une mesure opérationnelle durant laquelle le câble peut être laissé en place durant la totalité de l'opération de lecture et de remise à zéro, laquelle s'effectue en ligne et à distance. Le câble flexible équipé d'une pluralité de détecteurs à fibres optiques est déposé à l'endroit où l'on souhaite relever les mesures d'activité (infrastructure, tuyau, cuve, etc.) et laissé en place, pendant une durée fixée par l'utilisateur en fonction de l'activité recherchée, la durée d'exposition étant d'autant plus élevée que le débit recherché est faible. Pour chacun des détecteurs contenus dans le câble flexible, les doses sont déduites des luminescences enregistrées suite à la stimulation optique. Une distribution de débit de dose moyen peut alors être déterminée sur toute la portée sensible du câble en établissant le quotient entre les doses mesurées et la durée d'exposition choisie.

Un autre avantage de l'invention est l'absence d'électronique dans le câble, celle-ci étant déportée à l'extérieur du câble, dans un coffret dédié. Par ailleurs, de façon avantageuse également, les détecteurs OSL ne sont pas thermalisés, ce qui conduit à faire l'économie d'une électronique de thermalisation.

La mesure optique étant naturellement immune aux perturbations électromagnétiques, le dispositif de l'invention permet de faire l'économie de câbles triaxiaux volumineux. Par ailleurs, la présence de détecteurs OSL miniatures et de faisceaux de fibres optiques de faibles diamètres conduit à optimiser le volume du dispositif de détection, permettant ainsi d'accroître la capacité de mesure pour un même diamètre externe de câble. A volume équivalent, il est alors possible de loger une pluralité de détecteurs OSL dans l'espace occupé par un seul capteur conventionnel de type CZT (CZT pour « Cadmium Zinc Telluride »).

Selon l'invention, la dynamique de mesure en termes de débit de dose évolue typiquement de quelques $\mu\text{Gy/h}$ à environ 10 Gy/h , soit entre 5 à 7 ordres de grandeur (i.e. équivalent de 17 bits à 24 bits respectivement). Cette gamme de débit de dose est beaucoup plus élevée que celle des détecteurs conventionnels.

Selon un perfectionnement de l'invention, le profil de température le long du câble flexible est déterminé parallèlement au profil de débits de dose. En effet, dans le cas où la température n'est pas connue avec précision, une mesure du profil de température peut être effectuée par une ligne de réseaux de Bragg déployée le long du câble selon les procédés connus (c.f. S. Melle et al., « Practical fiber-optic Bragg grating strain gauge system », Appl. Opt., 32 (19), 1993, pp. 3601-3609). Il est alors possible de corriger l'influence de la température sur la mesure de dose. A titre d'exemple non limitatif, la correction peut être d'environ $0,3 \text{ \%} \cdot \text{K}^{-1}$ pour des cristaux d'alumine réduite.

Les capteurs OSL présentent une radiorésistance importante de sorte que le câble n'est pas démonté. Cette propriété garantit un gain de temps en opération mais aussi une économie de consommable pour l'exploitant puisque la durée de vie du câble peut être très importante (typiquement plusieurs années). Par ailleurs, la réponse des détecteurs OSL restant stable en fonction du temps, la durée qui sépare deux étalonnages consécutifs peut être longue. A titre d'exemple non limitatif, un étalonnage annuel suffit pour une exposition continue sous 1 Gy/h (calibrage tous les 10 kGy).

Dans le cas où des cristaux d'alumine réduite sont utilisés comme éléments détecteurs OSL, l'émission OSL intervient aux alentours de 400 nm pour une stimulation dans la gamme 480 nm - 550 nm . La transmission d'une fibre optique à cœur de silice pure gainée fluor est typiquement de 50 dB/km ($0,05 \text{ dB/m}$) à 400 nm . Ainsi, le signal OSL est-il atténué par un facteur $1/2$ sur une portée de 60 m . En pratique, cela impose de doubler le temps d'intégration nécessaire au détecteur en bout de chaîne par rapport à celui d'un détecteur équivalent, connecté proche de l'instrumentation. Le câble flexible peut ainsi avantageusement présenter une longueur de 50 à 60 mètres, voire plus, afin de couvrir une grande variété d'applications d'assainissement.

Il est possible d'atteindre des portées plus importantes avec des détecteurs OSL émettant dans le rouge ou le proche Infra-Rouge (MgS :Ce,Sm ou $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{-Mn}$ par exemple). L'atténuation est alors de l'ordre de 8 dB/km de sorte que le signal OSL est atténué par un facteur $1/2$ sur une portée de 400 m à la longueur d'onde de 650 nm . Un tel flexible OSL peut alors couvrir des étendues importantes compatibles avec des infrastructures de très grandes dimensions (usines, sites de stockage etc.).

Par opposition aux dispositifs 1-D divulgués dans le brevet US 5 665 972, l'originalité du dispositif de l'invention réside dans les éléments essentiels suivants :

- Il peut être inséré en conduite par propulsion, qui est le mode opératoire le mieux adapté sur un chantier puisque, fréquemment, un seul accès est disponible pour pénétrer une installation à inspecter ,

- Il peut être inséré dans des conduites de diamètre inférieur à 1cm et présentant un rayon de courbure aussi faible que 3cm,

- Il est constitué de détecteurs OSL radiorésistants, pouvant endurer des doses de plusieurs dizaines de kGy sans variation significative de leur sensibilité, permettant ainsi d'envisager la réalisation d'un câble non démontable et de réponse en dose stable dans le temps,

- Il est naturellement préservé des perturbations électromagnétiques et des déports importants peuvent être envisagés,

- La gamme de débit de dose est importante (5 à 7 ordres de grandeur) compte-tenu de la combinaison de la gamme en dose (3 à 4 ordres) avec la gamme de temps d'intégration (2 à 3 ordres), le même câble pouvant ainsi être opérationnel en environnement très fortement "dosant" (typiquement 10 Gy/h) et faiblement "dosant" (typiquement 1 μ Gy/h) en modifiant alors la durée d'exposition,

- La gamme en énergie de photons est importante (typiquement de 50keV à plus de 6MeV),

- Les fibres optiques présentent une « sur-longueur » qui permet d'accompagner la flexion de la structure mécanique du câble sans casser, et

- Dans un perfectionnement de l'invention, le dispositif de l'invention fournit des mesures de température associées aux mesures de débits de dose assurant ainsi, si nécessaire, une totale insensibilité de la mesure aux fluctuations de température.

Brève description des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture d'un mode de réalisation préférentiel fait en référence aux figures jointes parmi lesquelles :

- 5 - La figure 1, déjà décrite, représente un premier dispositif de détection de radiations selon l'art antérieur ;
- La figure 2, déjà décrite, représente un deuxième dispositif de détection de radiations selon l'art antérieur ;
- La figure 3 représente un schéma de principe de dispositif de détection de radiations
10 selon l'invention ;
- Les figures 4A-4D représentent des vues de détail du dispositif de détection de radiations de l'invention ;
- Les figures 5A et 5B représentent des éléments de fermeture du dispositif de détection de radiations de l'invention ;
- 15 - La figure 6 représente un schéma de principe d'une instrumentation de mesure de débit de dose associée au dispositif de détection de radiations de l'invention ;
- La figure 7 représente un système de détection de radiations dans une installation, le système utilisant un dispositif de détection de radiations conforme au dispositif de l'invention.

20 Sur toutes les figures, les mêmes références désignent les mêmes éléments.

Exposé détaillé de modes de réalisation de l'invention

La figure 3 représente un schéma de principe des éléments essentiels qui constituent un dispositif de détection de radiations selon l'invention et les figures 4A-
25 4D représentent des vues de détail du dispositif de détection de l'invention.

Le dispositif comprend un ensemble de détecteurs OSL D_i ($i=1, 2, 3$, etc.) placés dans un câble flexible FL. Les détecteurs D_i sont reliés les uns aux autres à l'aide d'un câble support MB. Chaque détecteur D_i est équipé d'un faisceau de fibres F_i . La

figure 4C représente une vue longitudinale en coupe d'un détecteur D_i . La figure 4D représente une vue transversale en coupe de ce même détecteur.

Le câble flexible FL est préférentiellement un tube flexible métallique agrafé (« *interlocked hose* » en langue anglaise). Le tube flexible métallique agrafé peut être à simple agrafage ou à double agrafage. Le tube à simple agrafage présente une plus grande flexibilité et un plus grand rapport de diamètre intérieur/extérieur que le tube à double agrafage, mais sa résistance mécanique est moindre.

En pratique, pour des applications de démantèlement, un tube flexible à double agrafage tel que celui représenté, par exemple, en figure 4A est préféré. A titre d'exemple non limitatif, le tube flexible à double agrafage est réalisé en acier inoxydable et peut être décliné sur une large gamme de diamètres nominaux, typiquement compris entre 4 mm et 100 mm. Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, le tube a, par exemple, un diamètre interne de 4,8mm et un diamètre externe de 8,5mm. Le rayon de courbure minimal du tube flexible est de 35mm. Son poids par unité de longueur est, par exemple, égal à 112 g/m. D'autres câbles peuvent également être utilisés tels que, par exemple, les gaines métalliques flexibles à base de tresse revêtue d'une couche de polychlorure de vinyle (PVC). De tels câbles flexibles métalliques sont élaborés à partir d'une bande métallique en acier inoxydable préformée. Etant donné que de tels câbles sont susceptibles d'être immergés, un revêtement polymère R est appliqué extérieurement, par exemple par enduction. Le revêtement R présente également l'avantage de faciliter les opérations de propulsion (réduction des frottements de par son caractère lisse) et de décontamination (contexte de démantèlement). Parmi les polymères utilisables pour le revêtement, le polyéthylène (PE) est préconisé en vertu de sa tenue en température (jusqu'à 105°C sous sa forme réticulée) et aux radiations, et de sa stabilité chimique satisfaisante, notamment vis-à-vis des acides utilisés pour l'assainissement.

Comme cela a été mentionné précédemment, un câble support MB relie les détecteurs D_i les uns aux autres. Contrairement à l'art antérieur (cf. le brevet US 5 665 972), le câble support MB n'est pas utilisé pour déployer ou insérer les détecteurs à l'intérieur d'une conduite. Dans le cadre de l'invention, l'effort nécessaire pour déployer

ou insérer les détecteurs dans les conduites est appliqué au seul câble flexible FL. Ce dernier peut avantageusement supporter un effort de propulsion sans flamber car, du fait de son diamètre, son moment de rigidité en flexion est beaucoup plus élevé que celui du câble support. Dans le cadre de l'invention, le câble support MB n'est utilisé que pour
5 relier les détecteurs et maintenir un espacement constant entre eux.

L'encombrement du dispositif de détection de l'invention est principalement fonction du diamètre des faisceaux de fibres (généralement de l'ordre de 200 μm à 600 μm), lequel diamètre a un impact sur les performances de détection. Une capacité de mesure plus importante peut être atteinte en augmentant le diamètre du
10 câble ou bien en réduisant le diamètre des faisceaux de fibres de collection (typiquement 100 μm). Le volume occupé par un détecteur élémentaire D_i et le signal optique recueilli sont deux paramètres évoluant en fonction du carré du diamètre du câble flexible FL. Ainsi, à diamètre de câble flexible constant, une augmentation de capacité d'un facteur 4 (64 fibres), par exemple, peut être atteinte par une réduction du diamètre des faisceaux
15 par un facteur 2. La réduction de signal consécutive à cette réduction du diamètre impose alors d'augmenter le temps d'exposition par un facteur 4 pour conserver un rapport signal sur bruit identique. Dans le cadre de l'invention, les fibres optiques utilisées pour réaliser un faisceau de fibres ont un diamètre faible (typiquement 100 μm à 200 μm). Il est ainsi avantageusement possible de les enrouler facilement et de réduire les
20 contraintes de courbure. A titre d'exemple non limitatif, un exemple de faisceau de fibres constitué de 7 fibres agencées selon une disposition hexagonale est donné en figure 4B. Les fibres fb sont assemblées par collage ou bien insérées dans un tuyau capillaire souple K formé à partir d'un polymère radio-résistant, par exemple le silicone, le polyuréthane, le polyéthylène ou le polypropylène. Il est également possible d'assembler un plus grand
25 nombre de fibres de diamètre plus réduit, par exemple par faisceau de 19 fibres.

Avantageusement, les fibres fb sont à faible rapport de diamètre gaine/cœur (« *low core/clad ratio* » en langue anglaise) afin d'optimiser la collection de lumière. Les fibres optiques sont préférentiellement multimodes, de diamètre de cœur compris entre 100 μm et 200 μm et présentent, par exemple, une ouverture numérique
30 (« *numerical aperture* » en langue anglaise) NA comprise entre 0,22 et 0,48.

Il est également possible d'utiliser des fibres multimodes à saut d'indice ou des fibres multimodes à gradient d'indice, revêtues d'un polymère dur tel que le polyimide. Ce polymère est appliqué en films minces (quelques dizaines de micromètres) et montre une bonne tenue aux radiations et en température.

5 La plupart des fibres sont également revêtues par d'autres polymères de type acrylate ou tefzel[®] qui sont alors éliminés sur les derniers centimètres pour former le faisceau de fibres. A titre d'exemples non limitatifs, les fibres multimodes à saut d'indice suivantes peuvent être utilisées :

- cœur 200 μm , gaine 225 μm , revêtement 500 μm , NA = 0,39,
- 10 - cœur 200 μm , gaine 230 μm , revêtement 500 μm , NA = 0,48,
- cœur 200 μm , gaine 230 μm , revêtement 500 μm , NA = 0,37 ou 0,43.

Quel que soit le type de fibre utilisée, un faisceau hexagonal de fibres présente une couverture plus réduite qu'une fibre unique ayant le diamètre externe du faisceau. Ainsi, pour une surface totale de 0.22 mm² couverte par sept fibres d'un faisceau hexagonal, la surface d'une fibre unique ayant le diamètre externe du faisceau correspondrait à 0.283 mm². La perte de surface est donc d'environ 30 %. Cependant, la rigidité d'une fibre augmente en fonction du cube de son diamètre. Le faisceau hexagonal à 7 fibres présente alors une flexibilité 27 fois inférieure à celle d'une fibre unique de diamètre équivalent et est donc beaucoup plus facile à enrouler à l'intérieur du câble flexible.

Par ailleurs, pour un rayon de courbure donné, les contraintes de courbures évoluent proportionnellement au diamètre de la fibre. Ainsi, les contraintes appliquées au faisceau de fibres sont-elles trois fois plus réduites que pour une fibre unique. En pratique, la déformation appliquée à une fibre doit rester très inférieure au pourcent pour réduire les risques de cassure. La déformation par courbure correspond au diamètre de la fibre divisé par deux fois son rayon de courbure. Pour une fibre de 200 μm de diamètre et un rayon de courbure minimal de 30mm, la déformation maximale générée par la courbure est d'environ 0,33 %, ce qui est acceptable.

La figure 4C représente une vue en coupe longitudinale d'un détecteur D_i et la figure 4D représente une vue en coupe transversale du câble flexible au niveau d'un détecteur D_i .

Un cristal détecteur OSL 9 est placé en vis-à-vis de l'extrémité d'un faisceau de fibres optiques F_i . Le cristal détecteur 9 et le faisceau de fibres F_i sont placés, l'un en face de l'autre, dans deux alésages concentriques d'une pince d. Un premier alésage accueille le faisceau de fibres optiques F_i et a, en conséquence, un diamètre requis pour accueillir le faisceau de fibres, par exemple 0,6mm. Le second alésage est taraudé et accueille une vis sans tête V, par exemple en inox, qui contient le cristal détecteur 9. Le cristal détecteur 9 est fixé en fond de trou, par exemple par une colle de type époxy présentant une tenue mécanique satisfaisante aux radiations. Le faisceau de fibres F_i est également fixé dans sa monture, par exemple à l'aide d'une colle de type époxy. Ce procédé de couplage entre le cristal détecteur 9 et le faisceau de fibres F_i permet de laisser un très faible intervalle d'air entre le cristal et le faisceau de fibres. Il est également possible que le cristal détecteur 9 et l'extrémité du faisceau de fibres F_i soient en contact l'un avec l'autre. En pratique, il existe une petite épaisseur d'air de quelques dizaines de micromètres entre le cristal détecteur 9 et l'extrémité du faisceau de fibres F_i en raison de leur état de surface.

Chaque pince est, par exemple, usinée dans un parallélépipède en acier inoxydable de dimensions $3 \times 3 \times 10 \text{ mm}^3$ environ. Le parallélépipède en acier est, par exemple, usiné par tournage sur une première partie et percé par un trou d'un diamètre équivalent à celui du câble support, par exemple un diamètre de 1mm, sur une deuxième partie. Sur cette deuxième partie, le parallélépipède en acier est également rainuré sur toute une demi-longueur afin de former une pince. Le câble support MB est alors engagé dans le trou et la pince serrée sur le câble support par deux vis VR, par exemple, en inox. Alternativement, il est possible de solidariser chaque pince au câble support MB par soudage.

A titre d'exemple non limitatif, le câble support MB est constitué d'un fil multi-brins en acier inoxydable (*e.g.* $\varnothing = 1 \text{ mm}$), de module d'élasticité proche de 200

GPa. Une force de traction maximale de l'ordre de 400 N (40 kg), correspondant à une contrainte de 400 MPa, peut alors être appliquée dans la limite élastique de 0,2 %.

Pour optimiser la répartition des faisceaux de fibres dans le câble flexible FL, les différentes pinces peuvent se succéder avec des orientations angulaires variables, par exemple en spirale, le long du câble support MB.

La longueur des pinces peut avantageusement être conçue en fonction de la courbure minimale qu'il est nécessaire d'assurer au câble flexible FL. A titre d'exemple non limitatif, pour un rayon de courbure minimal souhaité égal à 30mm d'un câble flexible FL de diamètre interne égal à 4 mm, la longueur d'un segment linéaire ne doit pas excéder 20 mm. Des pinces de 10mm de longueur peuvent alors être choisies pour ne pas gêner la courbure du câble flexible en opération.

La figure 4D représente une vue en coupe transversale du câble flexible au niveau d'un détecteur D_i . Les faisceaux de fibres F_j , F_k , F_l , etc. qui proviennent des détecteurs respectifs D_j , D_k , D_l , etc. (non représentés sur la figure) sont enroulés, préférentiellement en spirale, sur un cylindre porteur S fait d'une matière solide déformable, par exemple un cylindre de mousse, qui entoure la pince d (le cylindre S n'est pas représenté sur la figure 3 pour des raisons de commodité).

Les faisceaux de fibres F_j , F_k , F_l , etc. sont répartis sur le cylindre porteur S qui est positionné entre la paroi intérieure du câble flexible FL et la pince d. La paroi intérieure du câble FL est, préférentiellement, recouverte d'une pellicule de graisse G apte à permettre le mouvement des faisceaux de fibres. Les faisceaux de fibres sont enroulés sur le cylindre porteur S avant le montage des détecteurs dans le câble flexible FL. En fonctionnement, le cylindre porteur S n'oppose avantageusement pas de résistance aux mouvements des fibres.

Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, des réseaux de Bragg B sont photo-inscrits dans une fibre monomode conventionnelle, laquelle fibre est insérée dans un capillaire enroulé, à la manière des faisceaux de fibres optiques, autour du cylindre porteur S. Chaque réseau de Bragg B est placé au plus près d'un cristal détecteur 9. De façon connue en soi, les réseaux de Bragg servent à mesurer la

température des cristaux détecteurs 9. Chaque réseau de Bragg est photo-inscrit à une longueur d'onde de Bragg différente qui permet d'identifier sa position dans le flexible.

Le comportement en flexion du câble détecteur de l'invention est décrit ci-après, dans le cas où le diamètre interne du câble flexible est, par exemple, égal à 4mm. Dans ce cas, la différence de rayon de courbure entre deux faisceaux de fibres situés aux deux extrémités d'un diamètre interne du câble flexible aligné avec le rayon de courbure du câble flexible est sensiblement égale à 4mm.

Le faisceau de fibres le plus éloigné du centre du rayon de courbure parcourt alors une distance plus élevée que l'autre faisceau de fibres, à raison de sensiblement 25mm par tour complet de câble FL. Concrètement, le pire des cas correspond à la situation de stockage pour laquelle le câble flexible est toujours enroulé dans le même sens (cf. Figure 7). Pour l'enroulement d'un câble de 20m de long sur un touret de stockage ayant un rayon de 150mm, 21 tours sont nécessaires pour enrouler le câble complet sur le touret. Le décalage de longueur entre les deux faisceaux de fibres situés aux deux extrémités du diamètre interne du câble est alors sensiblement égal à 525 mm (i.e. 21x25mm).

Selon le mode de réalisation préférentiel de l'invention, les faisceaux de fibres sont enroulés en hélice autour de l'axe du câble flexible. Pour une longueur donnée d'une fraction rectiligne du câble flexible, chaque faisceau de fibre a en conséquence une longueur supérieure à la longueur de la fraction rectiligne du câble. Dans la suite de la description, la différence entre la longueur du faisceau de fibre et la longueur de la fraction rectiligne du câble qui lui correspond est appelée « sur-longueur ». Dans le cas où le diamètre interne du câble est sensiblement égal à 4mm, les hélices ont, par exemple, un pas de l'ordre de 50 à 60mm. Selon cette configuration, la sur-longueur obtenue par enroulement en hélice est d'environ 1,55mm par pas de 50 mm, soit une sur-longueur de 31mm/m qui est alors suffisante pour enrouler le câble sur un touret de 150 mm de rayon sans risque de détérioration.

La réalisation du dispositif de détection de l'invention va maintenant être décrite. L'ensemble des détecteurs D_i et des faisceaux de fibres F_i sont tout d'abord

enroulés sur le cylindre porteur et recouverts de graisse pour, d'une part, faciliter leur insertion dans le câble flexible et, d'autre part, faciliter le mouvement des fibres à l'intérieur du câble lors des opérations ultérieures de décontamination. Un tire-fil sous forme de tige rigide, de longueur sensiblement égale à celle du câble flexible FL, est ensuite raccordé au câble support et introduit dans le câble flexible, au niveau d'une première extrémité du câble flexible. Le câble flexible est maintenu rectiligne lors de l'introduction du tire-fil. Le tire-fil est ensuite sorti du câble flexible, à l'extrémité du câble flexible opposée à la première extrémité, entraînant ainsi l'ensemble des détecteurs D_i à l'intérieur du câble. Une fois l'ensemble des détecteurs D_i placés à l'intérieur du câble flexible, le tire-fil est retiré et un embout de protection et d'étanchéité est positionné à l'extrémité du câble flexible située à l'opposé de l'extrémité par laquelle sortent les faisceaux de fibres. Cet embout est détaillé ci-dessous en référence aux figures 5A et 5B. Au niveau de l'embout d'étanchéité, le câble support MB est sectionné et l'extrémité de celui-ci est préférentiellement laissée libre. A l'extrémité du câble flexible FL située à l'opposé de l'embout, les faisceaux de fibres F_i , F_j , F_k , F_l , etc., le capillaire KP et le câble support MB sont reliés à une bride comme cela est détaillé en référence aux figures 6 et 7 ci-dessous.

Les figures 5A et 5B représentent des éléments de fermeture du câble flexible.

La figure 5A représente un élément de fermeture de câble flexible selon un premier mode de réalisation de l'invention. A titre d'exemple non limitatif, l'élément de fermeture est un bouchon en acier EB qui est soudé à l'extrémité du câble flexible FL. Le bouchon en acier permet d'encaisser les chocs du câble lors de la progression de celui-ci dans une conduite.

La figure 5B représente un élément de fermeture de câble flexible selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. L'élément de fermeture selon le deuxième mode de réalisation de l'invention comprend un microphone MC. Une première partie P_1 de l'élément de fermeture est une monture, préférentiellement en acier inoxydable, qui est rendue solidaire du câble flexible par soudage et une deuxième partie P_2 est un bouchon, préférentiellement en duralumin, constitué d'une vis à tête

hémisphérique vissée sur la monture. Le microphone MC est inséré dans un cylindre CY, préférentiellement en silicone, pour le protéger des chocs et noyé dans une graisse GR qui assure le couplage acoustique avec le bouchon. Le microphone MC est relié à des fils électriques AL. Les fils électriques AL permettent d'alimenter électriquement le microphone et de récupérer le signal électrique délivré par le microphone. A titre d'exemple non limitatif, trois fils électriques sortent du microphone et sont raccordés, par soudure, à trois fils électriques présents dans le câble flexible FL. Si nécessaire, l'excédent de fils est enroulé. Un des fils électriques d'alimentation peut être relié électriquement à un fil du câble multi-brins afin de réduire le nombre de fils présents dans le câble flexible.

L'utilisation d'un élément de fermeture équipé d'un microphone se produit, par exemple, lors du déploiement en piscine d'un câble flexible. Dans un tel contexte, une localisation acoustique par ultra-sons peut être mise en œuvre. Le microphone est, par exemple un microphone miniature plus connu sous le nom de microphone MEMS (MEMS pour « *Micro-Electrical-Mechanical Systems* »). Dans un mode de réalisation particulier (non représenté sur les figures), plusieurs microphones peuvent également être disposés en différents endroits à l'intérieur du câble flexible dont le diamètre est alors adapté à la présence des microphones. Il est alors possible de rendre compte du déploiement du câble sous l'eau. La localisation est obtenue, de façon connue en soi, en immergeant au moins trois sources sonores dans la piscine à inspecter. Un mode de fonctionnement possible est de faire émettre séquentiellement, par chaque source, un signal sonore impulsionnel et périodique à une fréquence arbitraire, par exemple proche de 20 kHz, afin de réduire les recouvrements sonores dus aux échos sur les parois. Les trois signaux reçus séquentiellement par le (ou les) microphones MEMS logés dans le câble flexible sont alors synchronisés par rapport aux signaux d'émission respectifs afin d'en déterminer les retards temporels. La distance entre un microphone logé dans le câble flexible et le repère local qui porte les trois sources sonores est alors déterminée à partir des trois retards temporels mesurés et de la vitesse connue du son dans l'eau.

La figure 6 représente un schéma de principe d'une instrumentation de mesure de débit de dose associée au dispositif de détection de radiations de l'invention.

Les faisceaux de fibres optiques qui sortent de l'extrémité du câble flexible FL située à l'opposé du bouchon de fermeture constituent un ensemble de faisceaux de fibres E. Les faisceaux de fibres de l'ensemble E sont reliés à un commutateur optique Q. Le nombre de faisceaux de fibres est égal au nombre de détecteurs D_i , par exemple 16. Le commutateur optique Q est relié à un bloc de détection optoélectronique 10. De façon connue en soi, le bloc de détection optoélectronique 10 contient un laser, un photomultiplicateur, un obturateur électromécanique et des filtres servant à filtrer la lumière laser avant stimulation des détecteurs OSL et la luminescence qui résulte de la détection, après collection par les faisceaux de fibres (cf. *Magne et al. "Multichannel dosimeter and Al_2O_3 Optically Stimulated Luminescence fibre sensors for use in radiation therapy – evaluation with electron beams" Radiat. Prot. Dosim. 131(1) , 2008, pp 93-99).*

L'instrumentation décrite en Figure 6 effectue une lecture des différents détecteurs de façon séquentielle. Pour les applications électronucléaires, en démantèlement et en protection radiologique, il faut effectuer des relevés de débits de dose ambiants sous exposition par des sources permanentes non contrôlées. Pour cette raison, une remise à zéro préalable est toujours réalisée avant exposition. Le protocole se déroule alors de la façon suivante :

- Stimulation optique préliminaire effectuant une remise à zéro préalable de l'ensemble des détecteurs OSL,
- Arrêt de la stimulation optique préliminaire et exposition des détecteurs OSL durant un temps T défini par l'utilisateur (quelques minutes, heures, jours, voire semaines ou mois),
- Stimulation optique ultérieure avec lecture des luminescences OSL issus des différents détecteurs OSL et remise à zéro de l'ensemble des détecteurs.

De façon connue en soi, le bloc de détection optoélectronique 10 délivre, à partir des données de lecture des luminescences OSL, des données DB de débit de dose pour chacun des détecteurs OSL.

Un signal OSL élémentaire détecté par le bloc 10 est constitué d'une impulsion OSL et d'une ligne de base. La ligne de base est un signal qui résulte de la contribution de différents phénomènes, à savoir :

- bruit de fond du détecteur OSL,
- 5 - fluorescence des pièges profonds du cristal détecteur OSL,
- scintillation et effet Cerenkov dans la fibre qui propage l'impulsion OSL, lesquels sont fonction du caractère rayonnant de l'environnement présent autour du câble flexible.

10 L'impulsion OSL atteint un minimum asymptotique au bout d'un temps de lecture T_{OSL} , dès lors que l'essentiel des pièges présents dans le cristal détecteur ont été vidés (typiquement 99,9%). On réalise alors une mesure de la valeur moyenne du minimum asymptotique sur les derniers points d'enregistrement. Cette valeur moyenne est alors soustraite du signal impulsif OSL sur toute la période T_{OSL} . Le signal corrigé qui résulte de cette soustraction est indépendant des perturbations extérieures et, 15 notamment, de l'effet Cerenkov. Le signal corrigé est alors intégré sur toute la bande temporelle puis pondéré par un coefficient de calibrage pour en déduire la dose D intégrée sur toute la durée d'exposition. Le débit de dose moyen DdD est alors estimé en divisant la dose D par la durée d'exposition T :

$$DdD = D / T$$

20 L'utilisateur peut réaliser une séquence d'acquisition périodique ou bien une seule mesure. Dans le cas où l'utilisateur réalise plusieurs acquisitions de façon périodique, le protocole se réduit avantageusement à deux phases (exposition et stimulation optique) puisque la stimulation optique réalise la remise à zéro pour la mesure suivante.

25 De même, l'utilisateur peut réaliser plusieurs relevés sur plusieurs câbles en parallèle dans l'objectif de gagner du temps sur la dosimétrie globale d'une installation. Cette option est particulièrement avantageuse en environnement faiblement dosant, avec des durées d'exposition élevées (de l'ordre de la journée, voire de la semaine ou du mois). Dans ce cas, les opérations de remise à zéro sont horodatées pour 30 toutes les lignes analysées en parallèle.

La déconnexion du câble flexible permet à l'opérateur de sortir de zone pendant la phase d'exposition. Cette phase a donc peu d'impact sur l'exposition du personnel et sa durée peut être choisie aussi longue qu'il est nécessaire, le mode de fonctionnement en parallèle permettant de gagner du temps sur la lecture.

5 Dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention, une fibre cristalline OSL de 0,5 mm de diamètre et de 5 mm de longueur constitue un compromis intéressant. La résolution en dose est estimée à environ 0,7 mGy avec des cristaux $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$. A titre d'exemple non limitatif, pour une durée d'exposition de 18 heures, la résolution en débit de dose moyen est de 0,7 mGy/18h soit 40 $\mu\text{Gy/h}$. Une telle durée
10 peut alors être obtenue aisément en déclenchant l'intégration en fin de journée vers 16h00 et en effectuant les lectures de doses le lendemain matin vers 10h00. Toujours à titre d'exemple, il est également possible d'intégrer, durant une semaine entière (i.e. 168 heures), des données de mesure lors d'une fin de chantier d'assainissement. La résolution en débit de dose est alors de l'ordre de 0,7 mGy/168 h, soit 4 $\mu\text{Gy/h}$.

15 Le dispositif de détection de l'invention permet avantageusement d'atteindre une dynamique élevée en terme de débit de dose (5 à 7 décades) grâce à la combinaison de la gamme de dose (3 à 4 décades) et de la gamme de durée d'exposition (2 à 3 décades).

L'intérêt d'un câble sensible 1-D est de réaliser un relevé de plusieurs
20 mesures en différents points (cartographie linéaire de l'activité) de façon simultanée afin de gagner du temps dans la dosimétrie. En effet, les lectures peuvent alors être réalisées simultanément en différents endroits et non plus séquentiellement comme c'est le cas en déplaçant un capteur ponctuel sur toute la scène à analyser.

La figure 7 représente un système de détection de radiations dans une
25 installation qui utilise un dispositif de détection conforme au dispositif de l'invention. De façon générale, l'installation peut être une installation contaminée ou une installation qui, sans être contaminée, est exposée à des radiations. Dans l'exemple de la figure 7, l'installation I est une installation contaminée qui doit, en conséquence, être décontaminée.

L'installation à décontaminer I comprend, par exemple, une conduite 11 et une cuve 12 dans laquelle débouche la conduite 11. Le câble flexible FL équipé de détecteurs est introduit dans la conduite 11 à partir d'une zone ZA non contaminée qui est accessible aux utilisateurs. Le câble flexible FL est introduit dans l'installation I à l'aide
5 d'un dispositif de propulsion qui comprend un tube d'injection 13, un moteur 14 équipé d'un levier de commande 15, un touret 16 sur lequel le câble flexible est enroulé et des moyens mécaniques d'entraînement 17 qui relie le moteur au touret. Le touret 16 est équipé d'un connecteur multi-fibres 18 qui relie les deuxièmes extrémités des fibres optiques épanouies qui débouchent du câble flexible à une instrumentation de mesure.
10 L'instrumentation de mesure comprend, par exemple, un câble optique multi-fibres 19, un connecteur multi-voies 20 et une unité de mesure 21.

L'objectif est de réaliser des relevés de débit de dose à l'intérieur de la conduite et de la cuve et, ainsi, de suivre l'évolution du procédé d'assainissement. L'installation I demeure inaccessible aussi longtemps que l'assainissement n'est pas
15 terminé.

Comme cela est décrit ci-dessous, les mesures se déroulent en trois phases.

Phase 1 : Propulsion du câble

L'opérateur a préalablement déconnecté le câble optique multifibres 19
20 du touret. En cas d'oubli, la présence du connecteur dans son logement empêche la mise en marche du moteur.

L'extrémité du câble flexible FL initialement enroulé autour du touret 16 est engagée dans le tube d'injection 13. Le tube d'injection 13 est relié à l'entrée de la conduite 11. Lorsque l'opérateur enclenche le levier de commande 15 en position
25 « propulsion », la rotation du moteur 14 est activée à vitesse contrôlée et les moyens mécaniques d'entraînement 17 mettent le touret en rotation. Le câble flexible FL est alors propulsé dans la conduite 11.

Des galets d'entraînement sont utilisés pour la propulsion du câble flexible. La pression d'entraînement des galets est ajustable jusqu'à une valeur maximale

fonction de la résistance du câble. Par exemple, pour un câble résistant à 200 kg, l'effort maximal pourra être limité à 50 kg afin de prendre en compte un coefficient de sécurité. En cas de blocage dû, par exemple, à une diminution imprévue de la section de la conduite, il y a arrêt naturel de la propulsion et sauvegarde du câble sitôt que la force de réaction est supérieure à la force de frottement. L'opérateur doit alors arrêter l'opération de propulsion pour analyser la cause du blocage.

Lorsque le câble est intégralement déployé, le noyau servant de butée d'arrêt impacte le tube d'injection 13 et bloque le câble pour éviter de détruire la liaison optique adaptée sur le moyeu du touret. Les galets d'entraînement se mettent alors à patiner et l'opérateur doit alors couper le moteur et passer au point mort.

Phase 2 : Exposition et relevé de débits

Lorsque le câble flexible atteint la position voulue, que le câble soit ou non entièrement déroulé, l'opérateur met le moteur au point mort.

L'opérateur raccorde alors l'instrumentation de mesure 19, 20, 21 au connecteur 18 logé dans le moyeu du touret. Comme cela a été mentionné précédemment en référence à la figure 6, l'instrumentation de mesure comprend des moyens aptes à stimuler optiquement les détecteurs OSL. La stimulation optique des détecteurs OSL peut donc être effectuée. De façon préférentielle, la connexion de l'instrumentation de mesure au connecteur 18 désactive l'alimentation du moteur et empêche la rotation de celui-ci.

L'opérateur peut alors soit laisser l'instrumentation de mesure connectée et attendre la fin de l'exposition, soit déconnecter l'instrumentation de mesure pour réaliser la stimulation optique d'autres câbles flexibles.

Dans tous les cas, à la fin de la durée d'exposition, l'instrumentation de mesure doit être connectée au connecteur 18 afin que les luminescences qui résultent de la détection de radiations nucléaires soient lues. Dans le cas - non souhaité - où l'opérateur oublie de connecter l'instrumentation de mesure et déclenche malgré tout l'acquisition de données, rien ne se passe puisque le câble flexible FL n'est pas connecté. L'utilisateur n'observe alors aucun signal et un message d'erreur apparaît sur l'écran

l'informant de l'anomalie. Il est alors demandé à l'opérateur de connecter l'instrumentation de mesure et de faire une lecture. Sur la base des données de luminescence lues, l'unité de calcul 20 calcule les débits de dose.

Phase 3 : Rembobinage du câble

5 Une fois les luminescences lues, l'opérateur déconnecte à nouveau le câble multifibres 19 du touret ce qui permet à nouveau de faire tourner le moteur. L'opérateur peut alors enclencher le rembobinage du câble sur le touret en actionnant le levier 15 en position « rembobinage ». Cette opération est réalisée par la mise en rotation d'un second moyeu entraînant une courroie qui transmet l'effort de rotation au touret. Le
10 touret est alors mis en rotation dans le sens inverse du sens de la phase 1 et le câble flexible FL est rembobiné, préférentiellement en « zig-zag » (combinaison d'un mouvement de rotation et d'un mouvement de translation alternés) pour répartir le câble de façon homogène sur toute la surface du touret. D'autres protocoles de rembobinage peuvent également être envisagés.

15 Il est avantageusement possible de déconnecter facilement l'instrumentation de mesure du câble flexible FL, que ce soit en phase de propulsion/rembobinage ou en phase d'exposition aux radiations. L'instrumentation de mesure peut alors être réutilisée pour faire des mesures avec d'autres câbles préalablement propulsés dans d'autres conduites dans le but de gagner du temps dans le
20 suivi de la contamination de l'installation dans son ensemble.

De façon avantageuse, des mesures de température peuvent être effectuées en parallèle, si cela s'avère nécessaire, grâce à une fibre monomode présente dans le câble optique multi-fibres 19 et reliée, via le connecteur 18, à la fibre monomode qui contient les réseaux de Bragg présent dans le câble flexible. De même, lorsque cela
25 s'avère nécessaire, par exemple pour des mesures en piscine, un connecteur électrique (non représenté sur la figure) récupère le signal provenant du (ou des) microphone(s) incorporé(s) dans le câble flexible FL.

Le câble optique multi-fibres 19 est connecté sur le connecteur 18 solidaire du touret. Le câble optique 19 est déconnecté lors des phases de propulsion et

de rembobinage étant donné que le touret est mis en rotation lors de ces deux phases. Dans un mode de réalisation, le câble optique 19 comporte un noyau (deux demi-coques) vissé en partie terminale (à quelques dizaines de centimètres de l'extrémité) qui sert de butée mécanique. Le déroulement du câble, guidé par un tube guide en sortie du touret, est alors naturellement bloqué lorsque le noyau impacte le tube guide. Par ailleurs, un capteur de présence du connecteur enfiché déclenche une sécurité empêchant la mise en marche du moteur en cas d'oubli. La présence du connecteur désactive l'alimentation du moteur et empêche ainsi celui-ci de tourner (et donc de détruire le câble optique).

L'intérêt logistique du câble flexible équipé de détecteurs OSL de l'invention va maintenant être décrit.

L'usage du câble 1-D de l'invention permet de gagner du temps sur la dosimétrie globale de l'installation étudiée et contribue en conséquence, indirectement, à optimiser le coût d'une opération d'assainissement. Ce mode opératoire est particulièrement intéressant du point de vue logistique en environnements faiblement « dosants » caractérisés par des temps d'exposition élevés (de l'ordre de la journée à la semaine).

L'utilisateur peut réaliser des relevés curvilignes 1-D à l'aide d'un seul câble. Dans ce cas, le câble 1-D peut rester connecté à son instrumentation de lecture ou bien être déconnecté, ce qui permet à l'opérateur de sortir de zone pendant la phase d'exposition. A titre d'exemple non limitatif, pour 16 points de mesure simultanés relevés avec un câble flexible, la durée totale DT d'une opération de dosimétrie OSL 1-D est :

$$DT = T + 32 \times T_{OSL}, \text{ où}$$

T est la durée d'exposition (par exemple quelques dizaines de minutes, plusieurs heures, plusieurs jours ou plusieurs semaines), et

T_{OSL} est la durée de lecture et remise à zéro des détecteurs OSL (typiquement de l'ordre de quelques dizaines de secondes).

L'utilisateur peut également procéder à des relevés 2-D en déployant N câbles flexibles 1-D en parallèle, par exemple 8 câbles. Dans ce cas, les N câbles 1-D sont déployés et déconnectés simultanément et les opérations de remise à zéro et de lecture

sont horodatées pour toutes les courbes analysées en parallèle. La durée totale DT de l'opération de dosimétrie OSL 2-D est alors, pour 16 points de mesure simultanés relevés avec un câble flexible:

$$DT = T + 32 \times 8 \times T_{OSL}, \text{ soit}$$

5

$$DT = T + 256 \times T_{OSL}$$

Considérons un débit de dose de 6mGy/h. En adoptant une durée d'exposition de 2 heures, la résolution de mesure par OSL du débit de dose vaut sensiblement 0,25 mGy/h (SNR = 24). La durée totale de l'opération de dosimétrie OSL est alors de 2,25 heures pour 16 points de mesure en 1-D et de 4,1 h pour 128 points de mesure en 2-D.

10

Il est possible de comparer ces durées de dosimétrie OSL à la durée d'une dosimétrie conventionnelle ponctuelle (0-D) réalisée à l'aide d'un détecteur CZT miniature (quelques mm³) pouvant être inséré et déplacé dans une conduite. La durée d'acquisition est de l'ordre de 15 minutes pour un débit de dose typique de 6mGy/h (cf. A. Rocher, N. Blanc de Lanaute « Caractérisations par spectrométrie gamma Cd-Zn-Te de la contamination des circuits des centrales nucléaires », Congrès SFRP 2013, Paris). En conséquence, la durée de dosimétrie avec le détecteur CZT est-elle de 4 heures (16x15 minutes = 4 h) en 1-D et de 32 heures (128x15 min = 32 h) en 2-D.

15

A performance équivalente, la dosimétrie OSL 1-D/2-D réalisée avec le dispositif de l'invention est donc plus rapide que la dosimétrie 0-D réalisée avec un détecteur CZT. Par ailleurs, la mesure conventionnelle 0-D nécessite un opérateur d'astreinte en permanence sur le terrain puisque les lectures s'effectuent de manière séquentielle. En contrepartie, la méthodologie OSL repose sur un mode de lecture quasi-simultanée de tous les détecteurs en même temps de manière automatisée. Ainsi, la présence d'un opérateur n'est requise que pour le déclenchement du protocole de lecture OSL.

20

25

Cette méthodologie OSL parallèle permet ainsi de gagner du temps dans l'opération de dosimétrie proprement dite mais aussi en temps d'opérateur.

Parallèlement à l'intérêt économique de l'utilisation du dispositif de détection de l'invention, une cartographie linéaire de l'activité permet de réduire l'incertitude de mesure d'origine statistique, pour un temps de mesure identique à celui d'un détecteur unique déplacé. En effet, considérons un détecteur ponctuel (0-D) unique

5 délivrant une mesure de débit de dose avec une incertitude donnée au bout d'un temps d'exposition T. Il faut donc un temps total $N \times T$ pour analyser les N points de mesure de la scène.

En contrepartie, considérons maintenant le cas d'un câble constitué de N détecteurs exposés simultanément pendant la même durée d'exposition T. La

10 statistique de mesure est alors la même et le temps de mesure est réduit par un facteur N. Ce même câble exposé pendant une durée $N \times T$ délivre alors une mesure de débit de dose avec une incertitude améliorée d'un facteur $\frac{1}{\sqrt{N}}$ par rapport à un détecteur unique déplacé.

A durée de dosimétrie identique d'une scène, la mesure 1-D permet

15 ainsi d'améliorer les résultats de mesures de débits de dose. Pour 16 points, l'incertitude de mesure est, par exemple, améliorée par un facteur 4. Pour une pluralité de 8 câbles à 16 détecteurs exposés simultanément, l'incertitude de mesure est, par exemple, améliorée par un facteur 11 par rapport à un détecteur unique.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de détection de radiations comprenant au moins deux détecteurs (D_i) de radiations distribués en série le long d'un câble support (MB),
5 caractérisé en ce que chaque détecteur (D_i) comprend un élément de détection à luminescence stimulée optiquement (9) couplé optiquement à au moins une fibre optique (F_i), chaque élément de détection à luminescence stimulée optiquement (9) étant maintenu en vis-à-vis d'une première extrémité de la fibre optique par une pièce mécanique (d) fixée sur le câble support (MB), la pièce mécanique (d) étant maintenue
10 dans un câble flexible (FL) par des moyens de maintien (S , F_k , F_i , F_j) qui comprennent un cylindre porteur (S) fait d'une matière solide déformable sur lequel les fibres optiques sont enroulées, les deuxièmes extrémités de chaque fibre optique débouchant à une même première extrémité du câble flexible (FL).

15 2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel la pièce mécanique (d) qui enserre le câble support (MB) comprend un premier alésage et un deuxième alésage alignés l'un avec l'autre, l'élément de détection à luminescence stimulée optiquement (9) étant fixé dans le premier alésage et la fibre optique (F_i) étant fixée dans le deuxième alésage.

20 3. Dispositif selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel les fibres optiques sont enroulées en hélice.

25 4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la matière solide déformable est un polymère.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel une pluralité de fibres optiques sont couplées à un même élément de détection à luminescence stimulée optiquement (9), la pluralité de fibres optiques étant
30 regroupées dans un tuyau capillaire (K) sous la forme d'un faisceau de fibres optiques (F_i).

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel une couche de graisse (G) recouvre une paroi intérieure du câble flexible.

5 7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel une couche de polymère (R) recouvre une paroi extérieure du câble flexible.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel une fibre optique monomode contenant une pluralité de réseaux de Bragg (B) est fixée dans la pièce mécanique (d), la fibre optique ayant une extrémité débouchant à la première extrémité du câble flexible (FL).

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le câble support (MB) est un fil multi-brins.

10 15 10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le câble flexible (FL) est un tube métallique agrafé.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le diamètre nominal du câble flexible (FL) est compris entre 4mm et 100 mm.

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le diamètre du cœur d'une fibre optique multimode est compris entre 100µm et 200µm.

25 13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel une deuxième extrémité du câble flexible (FL), opposée à la première extrémité, est fermée par un embout (EB).

14. Dispositif selon la revendication 13, dans lequel l'embout comprend un microphone (MC).

30

15. Système de détection de radiations dans une installation (I), le système comprenant un dispositif de détection de radiations et des moyens pour introduire le dispositif de détection de radiations dans l'installation (I), caractérisé en ce que le dispositif de détection de radiations est un dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 ou 14 et en ce que les moyens pour introduire le dispositif de détection de radiations dans l'installation (I) comprennent un touret (16) sur lequel le câble flexible (FL) est enroulé, un tube d'injection (13) qui s'ouvre dans l'installation et dans lequel l'embout du câble flexible est engagé et des moyens (14, 15) aptes à propulser le câble flexible (FL) dans l'installation.

16. Système de détection selon la revendication 15, dans lequel les moyens (14, 15) aptes à propulser le câble flexible (FL) dans l'installation comprennent un moteur (14) et des moyens mécaniques (17) reliés au moteur aptes à mettre le touret (16) en rotation dès lors qu'une commande de propulsion est appliquée au moteur.

17. Système de détection selon la revendication 15 ou 16, dans lequel un connecteur multi-fibres (18) fixé sur le touret (16) relie les deuxièmes extrémités des fibres optiques à une instrumentation de mesure (19, 20, 21) apte à stimuler les éléments de détection à luminescence stimulée optiquement (9) et à lire une luminescence qui résulte de l'exposition aux radiations.

1/5

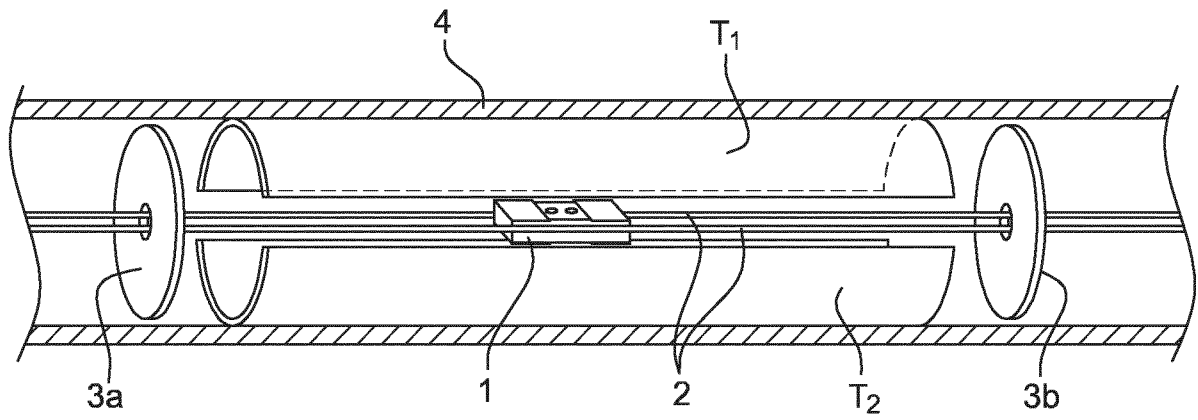


Fig. 1

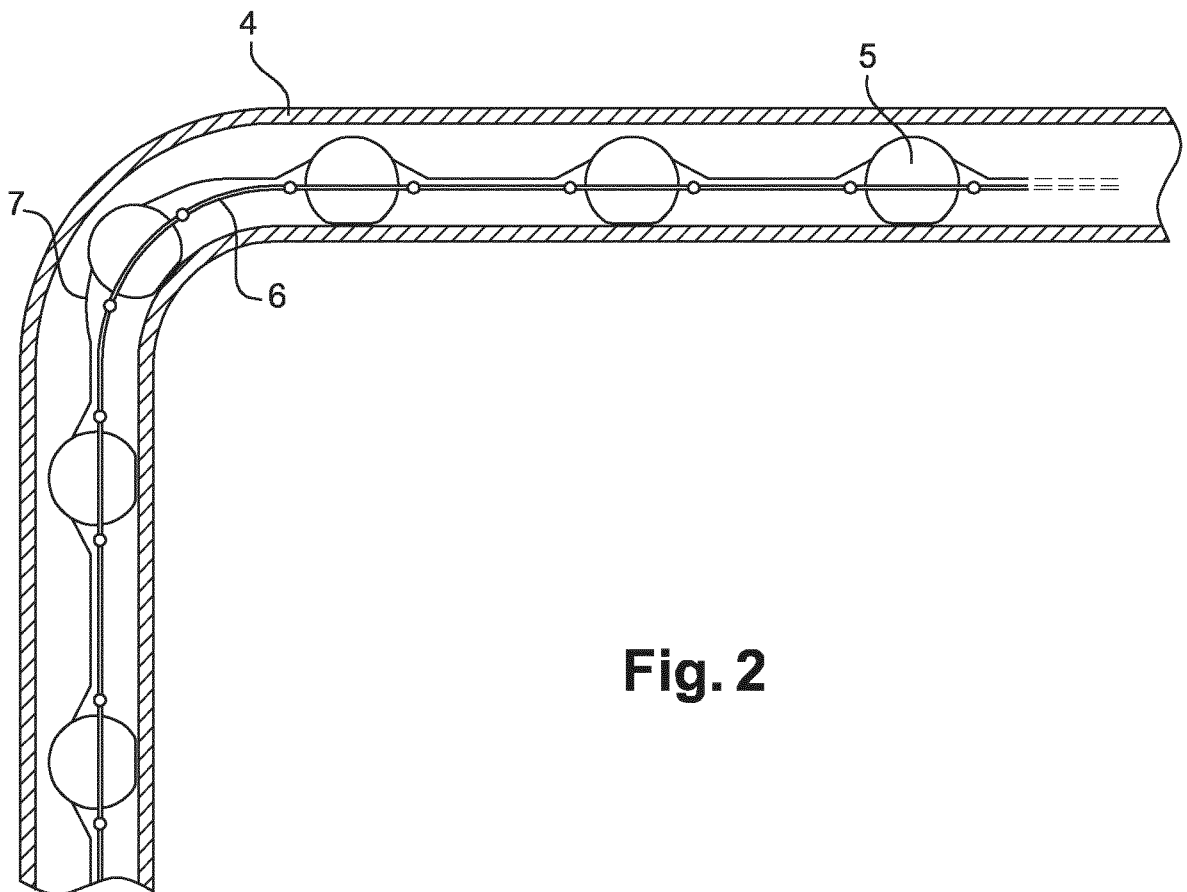


Fig. 2

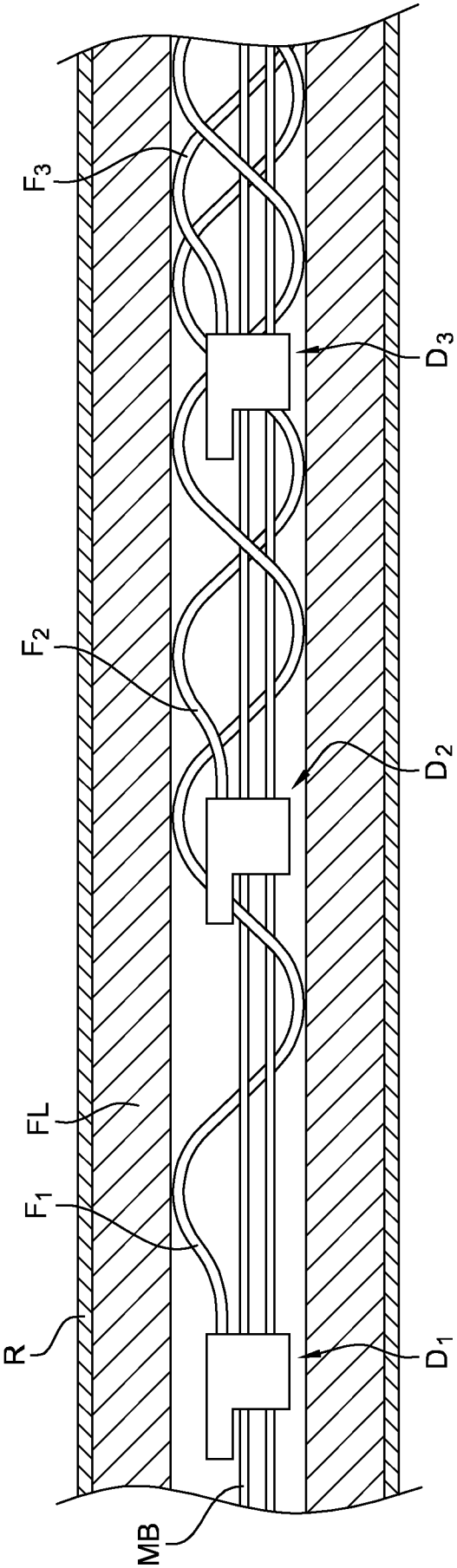


Fig. 3

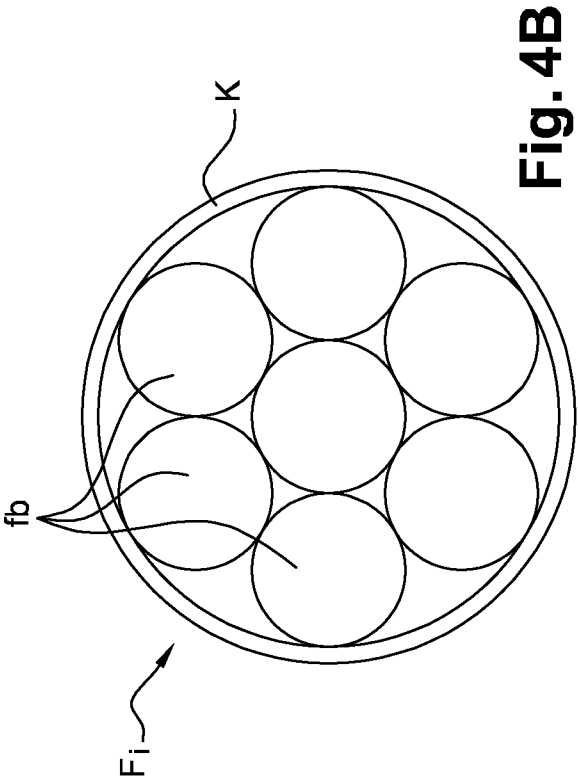


Fig. 4B

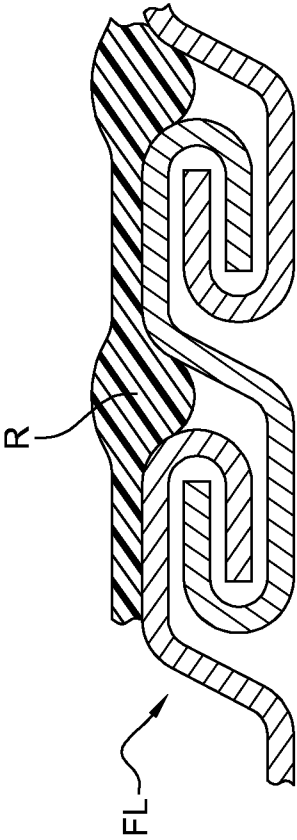


Fig. 4A

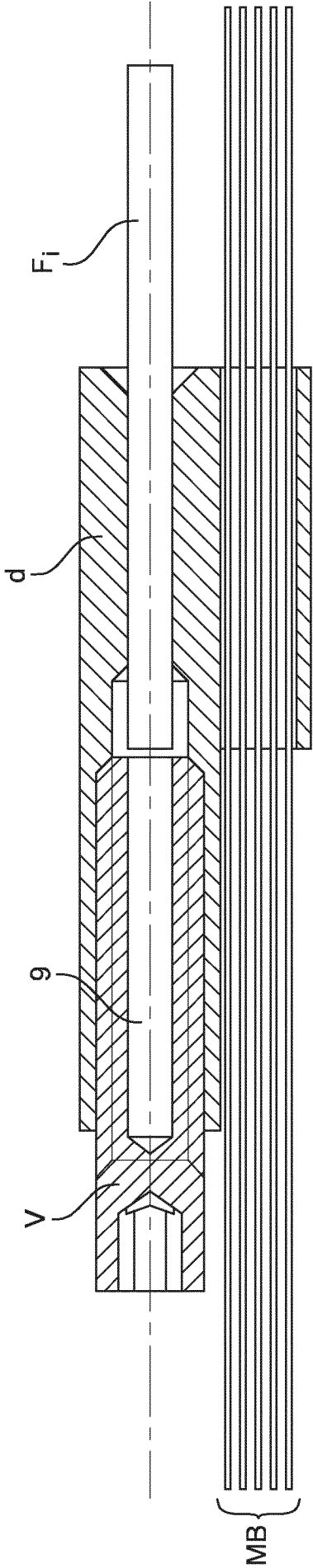


Fig. 4C

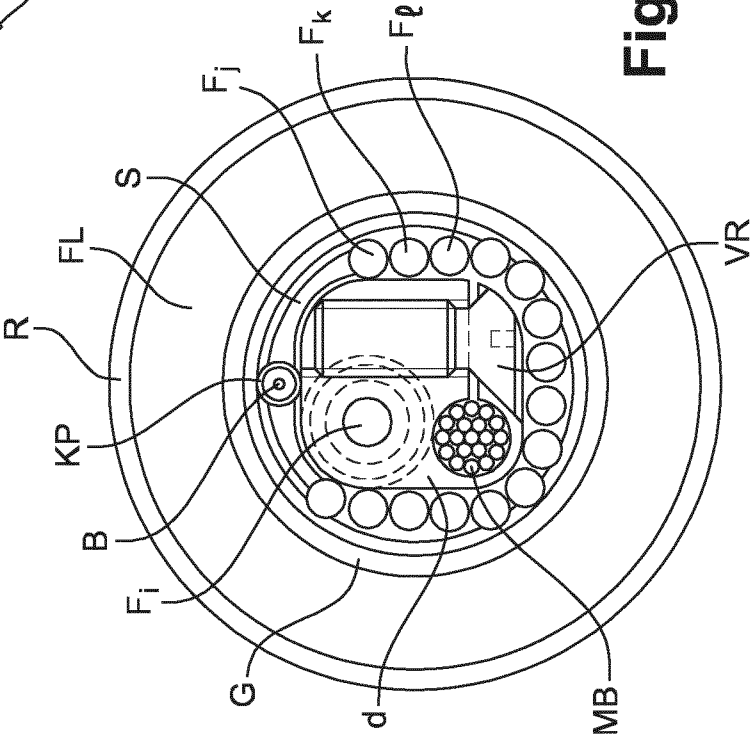


Fig. 4D

4 / 5

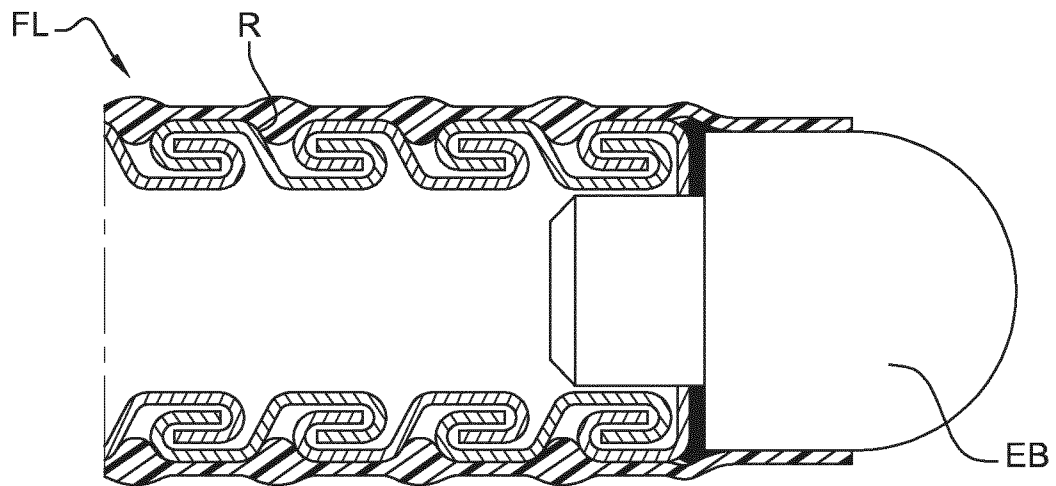


Fig. 5A

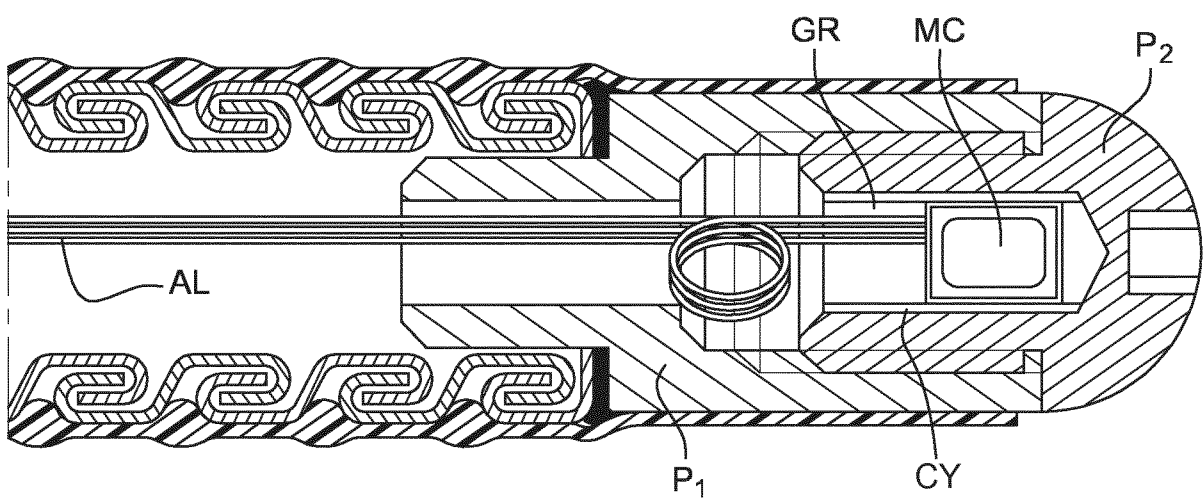


Fig. 5B

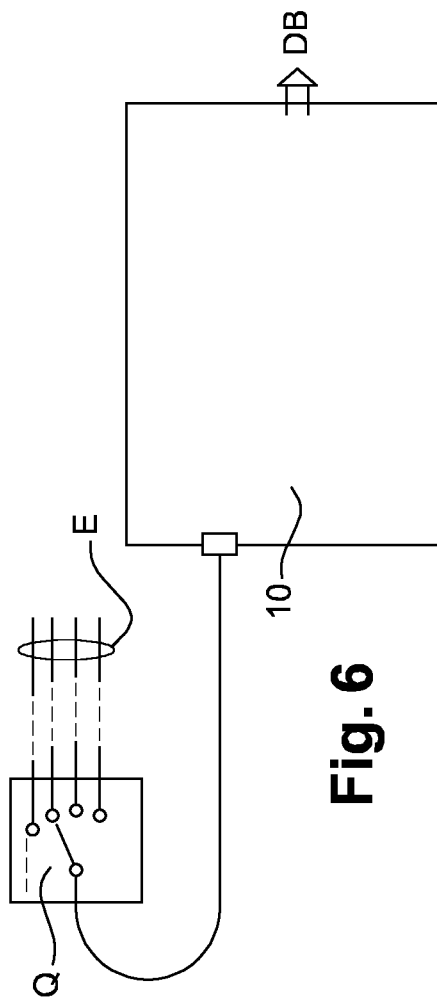


Fig. 6

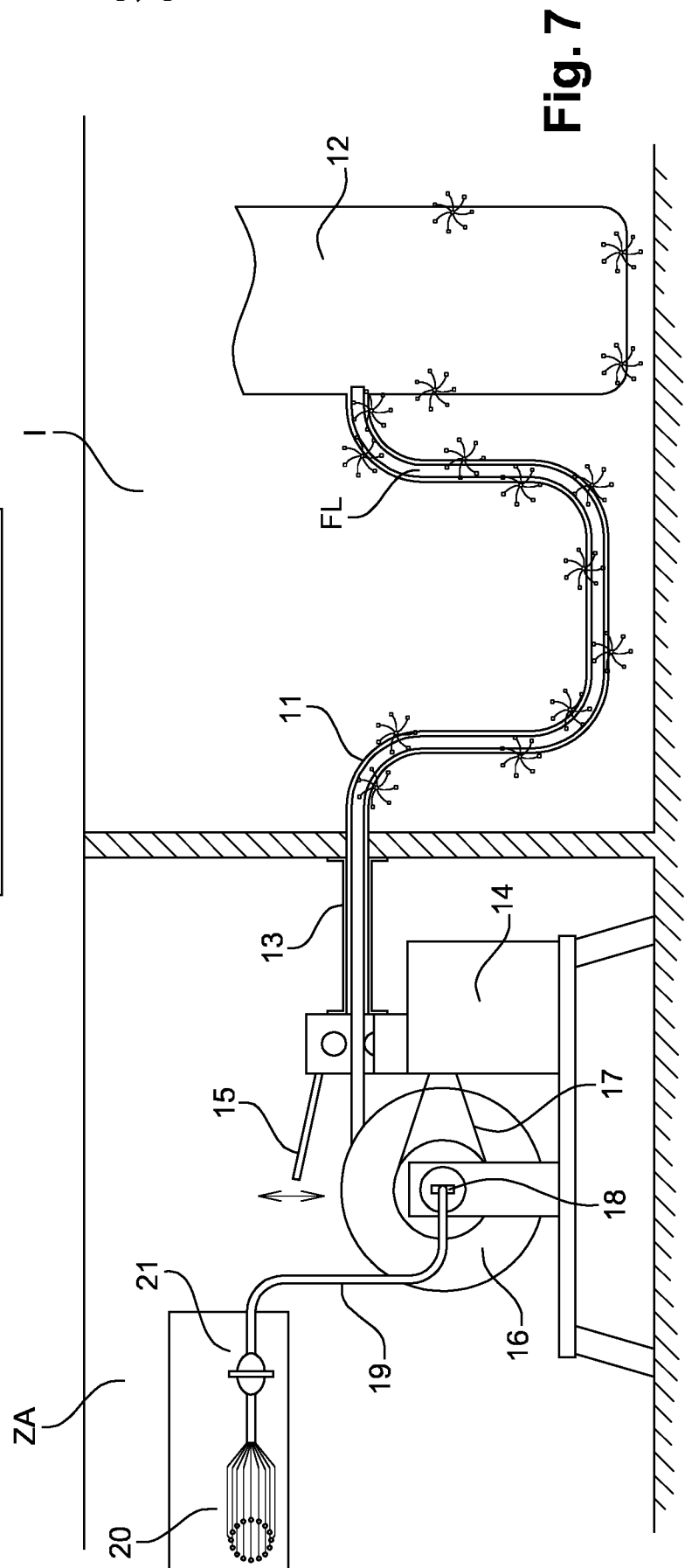


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/062067

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01T1/10
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)
G01T

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, BIOSIS, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 97/24631 A1 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP [US]) 10 July 1997 (1997-07-10) cited in the application figures 1-4 page 5, line 29 - page 6, line 3 page 7, line 33 - line 34 -----	1-17
A	US 2009/321650 A1 (KADNER STEVEN P [US] ET AL) 31 December 2009 (2009-12-31) figures 9-11 paragraph [0059] - paragraph [0060] -----	1-17
A	EP 1 273 931 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 8 January 2003 (2003-01-08) figures 1, 4 paragraphs [0080] - [0082], [0087] - [0089], [0106] ----- -/-	1-17



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

21 August 2015

Date of mailing of the international search report

09/09/2015

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

Johnstone, John

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/062067

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2006/138330 A1 (BALDWIN CHARLES E [US] ET AL) 29 June 2006 (2006-06-29) figure 1 paragraphs [0050], [0055] -----	1-17
A	FR 2 906 887 A1 (GENESIS FRANCE [FR]) 11 April 2008 (2008-04-11) page 6, line 20 - page 7, line 17 -----	1-17
A	US 2006/266948 A1 (HOFSTETTER KENNETH J [US] ET AL) 30 November 2006 (2006-11-30) paragraph [0038] -----	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/062067

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9724631	A1	10-07-1997	US 5665972 A 09-09-1997 WO 9724631 A1 10-07-1997
US 2009321650	A1	31-12-2009	NONE
EP 1273931	A1	08-01-2003	EP 1273931 A1 08-01-2003 FR 2826733 A1 03-01-2003 US 2003057385 A1 27-03-2003
US 2006138330	A1	29-06-2006	NONE
FR 2906887	A1	11-04-2008	AU 2007306260 A1 17-04-2008 CA 2666050 A1 17-04-2008 EP 2080004 A2 22-07-2009 ES 2435732 T3 23-12-2013 FR 2906887 A1 11-04-2008 US 2010005860 A1 14-01-2010 WO 2008043915 A2 17-04-2008
US 2006266948	A1	30-11-2006	EP 1924766 A2 28-05-2008 US 2006266948 A1 30-11-2006 WO 2008030210 A2 13-03-2008

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2015/062067

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01T1/10 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) G01T		
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, BIOSIS, COMPENDEX, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 97/24631 A1 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP [US]) 10 juillet 1997 (1997-07-10) cité dans la demande figures 1-4 page 5, ligne 29 - page 6, ligne 3 page 7, ligne 33 - ligne 34 -----	1-17
A	US 2009/321650 A1 (KADNER STEVEN P [US] ET AL) 31 décembre 2009 (2009-12-31) figures 9-11 alinéa [0059] - alinéa [0060] -----	1-17
A	EP 1 273 931 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 8 janvier 2003 (2003-01-08) figures 1, 4 alinéas [0080] - [0082], [0087] - [0089], [0106] ----- -/-	1-17
☒ 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 21 août 2015		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 09/09/2015
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 Johnstone, John

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2006/138330 A1 (BALDWIN CHARLES E [US] ET AL) 29 juin 2006 (2006-06-29) figure 1 alinéas [0050], [0055] -----	1-17
A	FR 2 906 887 A1 (GENESIS FRANCE [FR]) 11 avril 2008 (2008-04-11) page 6, ligne 20 - page 7, ligne 17 -----	1-17
A	US 2006/266948 A1 (HOFSTETTER KENNETH J [US] ET AL) 30 novembre 2006 (2006-11-30) alinéa [0038] -----	1-17

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2015/062067

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 9724631	A1	10-07-1997	US 5665972 A WO 9724631 A1	09-09-1997 10-07-1997
US 2009321650	A1	31-12-2009	AUCUN	
EP 1273931	A1	08-01-2003	EP 1273931 A1 FR 2826733 A1 US 2003057385 A1	08-01-2003 03-01-2003 27-03-2003
US 2006138330	A1	29-06-2006	AUCUN	
FR 2906887	A1	11-04-2008	AU 2007306260 A1 CA 2666050 A1 EP 2080004 A2 ES 2435732 T3 FR 2906887 A1 US 2010005860 A1 WO 2008043915 A2	17-04-2008 17-04-2008 22-07-2009 23-12-2013 11-04-2008 14-01-2010 17-04-2008
US 2006266948	A1	30-11-2006	EP 1924766 A2 US 2006266948 A1 WO 2008030210 A2	28-05-2008 30-11-2006 13-03-2008