

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 134 635

②1 N° d'enregistrement national : **22 03578**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 01 T 1/20 (2022.01), G 01 T 1/36, 7/12, G 02 B 6/50**

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 16.04.22.

⑫③ Priorité :

⑫④ Date de mise à la disposition du public de la demande : 20.10.23 Bulletin 23/42.

⑫⑤ Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.*

⑦② Inventeur(s) : TABTI Nouhaila, DUFOUR Nicolas et SARI Adrien.

⑦③ Titulaire(s) : Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives Etablissement public à caractère industriel et commercial.

⑦④ Mandataire(s) : INNOV-GROUP.

⑫④⑤ **Capteur fibré pour l' analyse de l'activité d'un fluide radioactif.**

⑫⑤⑦ Dispositif (1) d'analyse de l'activité d'un fluide (3) susceptible de comporter un radionucléide émettant des particules chargées de type, le dispositif comportant une paroi (20), délimitant une chambre (2) destinée à être occupée par le fluide, la paroi s'étendant selon une épaisseur (e) et une fibre optique de détection (10), comportant un cœur entouré d'une gaine, le cœur étant formé d'un matériau scintillateur, le matériau scintillateur émettant des photons sous lorsqu'il est exposé à une irradiation par des particules chargées. Le matériau scintillateur est couplé à un photodétecteur. La fibre optique de détection s'étend hors de la chambre, dans l'épaisseur de la paroi ou contre la paroi, de façon que sous l'effet d'une exposition aux particules chargées émises par le radionucléide, le photodétecteur génère un signal de détection (S, N) dépendant d'une quantité de photons de scintillation émis par le matériau scintillateur de la fibre optique de détection sous l'effet d'une exposition aux particules chargées.

FR 3 134 635 - A1



Description

Titre de l'invention : Capteur fibré pour l'analyse de l'activité d'un fluide radioactif

Domaine technique

[0001] Le domaine technique de l'invention est la détection de l'activité d'un fluide susceptible de comporter un radionucléide radioactif, émetteur β . Le fluide peut être un gaz ou un liquide.

ART ANTERIEUR

[0002] Dans l'industrie nucléaire ou médicale, il est fréquent d'analyser l'activité de fluides radioactifs. De telles analyses sont par exemple conduites à des fins de contrôle de procédés, ou contrôle de rejets, ou le contrôle d'un réseau de distribution d'air ou d'eau.

[0003] Les analyses de fluides sont souvent effectuées sur des échantillons prélevés, et cela présente plusieurs inconvénients. Une première difficulté est le temps nécessaire à la prise d'échantillons et leur analyse en laboratoire. Il en résulte un décalage temporel important entre la prise d'échantillon et son analyse. Il s'agit d'une technique de mesure dite « hors ligne », inapte à délivrer un résultat en temps réel. Une deuxième difficulté est la contamination des équipements utilisés pour la prise d'échantillons et l'analyse. Il s'agit en particulier du matériel utilisé pour le conditionnement et la manipulation de l'échantillon. Une troisième difficulté est liée à la représentativité des échantillons prélevés. La question de la représentativité se pose particulièrement lorsque le fluide à analyser n'est pas homogène. Il est alors nécessaire de multiplier la prise d'échantillons, ce qui augmente la complexité et le coût.

[0004] Des solutions ont été développées, qui permettent d'effectuer une mesure en ligne de l'activité d'un fluide. Le brevet EP3542185 décrit un dispositif comportant une chambre de mesure, destinée à être remplie par un fluide. La chambre de mesure comporte des fibres optiques scintillantes. Ces dernières sont destinées à générer une lumière de scintillation sous l'effet d'une irradiation par un rayonnement ionisant. Un inconvénient de ce dispositif est que les fibres de scintillation sont placées directement au contact du fluide à analyser. Ainsi, lorsque le fluide est contaminé, la chambre de mesure, et les fibres optiques disposées à l'intérieur de la chambre, sont potentiellement contaminées. Il est donc nécessaire de procéder à un nettoyage des fibres optiques et/ou de les orienter vers une filière de déchets nucléaires. De plus, les fibres optiques peuvent se dégrader au contact du fluide.

[0005] Les inventeurs proposent un dispositif, destiné à l'analyse de l'activité d'un fluide, qui ne soit pas intrusif, c'est-à-dire dont les éléments sensibles à l'irradiation ne soient

pas directement au contact du fluide à analyser. Cela évite le recours à des opérations de décontamination. Le dispositif permet d'effectuer une analyse en ligne de l'activité d'un fluide. En outre, la conception du dispositif le rend compatible avec une mise en œuvre sur différentes géométries.

Exposé de l'invention

[0006] Un premier objet de l'invention est un dispositif d'analyse de l'activité d'un fluide susceptible de comporter un radionucléide émettant des particules chargées de type β^- , le dispositif comportant :

- une paroi, délimitant une chambre, destinée à être occupée par le fluide, la paroi s'étendant selon une épaisseur;
- une fibre optique de détection, comportant un cœur entouré d'une gaine, le cœur étant formé d'un matériau scintillateur, le matériau scintillateur émettant des photons lorsqu'il est exposé à des particules chargées ;
- au moins un photodétecteur, optiquement couplé à la fibre optique de détection, de façon à détecter des photons de scintillation émis par le matériau scintillateur sous l'effet d'une exposition aux particules chargées;
- au moins un circuit de traitement, configuré pour effectuer un traitement du signal de détection résultant du ou de chaque photodétecteur ;
- une unité de calcul, reliée au circuit de traitement, l'unité de calcul étant programmée pour calculer un résultat d'analyse en fonction du signal de détection généré par le ou chaque photodétecteur ;

[0007] le dispositif étant caractérisé en ce que :

- la fibre optique de détection est disposée en dehors de la chambre ;
- tout ou partie fibre optique de détection s'étend dans l'épaisseur de la paroi ou contre la paroi;

[0008] de façon que sous l'effet d'une exposition aux particules chargées émises par le radionucléide, le photodétecteur génère un signal de détection dépendant d'une quantité de photons de scintillation émis par le matériau scintillateur de la ou de chaque fibre optique de détection sous l'effet d'une exposition aux particules chargées.

[0009] Selon un mode de réalisation,

- la paroi de détection s'étend autour de la chambre ;
- tout ou partie de la fibre optique de détection s'étend autour de la chambre .

[0010] Selon une possibilité, la fibre optique de détection peut former une spirale, autour de la chambre. Selon une possibilité, le dispositif comporte différentes fibres optiques de détection optiquement couplées au photodétecteur, chaque fibre optique de détection formant au moins une spire autour de la chambre. Selon une possibilité :

- la paroi s'étend autour d'un axe longitudinal ;

- la ou chaque fibre optique de détection s'étend parallèlement à l'axe longitudinal.
- [0011] Selon un mode de réalisation,
- le circuit de traitement est configuré pour déterminer un taux de comptage à partir du signal de détection, le taux de comptage correspondant à un nombre d'impulsions détectées par le photodétecteur par unité de temps ;
 - l'unité de calcul est programmée pour comparer le taux de comptage à un seuil prédéterminé.
 - et/ou l'unité de calcul peut être configurée pour quantifier une activité du radionucléide à partir du taux de comptage.
- [0012] Selon une possibilité,
- le circuit de traitement est un circuit de spectrométrie, configuré pour établir un spectre représentatif de l'énergie déposée dans le matériau scintillateur par les particules chargées ;
 - l'unité de calcul est programmée pour identifier le radionucléide à partir du spectre.
- [0013] L'unité de calcul peut être programmée pour calculer une activité de chaque radionucléide identifié à partir du spectre.
- [0014] Selon un mode de réalisation, la paroi délimite tout ou partie d'une conduite ou d'une cuve ou d'un fût. La paroi peut former une paroi externe et/ou une paroi interne d'une conduite tubulaire, la chambre s'étendant entre la paroi interne et la paroi externe, les parois interne et externe s'étendant autour d'un axe central, respectivement selon un rayon interne et un rayon externe, le rayon interne étant inférieur au rayon externe.
- [0015] Selon une possibilité :
- la fibre de détection, ou chaque fibre de détection, est disposée contre ou dans la paroi externe de la conduite tubulaire ;
 - le dispositif comporte un scintillateur auxiliaire, disposé au contact de la paroi interne, le scintillateur auxiliaire étant relié à un photodétecteur auxiliaire.
- [0016] Un deuxième objet de l'invention est un procédé d'analyse d'un fluide à l'aide d'un dispositif selon le premier objet de l'invention, le fluide s'étendant dans une chambre délimitée par la paroi dudit dispositif, le procédé comportant :
- a) acquisition de signaux de détection par le ou chaque photodétecteur durant une période d'acquisition ;
 - b) à l'aide de l'unité de calcul, obtention d'un résultat d'analyse.
- [0017] Selon un mode de réalisation, l'étape b) comporte :
- détermination d'une quantité de particules chargées détectées par unité de temps ;
 - comparaison de la quantité de particules chargées détectées par unité de temps

- avec une valeur seuil ;
 - en fonction de la comparaison, génération d'un signal d'alerte.
- [0018] Selon une possibilité :
- le circuit de traitement est un circuit de spectrométrie, configuré pour établir un spectre représentatif de l'énergie déposée dans le matériau scintillateur par les particules chargées détectées ;
 - l'étape b) comporte, à partir du spectre détecté, une identification du radioélément présent dans le fluide.

[0019] L'invention sera mieux comprise à la lecture de l'exposé des exemples de réalisation présentés, dans la suite de la description, en lien avec les figures listées ci-dessous.

FIGURES

- [0020] La [Fig.1A] schématise un premier mode de réalisation, dans lequel le dispositif comporte une fibre optique de détection, disposée contre une paroi délimitant une chambre contenant le fluide, la fibre étant disposée à l'extérieur de la chambre.
- [0021] La [Fig.1B] montre une configuration selon laquelle la fibre de détection est disposée au contact de la paroi, et s'étend parallèlement à un axe central autour duquel s'étend la chambre.
- [0022] La [Fig.1C] montre une configuration selon laquelle la fibre de détection est disposée autour de la paroi, au contact de cette dernière.
- [0023] La [Fig.1D] montre une configuration selon laquelle on dispose plusieurs fibres de détection, chaque fibre de détection formant une spire autour de la paroi.
- [0024] La [Fig.2A] schématise un deuxième mode de réalisation, dans lequel le dispositif comporte une fibre optique de détection, disposée dans l'épaisseur d'une paroi délimitant une chambre contenant le fluide.
- [0025] La [Fig.2B] montre une configuration selon laquelle la fibre de détection est disposée dans la paroi et s'étend parallèlement à un axe central autour duquel s'étend la chambre.
- [0026] La [Fig.2C] montre une configuration selon laquelle des fibres de détection, formant des spires parallèles les unes aux autres, sont noyées dans la paroi, autour de la chambre.
- [0027] La [Fig.3A] est une vue en transparence de la configuration représentée sur la [Fig.2B].
- [0028] La [Fig.3B] est une vue en transparence de la configuration représentée sur la [Fig.2C] : des fibres de détection, formant des spires parallèles les unes aux autres, sont noyées dans la paroi.
- [0029] La [Fig.3C] est une vue en transparence d'une configuration selon laquelle la fibre de détection forme une spirale, noyée dans la paroi, autour de la chambre.

- [0030] La [Fig.4] montre, pour différents matériaux, le pouvoir d'arrêt (axe des ordonnées) en fonction de l'énergie d'une particule β^- (axe des abscisses).
- [0031] La [Fig.5A] est une vue en coupe, dans un plan radial, d'une modélisation d'une géométrie de mesure selon laquelle on dispose une fibre de détection formant une spirale autour d'une paroi délimitant une chambre cylindrique contenant le fluide à analyser.
- [0032] La [Fig.5B] est une vue en coupe, dans un plan longitudinal, de la modélisation décrite en lien avec la [Fig.5A].
- [0033] La [Fig.6] montre un spectre de détection, représentant le nombre de particules β^- (axe des ordonnées) interagissant dans un matériau scintillateur formant le cœur d'une fibre de détection, en fonction de l'énergie déposée, par chaque particule, dans ledit matériau scintillateur (axe des abscisses).
- [0034] La [Fig.7A] décrit un exemple de mise en œuvre d'un dispositif selon l'invention.
- [0035] La [Fig.7B] est un détail de la [Fig.7A], qui montre les principaux composants du dispositif.
- [0036] La [Fig.7C] est un détail de la [Fig.7B].
- [0037] La [Fig.8A] est une vue en coupe, dans un plan radial, d'une modélisation d'une géométrie de mesure correspondant au dispositif décrit en lien avec les figures 7A à 7C.
- [0038] La [Fig.8B] est une vue en coupe, dans un plan longitudinal, de la modélisation décrite en lien avec la [Fig.8A].
- [0039] La [Fig.9A] montre un spectre de détection, tel que défini en lien avec la [Fig.6], résultant d'une fibre de détection utilisée dans le dispositif décrit en lien avec les figures 7A à 7C.
- [0040] La [Fig.9B] montre un spectre de détection résultant d'un scintillateur auxiliaire solide, de forme cylindrique, représenté sur la [Fig.7C].
- [0041] La [Fig.10] schématise différentes étapes de procédés mettant en œuvre d'un dispositif selon l'invention.
- EXPOSE DE MODES DE REALISATION PARTICULIERS**
- [0042] La [Fig.1A] représente un premier mode de réalisation d'un dispositif 1 de caractérisation de l'activité d'un fluide 3. Le dispositif 1 comporte une paroi 20, délimitant une chambre 2 à l'intérieur de laquelle s'étend un fluide 3 à analyser. Le fluide 3 peut être un liquide ou un gaz. Dans cet exemple, la paroi 20 est de forme cylindrique, et s'étend autour d'un axe central Δ . L'axe central est parallèle à un axe longitudinal Z. Le fluide mesuré 3 peut s'écouler à travers la chambre 2, parallèlement à l'axe central Δ .
- [0043] Le fluide 3 est susceptible de comporter un radionucléide, émetteur β^- et éventuellement émetteur γ .

- [0044] Le dispositif 1 comporte au moins une fibre de détection 10. La fibre de détection 10 est une fibre scintillante. Comme décrit dans EP3542185, une fibre scintillante est une fibre optique comportant un cœur 11 formé d'un matériau scintillateur entouré d'une gaine 12. Le matériau scintillateur peut par exemple être un polymère organique dopé avec des fluorophores. Le matériau scintillateur, formant le cœur 11, émet des photons de scintillations lorsqu'il est irradié par un rayonnement ionisant. La gaine 12 présente un indice de réfraction inférieur à l'indice de réfraction du matériau de scintillation formant le cœur. La gaine peut être formée d'un polymère de type PMMA (Polyméthacrylate de méthyle). La fibre 10 forme un guide d'onde, dans lequel les photons de scintillation se propagent jusqu'à une extrémité 13.
- [0045] L'extrémité de la fibre de détection 10 est optiquement couplée à un photodétecteur 14. Elle peut être disposée au contact du photodétecteur 14, ou être optiquement couplée par le biais d'un système optique ou par une fibre optique classique, assurant une liaison optique entre la fibre optique de scintillation et le photodétecteur.
- [0046] Généralement, un matériau de scintillation est sensible à tout type de rayonnement ionisant, en particulier les particules chargées α ou β , ou les photons ionisants, X ou gamma. Afin de minimiser la sensibilité aux photons ionisants, le diamètre du cœur est de préférence inférieur à 500 μm ou 300 μm . Un cœur de faible diamètre diminue la probabilité d'interaction d'un photon ionisant se propageant à travers la fibre.
- [0047] L'épaisseur et le matériau formant la paroi 20 sont choisis de façon que l'atténuation vis-à-vis des particules β ne soit pas trop élevée. Ainsi, comme représenté sur la [Fig.1A], une partie des particules β se propage à travers la paroi 20, de façon à irradier le cœur 11 de la fibre de détection 10. Compte tenu de la présence de la paroi 20, et de la gaine 12 entourant le cœur 11, on considère que d'éventuelles particules α émises par un radioélément présent dans le fluide 3 sont absorbées avant d'atteindre la fibre. Ainsi, la fibre de détection 10 est essentiellement sensible aux particules β , et, dans une moindre mesure, aux photons émis par le fluide 3 occupant la chambre 2 ou émis dans l'environnement du dispositif. L'épaisseur de la gaine 12 doit être aussi fine que possible, de façon à limiter l'atténuation des particules β . Elle peut par exemple être inférieure à 10 μm .
- [0048] Avantageusement, la fibre scintillante 10 est souple. Il s'agit d'une caractéristique intéressante de l'invention, comme décrit par la suite.
- [0049] Sur la [Fig.1A], on n'a représenté qu'une fibre de détection 10, disposée le long de la paroi 20, à l'extérieur de la chambre 2. Plusieurs fibres de détection 10 peuvent être utilisées, comme décrit en lien avec la [Fig.1B].
- [0050] Le photodétecteur 14, auquel la ou chaque fibre de détection est optiquement couplée, peut être un photodétecteur de type photodiode ou photomultiplicateur. Lorsqu'une particule ionisante β interagit dans le matériau de scintillation, formant le

cœur de la fibre, plusieurs photons de scintillation sont produits, dont une partie atteint l'extrémité 13 de la fibre couplée au photodétecteur 14. Le nombre de photons de scintillation produits est généralement proportionnel à l'énergie déposée par la particule β lors de l'interaction. Le nombre de photons de scintillation créés dans le cœur est typiquement de quelques milliers par MeV déposé dans le cœur. Les photons de scintillation sont détectés par le photodétecteur 14 et sont convertis en une impulsion électrique dont l'amplitude dépend du nombre de photons de scintillation générés. Ainsi, l'amplitude de chaque impulsion électrique résultant du photodétecteur dépend de l'énergie déposée, dans le matériau de scintillation, lors d'une interaction avec une particule β . Le photodétecteur 14 génère un signal de détection formé d'impulsions, chaque impulsion correspondant à une interaction d'une particule β .

- [0051] Le photodétecteur 14 est relié à un circuit de traitement 15, ce dernier étant configuré pour traiter les impulsions résultant du photodétecteur. Le circuit de traitement 15 est relié à une unité de calcul 16. L'unité de calcul 16 est destinée à établir un résultat de mesure en fonction du signal de détection résultant du photodétecteur.
- [0052] Selon une première application, le circuit de traitement 15 génère, à partir de chaque signal de détection transmis par le photodétecteur, un taux de comptage N , correspondant à un nombre d'impulsions détectées par unité de temps. L'unité de calcul 16 peut alors être configurée pour comparer le taux de comptage à un seuil et émettre un signal d'alerte en cas de dépassement du seuil.
- [0053] Selon une deuxième application, on dispose d'un a priori sur le radionucléide présent dans la chambre 2. A partir du taux de comptage N , une première estimation de l'activité A du radionucléide peut être effectuée, en utilisant un rendement de détection η . Le rendement de détection η permet d'établir un lien entre le taux de comptage et l'activité du radionucléide. Le rendement de détection η peut être établi expérimentalement en disposant, dans la chambre, un fluide de calibration dont l'activité est connue. Le rendement de détection peut également être établi sur la base de modélisations numériques.
- [0054] Selon une troisième application, le circuit de traitement 15 est un circuit de spectrométrie. Le circuit de traitement 15 génère un spectre de détection, correspondant à un histogramme d'amplitude des impulsions détectées durant une période d'acquisition. L'unité de calcul 16 peut être configurée pour effectuer un traitement du spectre de détection de façon à identifier un ou plusieurs radionucléides présents dans le fluide 3 occupant la chambre 2 et éventuellement estimer une activité de chaque radionucléide identifié.
- [0055] Le dispositif 1 peut comporter plusieurs fibres de détection 10, respectivement couplées à un même photodétecteur 14 ou à plusieurs photodétecteurs 14. L'unité de calcul 16 reçoit le signal de détection résultant de chaque photodétecteur 14, et traité

par le circuit de traitement 15. L'unité de calcul 16 peut être formée d'un circuit électronique et/ou d'un microprocesseur. L'unité de calcul 16 est programmée pour effectuer des étapes décrites par la suite, en lien avec la [Fig.10].

- [0056] La [Fig.1B] représente un dispositif selon lequel plusieurs fibres de détection 10 sont réparties autour d'une paroi 20 délimitant une chambre cylindrique 2. Chaque fibre de détection 10 est disposée au contact de la paroi 20. De préférence, chaque fibre de détection 10 est fixe par rapport à la paroi 20. Chaque fibre de détection peut s'étendre selon une longueur de plusieurs dizaines de centimètres ou plusieurs mètres. Chaque fibre de détection s'étend parallèlement à l'axe central de la chambre 2. Au moins une extrémité 13 de chaque fibre de détection 10 est reliée à un photodétecteur 14.
- [0057] La [Fig.1C] représente une configuration selon laquelle la fibre de détection 10 forme une spirale disposée autour de la paroi 20. La [Fig.1D] représente une configuration selon laquelle on dispose plusieurs fibres de détection 10, chaque fibre de détection formant une spire autour de la paroi 20. Les configurations représentées sur les figures 1C et 1D tirent profit du fait que la fibre de détection, ou chaque fibre de détection, soit souple. De préférence, quelle que soit la configuration, chaque fibre de détection 10 est fixée dans ou sur la paroi. De préférence, sur les configurations représentées sur les figures 1B à 1D, la ou chaque fibre de détection est disposée au contact de la paroi.
- [0058] Les configurations décrites en lien avec les figures 1A à 1D sont adaptées à des parois 20 dont l'épaisseur est suffisamment fine pour qu'une quantité suffisante de particules β^- soit transmise à travers la paroi. L'énergie d'émission d'une particule β^- suit une distribution, usuellement désignée spectre d'émission, qui est propre à chaque radionucléide. Ainsi, chaque radionucléide peut être caractérisé par une énergie d'émission moyenne et une énergie d'émission maximale de particules β^- , cette dernière étant de plusieurs centaines de keV ou de plusieurs MeV. Pour qu'une fibre de détection 10 soit exposée à des particules β^- dont l'énergie résiduelle, après avoir traversé la paroi 20, soit suffisamment élevée, la paroi est de préférence formée d'un matériau plastique, par exemple un polymère, ou un métal léger, par exemple aluminium ou acier, et dont l'épaisseur est faible, de préférence inférieure à 1 mm, voire à 100 μm . Ainsi, la paroi 20 forme une peau délimitant la chambre 2 dans lequel s'étend le fluide à analyser 3.
- [0059] Les figures 2A à 2D représentent des modes de réalisation dans lesquels la ou chaque fibre de détection 10 est intégrée (ou noyée) dans la paroi 20 délimitant la chambre 2. L'avantage d'une telle configuration est que la ou chaque fibre de détection 10 est disposée à une distance ϵ de la chambre 2 qui est inférieure à l'épaisseur e de la paroi 20. Par rapport au premier mode de réalisation, cela permet de relâcher la contrainte concernant l'épaisseur de la paroi. Cela permet également que la distance entre l'intérieur de la chambre 2 et la (ou chaque) fibre de détection 10 soit faible, par

exemple inférieure à 2 mm, voire à 1 mm. La distance ϵ correspond à une épaisseur apparente vue par les particules β^- avant d'atteindre la fibre de détection 10. Plus l'épaisseur apparente ϵ est faible, plus l'énergie moyenne, des particules β^- susceptibles d'interagir dans la fibre optique de détection est élevée. Il en résulte un meilleur rendement de détection, le rendement de détection correspondant au nombre de photons de scintillation détectés pour une particule β^- émise à l'intérieur de la chambre 2.

[0060] Sur la [Fig.2B], on a représenté une configuration selon laquelle plusieurs fibres de détection 10, parallèles les unes aux autres, s'étendent parallèlement à l'axe central Δ de la chambre 2, à l'intérieur de la paroi 20. Sur la [Fig.2C], on a représenté une configuration selon laquelle des fibres de détection s'étendent autour de la chambre 2 en formant plusieurs spires, noyées dans la paroi 20. Quelle que soit la configuration retenue, la ou chaque fibre de détection 10 est disposée en dehors de la chambre 2. Dans les configurations représentées sur les figures 2A à 2C, la ou chaque fibre de détection 10 peut être noyée dans la paroi 20 lors de la construction de cette dernière.

[0061] Les figures 3A et 3B représente des vues « en transparence » de configurations respectivement décrites en lien avec la [Fig.2B] et 2C. La [Fig.3C] représente une vue en transparence d'une configuration selon laquelle la fibre de détection décrit une spirale autour de la chambre 2. Sur les figures 3A, 3B et 3C, chaque fibre de détection est noyée dans la paroi.

[0062] La [Fig.4] illustre le pouvoir d'arrêt (axe des ordonnées : unité MeV/cm), à l'égard de particules β^- , de différents matériaux en fonction de l'énergie desdites particules (axe des abscisses – unité MeV). Sur la [Fig.4], on a représenté les pouvoirs d'arrêt du PEHD (polyéthylène haute densité – courbe a), béton (courbe b), acier inoxydable (courbe c), eau (courbe d), air (courbe e) et polystyrène (courbe f). On observe que pour une même épaisseur, il est préférable que la paroi soit constituée d'un matériau de type PEHD ou polystyrène que d'acier. Les courbes d et f sont presque confondues.

[0063] Les inventeurs ont modélisé la détection de particules β^- par un dispositif tel que décrit en lien avec la [Fig.1C]. La configuration a été modélisée selon les paramètres suivants :

- matériau de la paroi 20 : acier ;
- épaisseur de la paroi 20 : 2 mm ;
- rayon de la chambre 2 : 20 cm ;
- hauteur de la chambre : 2 m ;
- nature du fluide : air
- radioélément modélisé : ^{90}Y – Energie d'émission moyenne : 926 keV – Energie d'émission maximale : 2280 keV ;
- diamètre du cœur de la fibre de détection : 250 μm ;

- matériau de la fibre de détection : polystyrène – densité 1.05 ;
- épaisseur de la gaine de la fibre de détection : 7.5 μm ;
- matériau de la gaine : PMMA
- nombre de spires : 3601.

[0064] La fibre optique modélisée correspond à la référence BCF-10 – fabricant Saint Gobain.

[0065] Les figures 5A et 5B sont des vues de la configuration modélisée respectivement dans un plan radial, défini par des axes X et Y, et un plan longitudinal, défini par les axes X et Z. La référence 4 correspond à l'air ambiant. Sur chacune des figures 5A et 5B, on a représenté un détail d'une partie de la paroi 20 contre laquelle est assemblée à fibre de détection 10. Sur la [Fig.5B], la fibre de détection 10 apparaît sous la forme de disques adjacents les uns des autres.

[0066] A l'aide du code MCNP (Monte Carlo N-Particle), on a modélisé un spectre de détection de particules détectées par la fibre de détection, le spectre de détection étant représenté sur la [Fig.6]. Le spectre de détection correspond à une proportion d'interactions détectées pour 1 particule émise (axe des ordonnées) en fonction de l'énergie de détection (axe des abscisses – unité MeV). La [Fig.6] montre une distribution de l'énergie déposée, par la fibre de détection, d'une particule β^- émise, dans la chambre 2, l'énergie de la particule β^- étant émise selon une distribution correspondant au spectre d'émission de ^{90}Y . Du fait du faible volume de la fibre, une particule β^- interagissant dans la fibre peut ne libérer qu'une partie de son énergie.

[0067] La [Fig.7A] représente un exemple d'application d'un dispositif selon l'invention. Dans cet exemple, un liquide est transporté d'une cuve A vers une cuve B. Le dispositif 1 est intégré dans la partie centrale d'une conduite C, reliant la cuve A vers la cuve B. Les figures 7B et 7C sont des détails du dispositif 1. Le dispositif comporte une paroi 20, contre laquelle est disposée une fibre de détection 10 telle que précédemment décrite. La fibre de détection est agencée autour de la paroi 20 en formant une spirale, comme décrit en lien avec la [Fig.1C].

[0068] La chambre 2 délimitée par la paroi 20, est annulaire. Elle comporte une paroi interne 20', qui est, comme la paroi 20, cylindrique. Le rayon de la paroi interne 20' est inférieur au rayon de la paroi 20, cette dernière formant une paroi externe de la chambre annulaire 2. Le dispositif comporte un scintillateur auxiliaire 10', appliqué contre la paroi interne 20'. Dans l'exemple représenté sur les figures 7B et 7C, le scintillateur auxiliaire 10' est un scintillateur solide, couplé à un photodétecteur auxiliaire 14'. Selon ce mode de réalisation, des particules β^- émises dans la chambre annulaire 2 peuvent être détectées soit par la fibre de détection 10, soit par le scintillateur auxiliaire 10'. Selon une variante, le scintillateur auxiliaire solide 10' est remplacé par une fibre de détection auxiliaire 10', enroulée contre la paroi interne 20', de la même façon que

la fibre de détection 10 est enroulée contre la paroi 20. L'avantage des fibres de détection est leur moindre sensibilité à l'égard du rayonnement gamma.

[0069] Les inventeurs ont modélisé la configuration décrite en lien avec les figures 7A à 7C, en utilisant le code de transport MCNP. Les paramètres de modélisation sont :

- fibre de détection : constitution similaire à la fibre de détection décrite en lien avec les figures 5A et 5B. 571 spires.
- rayon de la paroi interne 20' : 2.5 cm ;
- rayon de la paroi 20 : 4.5 cm ;
- épaisseur de la paroi interne 20' et de la paroi 20 : 1 mm ;
- matériau de la paroi interne 20' et de la paroi 20 : acier inoxydable.

[0070] Les figures 8A et 8B sont des vues de la configuration modélisée respectivement dans un plan radial, défini par des axes X et Y, et un plan longitudinal, défini par les axes X et Z. Sur chacune des figures 8A et 8B, on a représenté un détail d'une partie de la paroi 20 contre laquelle est assemblée à fibre de détection 10. Sur la [Fig.8B], la fibre de détection 10 apparaît sous la forme de disques adjacents les uns des autres.

[0071] La [Fig.9A] montre le spectre de détection d'une particule β émise par ^{90}Y dans la chambre de mesure. Il s'agit d'un histogramme discrétisé en énergie (axe des abscisses – MeV) et montrant, à chaque énergie, la probabilité de détection, par la fibre de détection, à ladite énergie, d'une particule β émise dans la chambre 2, l'énergie de la particule émise étant distribuée selon le spectre d'émission de ^{90}Y . La [Fig.9B] est une figure similaire à la [Fig.9A], établie en modélisant le scintillateur auxiliaire solide 10'. Les probabilités de détection obtenues avec le scintillateur solide sont plus élevées du fait du volume plus grand de ce dernier, ce qui augmente l'efficacité de détection, au détriment d'une sensibilité de détection accrue à l'égard des photons gamma.

[0072] Les spectres de détection représentés sur les figures 6, 9A et 9B peuvent être utilisés à des fins d'identification d'un radionucléide présent dans le fluide 3 circulant dans la chambre 2. En effet, le spectre de détection correspond à une signature spectrale du ou des radionucléides présents dans le fluide 3. Les spectres de détection représentés sur les figures 6, 9A et 9B sont des spectres dits unitaires, car ils correspondent au spectre de détection résultant de la présence d'un unique radionucléide, en l'occurrence ^{90}Y , pour une émission unitaire, en l'occurrence 1 particule β émise.

[0073] On peut établir, notamment par modélisation, des spectres de détection unitaires correspondant respectivement à différents radionucléides, pour une activité unitaire de 1Bq. Chaque spectre de détection unitaire forme un modèle direct assigné à chaque radionucléide. Il est préférable que chaque spectre de détection unitaire soit établi en considérant une même activité de chaque radionucléide, par exemple 1Bq. Ainsi, à chaque radionucléide RN_i correspond un spectre de détection unitaire S_i . A partir de chaque spectre de détection unitaire S_i , on peut former une matrice de réponse M , dont

chaque colonne correspond à un spectre de détection unitaire S_i . A partir d'un spectre de détection mesuré S , l'activité A_i de chaque radionucléide RN_i est définie selon l'expression :

[0074] $S = M \times A$ (1)

[0075] où

- S est le spectre de détection, de dimension $[K, 1]$, K correspondant au nombre de canaux du spectre ;
- M est la matrice de réponse, de dimension $[K, I]$, où I correspond au nombre de radionucléides RN_i considérés. La matrice de réponse traduit le rendement de détection du dispositif.
- A est un vecteur, de dimension $[I, 1]$, dont chaque terme correspond à l'activité A_i de chaque radionucléide RN_i .

[0076] S résulte de la mesure. M est préalablement établie, sur la base de modélisations, comme décrit en lien avec les figures 6 et 9A. M peut être obtenue sur la base de mesures expérimentales, en utilisant des échantillons comportant des radionucléides dont l'activité est connue. A peut être estimé par inversion.

[0077] La matrice M n'étant généralement pas inversible, une méthode possible pour estimer A est l'application d'un algorithme d'optimisation itératif de type ML-EM (Maximum Likelihood-Expectation Maximization- méthode espérance maximisation). Un tel algorithme permet d'estimer, à chaque itération de rang j , un vecteur \hat{A}^j , en utilisant l'expression de mise à jour suivante :

[0078]
$$\hat{A}_i^{j+1} = \frac{\hat{A}_i^j \sum_{k=1}^K M(k,i) S(k)}{\sum_{k=1}^K M(k,i) \hat{A}_i^j} \quad (2)$$

[0079] $M(k, i)$ est un terme de la matrice M et $S(k)$ est un terme du vecteur S .

[0080] L'algorithme d'optimisation peut être initialisé, lors de la première itération, par :

[0081]
$$\hat{A}_i^{j=1} = \frac{\sum_{k=1}^K S(k)}{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I M(k,i)} \quad (3)$$

[0082] Le recours à un algorithme d'optimisation, mettant en œuvre la méthode ML-EM pour quantifier l'activité de différents radioéléments, à partir d'un spectre de détection résultant de fibres de détection sensibles aux particules, a été décrit dans Dufour N, « Scintillating fibre based beta spectrometer : Proof of concept by Monte-Carlo simulation and first experimental assessment », Nuclear Inst. and Methods in Physics research, A 1010 (2021).

[0083] La [Fig.10] montre différentes étapes de mise en œuvre du dispositif selon l'invention. L'étape 100 correspond à l'acquisition de signaux de détection, résultant d'un ou plusieurs photodétecteurs, au cours d'une période d'acquisition. Selon un

premier mode de réalisation, dit mode comptage, le circuit de traitement 15 établit un taux de comptage N , correspondant à un nombre d'impulsions détectées par unité de temps, par exemple chaque seconde.

- [0084] Au cours de l'étape 110, l'unité de calcul 16 compare le taux de comptage avec un seuil N_{th} préalablement déterminé. Au cours d'une étape 120, l'unité de calcul 16 génère un signal d'alerte si le taux de comptage N est supérieur au seuil N_{th} .
- [0085] De façon complémentaire ou alternative, le procédé peut comporter une étape 130, au cours de laquelle on effectue une estimation \hat{A}_i de l'activité d'un radionucléide RN_i en fonction d'un rendement de détection préalablement établi pour ledit radionucléide. La quantification de l'activité sur la base d'un simple taux de comptage suppose un a priori sur le radionucléide (ou sur un mélange de radionucléides) présent dans le fluide. Le rendement de détection η , reliant le taux de comptage à l'activité, est préalablement établi par des mesures expérimentales, sur des fluides de calibration, dont l'activité est connue, ou à partir de modélisations.
- [0086] Comme précédemment décrit, le circuit de traitement 15 peut être un circuit spectrométrique. Dans ce cas, à partir de signaux de détection acquis pendant la période d'acquisition, le circuit de traitement génère un spectre S de l'amplitude des impulsions détectées durant la période d'acquisition. Au cours d'une étape 140, l'unité de calcul 16 prend en compte une matrice de réponse, telle que décrite dans l'expression (1). L'unité de calcul met en œuvre un algorithme d'inversion, par exemple de type ML-EM, pour identifier les radionucléides présents dans le fluide et éventuellement estimer leurs activités respectives \hat{A}_i .
- [0087] L'invention pourra être mise en œuvre pour effectuer le contrôle de fluides, liquides ou gazeux, comportant ou susceptibles de comporter des radionucléides. L'invention permet d'effectuer un suivi en ligne du fluide, en temps réel, sans risque de contamination du ou de chaque fibre optique de détection, compte tenu du fait que la ou chaque fibre de détection ne pénètre pas dans la chambre. Le recours à une unité de calcul recueillant des signaux de détection, après traitement, permet d'obtenir des informations en temps réel ou en quasi-temps réel (quelques minutes). Le recours à une fibre de détection souple permet une adaptation à des chambres présentant différentes géométries.

Revendications

[Revendication 1]

Dispositif (1) d'analyse de l'activité d'un fluide (3) susceptible de comporter un radionucléide émettant des particules chargées de type β^- , le dispositif comportant :

- une paroi (20), délimitant une chambre (2) destinée à être occupée par le fluide, la paroi s'étendant selon une épaisseur (e);
- au moins une fibre optique de détection (10), comportant un cœur entouré d'une gaine, le cœur étant formé d'un matériau scintillateur, le matériau scintillateur émettant des photons lorsqu'il est exposé à des particules chargées ;
- au moins un photodétecteur (14), optiquement couplé à la ou à chaque fibre optique de détection, de façon à détecter des photons de scintillation émis par le matériau scintillateur sous l'effet d'une exposition aux particules chargées;
- au moins un circuit de traitement (15), configuré pour effectuer un traitement du signal de détection résultant du ou de chaque photodétecteur ;
- une unité de calcul (16), reliée au circuit de traitement, l'unité de calcul étant programmée pour calculer un résultat d'analyse en fonction du signal de détection généré par le ou chaque photodétecteur ;

le dispositif étant caractérisé en ce que :

- la ou chaque fibre optique de détection (10) est disposée en dehors de la chambre (2) ;
- tout ou partie de la ou de chaque fibre optique de détection s'étend dans l'épaisseur de la paroi ou contre la paroi;

de façon que sous l'effet d'une exposition aux particules chargées émises par le radionucléide, le photodétecteur génère un signal de détection (S, N) dépendant d'une quantité de photons de scintillation émis par le matériau scintillateur de la ou de chaque fibre optique de détection sous l'effet d'une exposition aux particules chargées.

[Revendication 2]

Dispositif selon la revendication 1, dans lequel

- la paroi (20) s'étend autour de la chambre ;

- tout ou partie de la ou de chaque fibre optique de détection (10) s'étend autour de la chambre .

- [Revendication 3] Dispositif selon la revendication 2, dans lequel la ou chaque fibre optique de détection forme une spirale autour de la chambre.
- [Revendication 4] Dispositif selon la revendication 2, comportant différentes fibres optiques de détection optiquement couplées au photodétecteur, chaque fibre optique de détection formant au moins une spire autour de la chambre.
- [Revendication 5] Dispositif selon la revendication 1, dans lequel :
- la paroi s'étend autour d'un axe longitudinal ;
 - la ou chaque fibre optique de détection (Z) s'étend parallèlement à l'axe longitudinal.
- [Revendication 6] Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel :
- le circuit de traitement (15) est configuré pour déterminer un taux de comptage (N) à partir du signal de détection, le taux de comptage correspondant à un nombre d'impulsions détectées par le photodétecteur par unité de temps ;
 - l'unité de calcul (16) est programmée pour comparer le taux de comptage à un seuil (N_{th}) prédéterminé.
- [Revendication 7] Dispositif selon la revendication 6, dans lequel l'unité de calcul est configurée pour quantifier une activité du radionucléide à partir du taux de comptage.
- [Revendication 8] Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel :
- le circuit de traitement (15) est un circuit de spectrométrie, configuré pour établir un spectre (S) représentatif de l'énergie déposée dans le matériau scintillateur par les particules chargées ;
 - l'unité de calcul est programmée pour identifier le radionucléide à partir du spectre.

- [Revendication 9] Dispositif selon la revendication 8, dans lequel l'unité de calcul est programmée pour calculer une activité de chaque radionucléide identifié à partir du spectre.
- [Revendication 10] Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la paroi (20) délimite tout ou partie d'une conduite ou d'une cuve ou d'un fût.
- [Revendication 11] Dispositif selon la revendication 10, dans lequel la paroi (20) forme une paroi externe ou une paroi interne d'une conduite tubulaire, la chambre s'étendant entre la paroi interne et la paroi externe, les parois interne et externe s'étendant autour d'un axe central, respectivement selon un rayon interne et un rayon externe, le rayon interne étant inférieur au rayon externe.
- [Revendication 12] Dispositif selon la revendication 11, dans lequel :
- la fibre de détection, ou chaque fibre de détection, est disposée contre ou dans la paroi externe de la conduite tubulaire ;
 - le dispositif comporte un scintillateur auxiliaire (10'), disposé au contact de la paroi interne, le scintillateur auxiliaire étant relié à un photodétecteur auxiliaire (14').
- [Revendication 13] Procédé d'analyse d'un fluide (3) à l'aide d'un dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, le fluide s'étendant dans une chambre (2) délimitée par la paroi (20) dudit dispositif, le procédé comportant :
- a) acquisition de signaux de détection par le ou chaque photodétecteur (14) durant une période d'acquisition ;
 - b) à l'aide de l'unité de calcul (16), obtention d'un résultat d'analyse.
- [Revendication 14] Procédé selon la revendication 13, dans lequel l'étape b) comporte :
- détermination d'une quantité (N) de particules chargées détectées par unité de temps ;
 - comparaison de la quantité de particules chargées détectées par unité de temps avec une valeur seuil (N_{th});
 - en fonction de la comparaison, génération d'un signal d'alerte.
- [Revendication 15] Procédé selon l'une quelconque des revendications 13 ou 14, dans

lequel

- le circuit de traitement est un circuit de spectrométrie, configuré pour établir un spectre représentatif de l'énergie déposée dans le matériau scintillateur par les particules chargées détectées ;
- l'étape b) comporte, à partir du spectre détecté, une identification du radioélément présent dans le fluide.

[Fig. 1A]

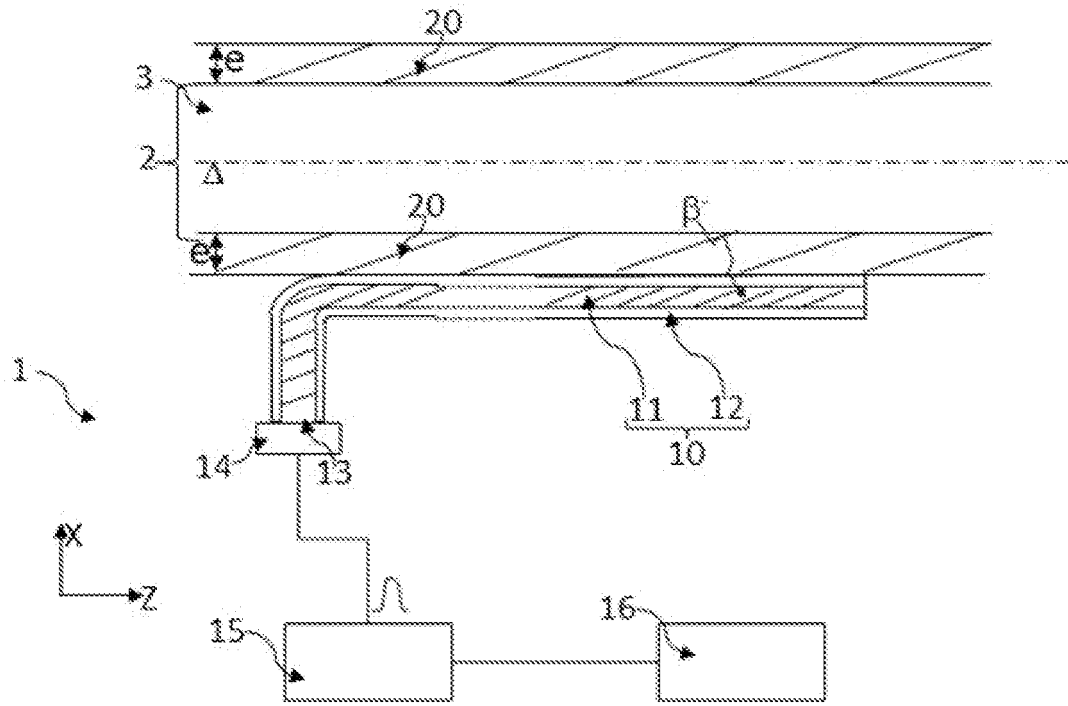


Fig. 1A

[Fig. 1B]

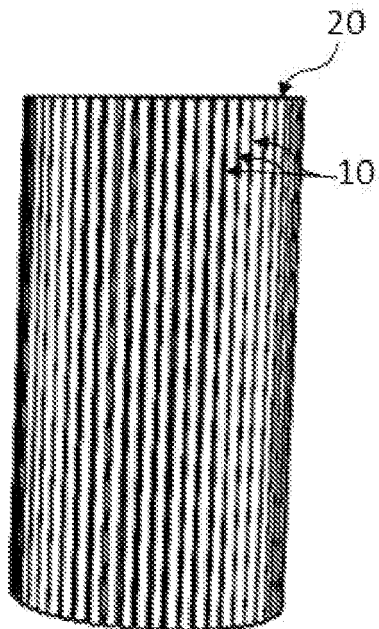


Fig. 1B

[Fig. 1C]

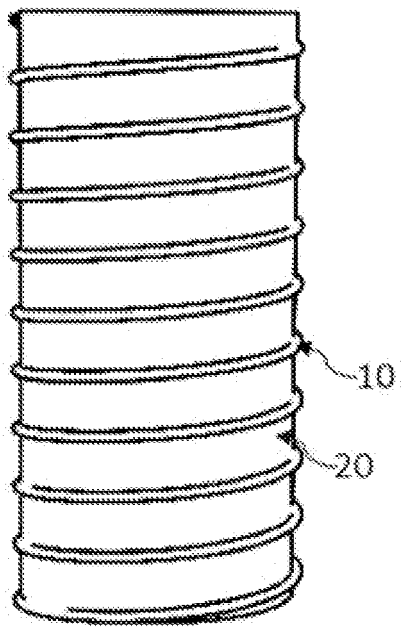


Fig. 1C

[Fig. 1D]

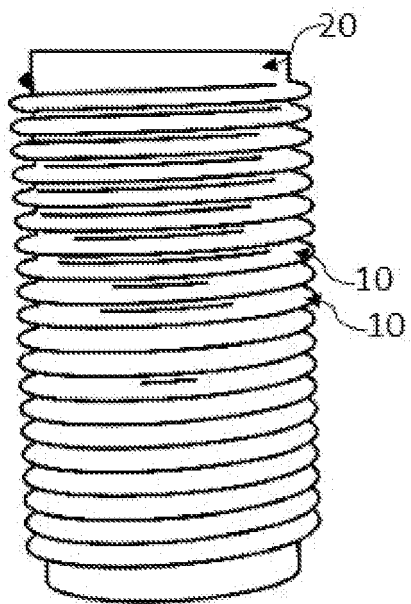


Fig. 1D

[Fig. 2A]

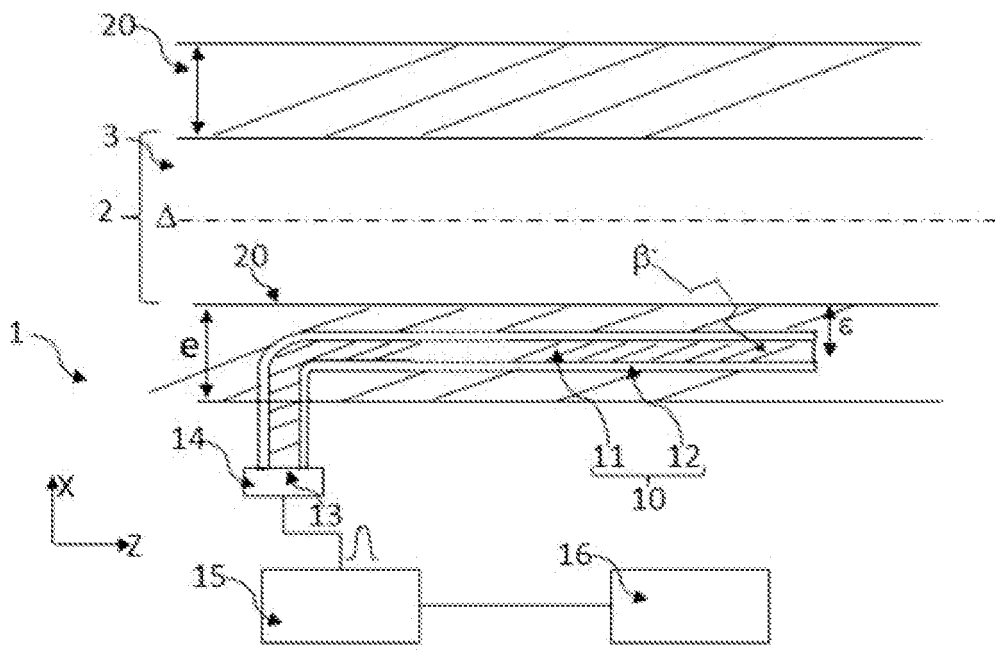


Fig. 2A

[Fig. 2B]

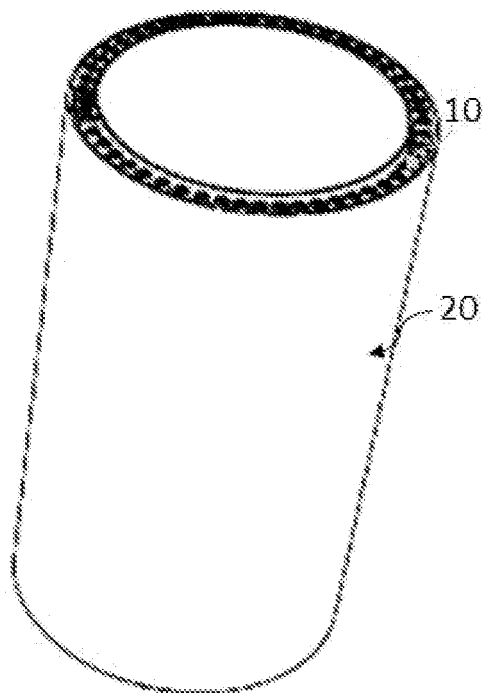


Fig. 2B

[Fig. 2C]

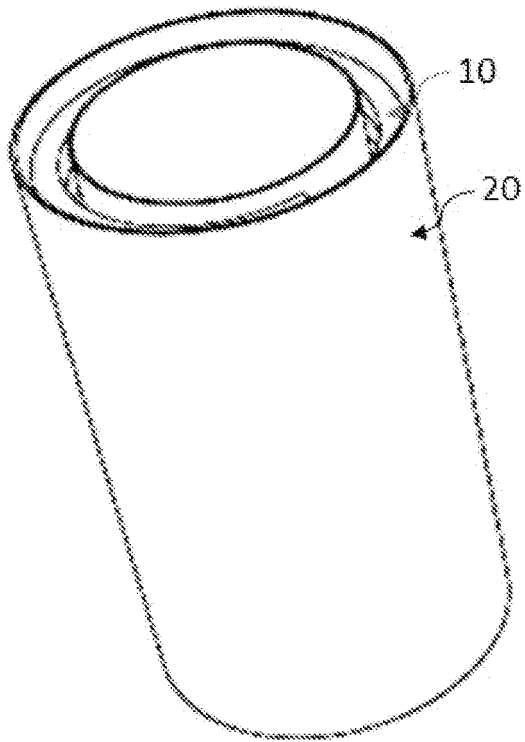


Fig. 2C

[Fig. 3A]

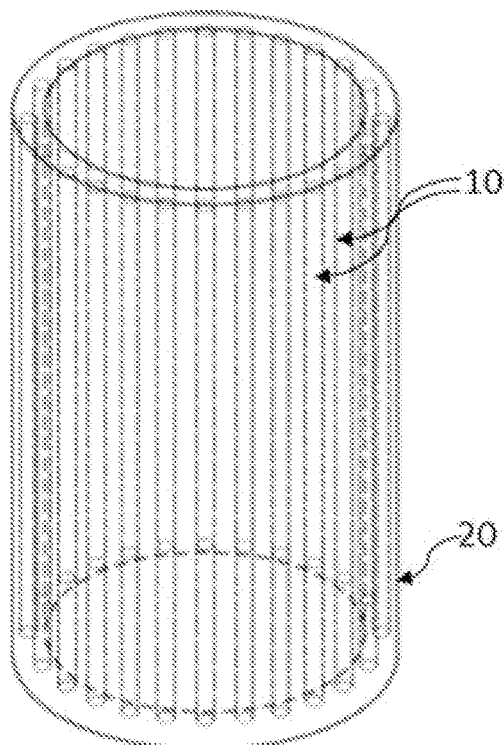


Fig. 3A

[Fig. 3B]

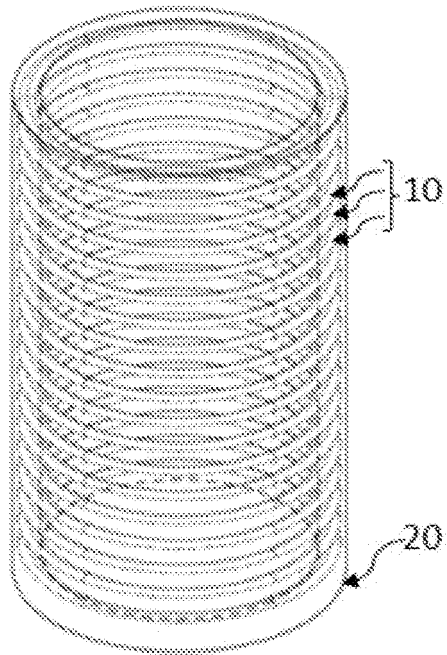


Fig. 3B

[Fig. 3C]

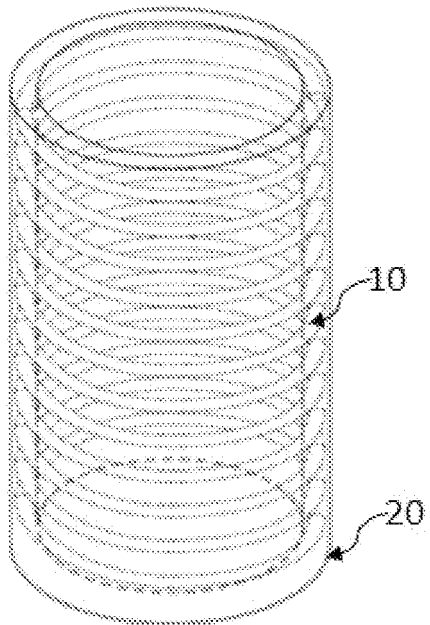


Fig. 3C

[Fig. 4]

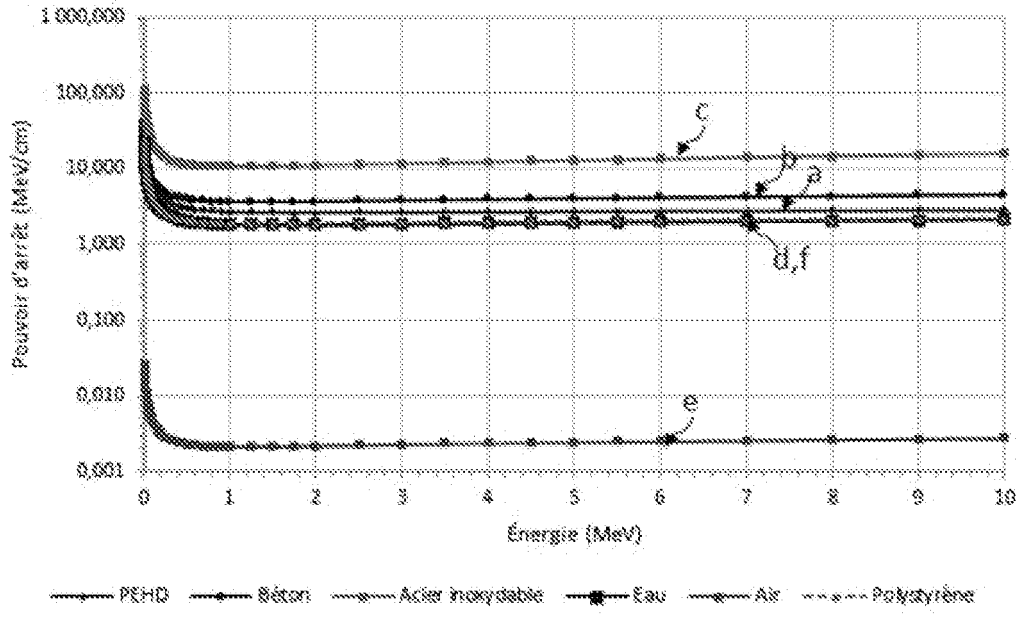


Fig. 4

[Fig. 5A]

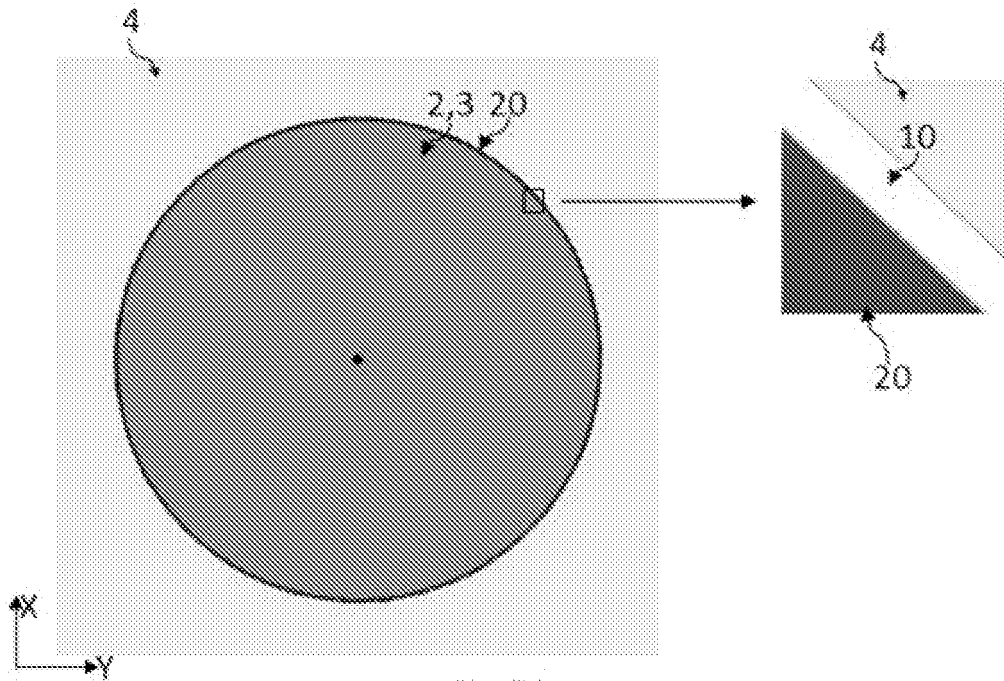


Fig. 5A

[Fig. 5B]

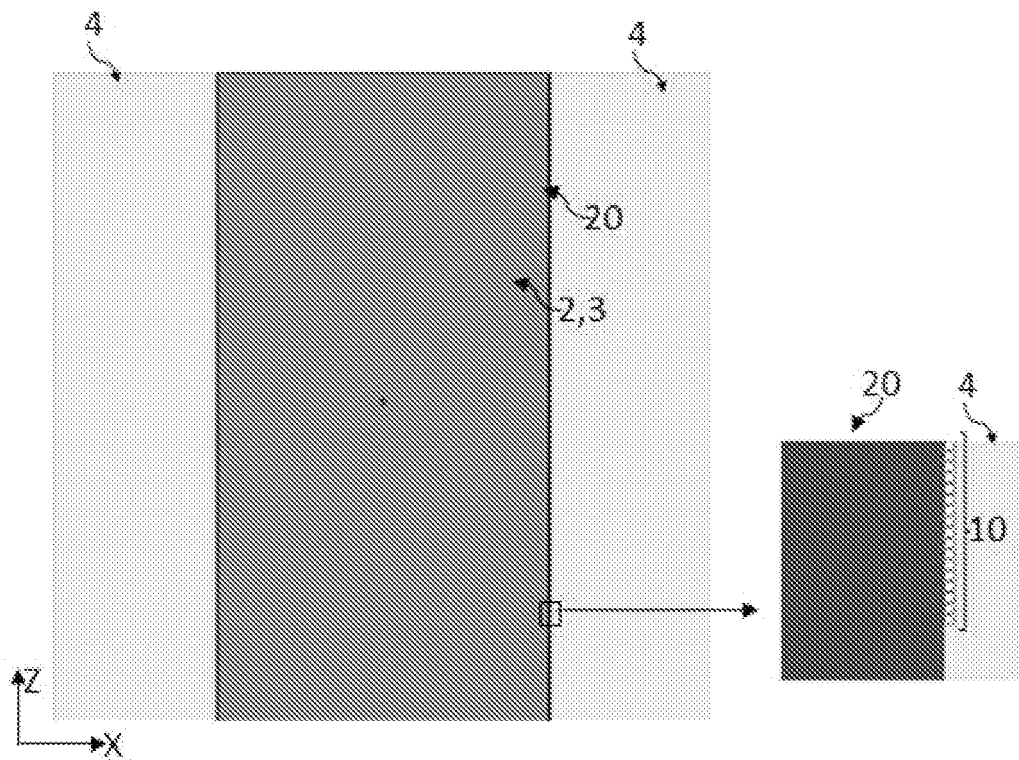


Fig. 5B

[Fig. 6]

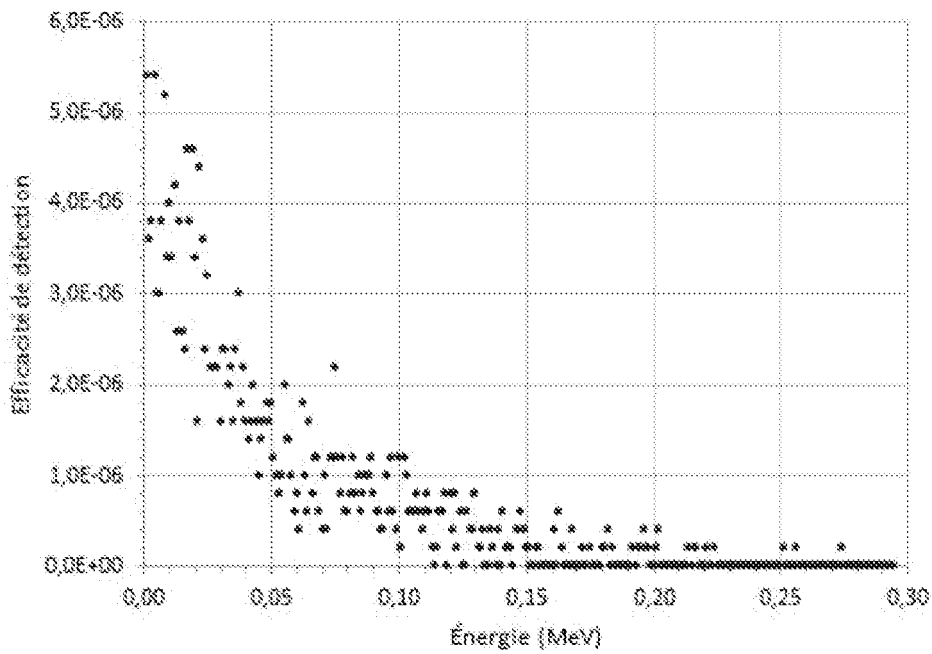
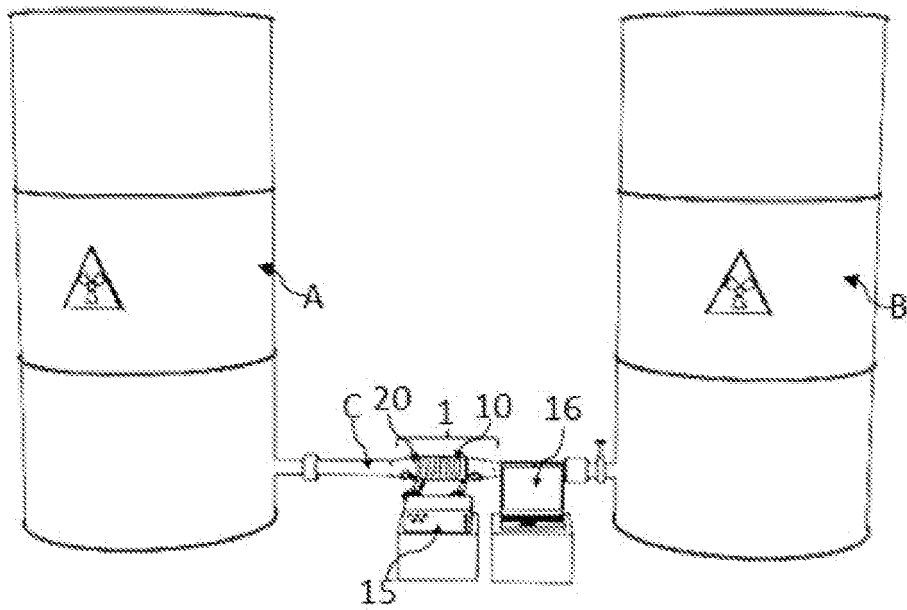
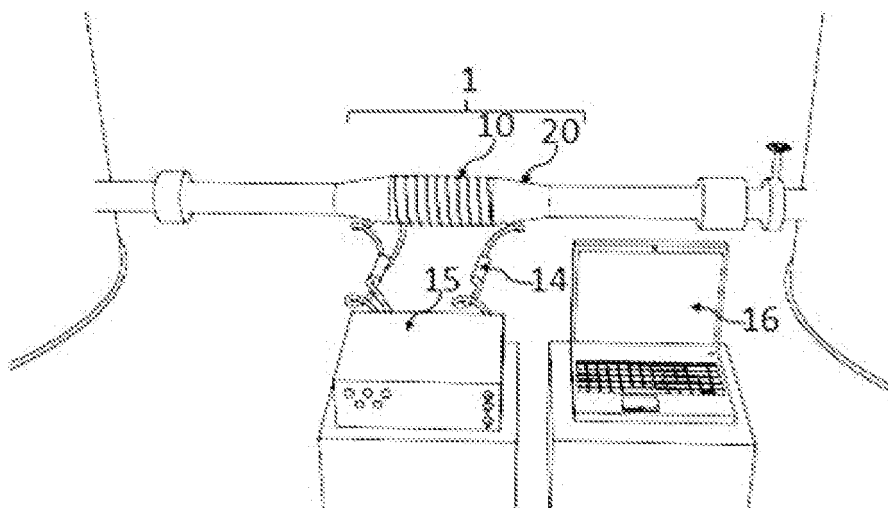


Fig. 6

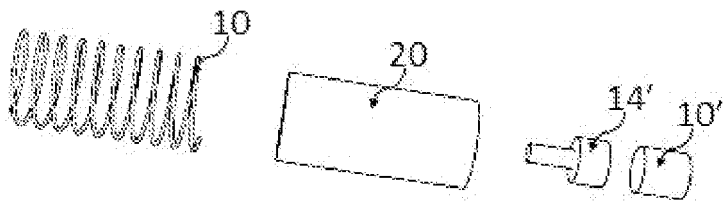
[Fig. 7A]

**Fig. 7A**

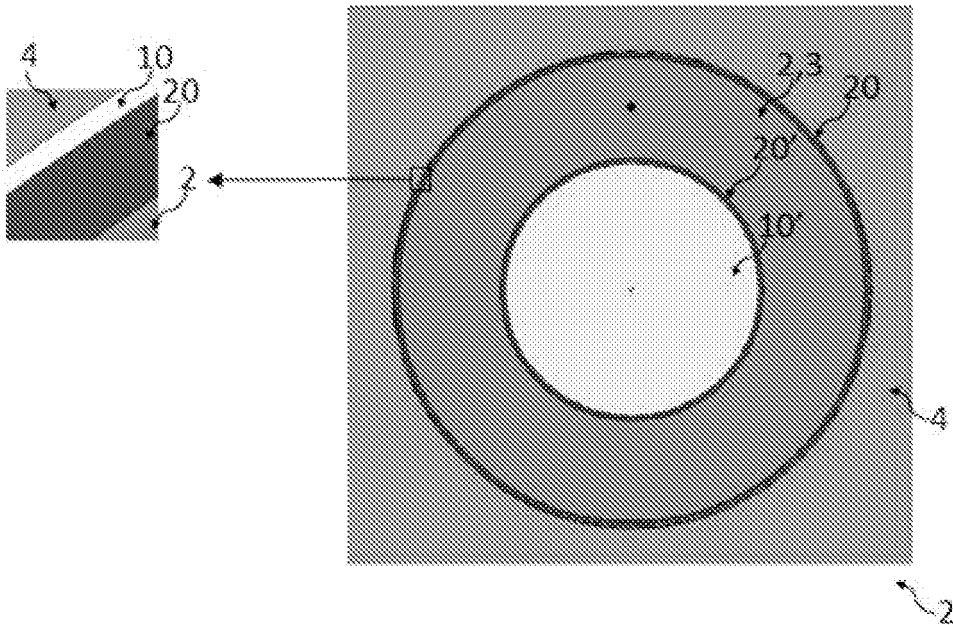
[Fig. 7B]

**Fig. 7B**

[Fig. 7C]

**Fig. 7C**

[Fig. 8A]

**Fig. 8A**

[Fig. 8B]

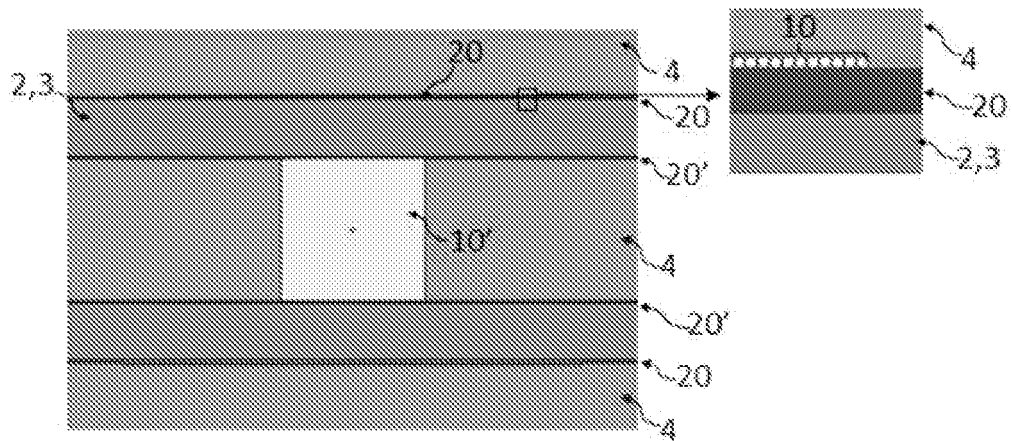


Fig. 8B

[Fig. 9A]

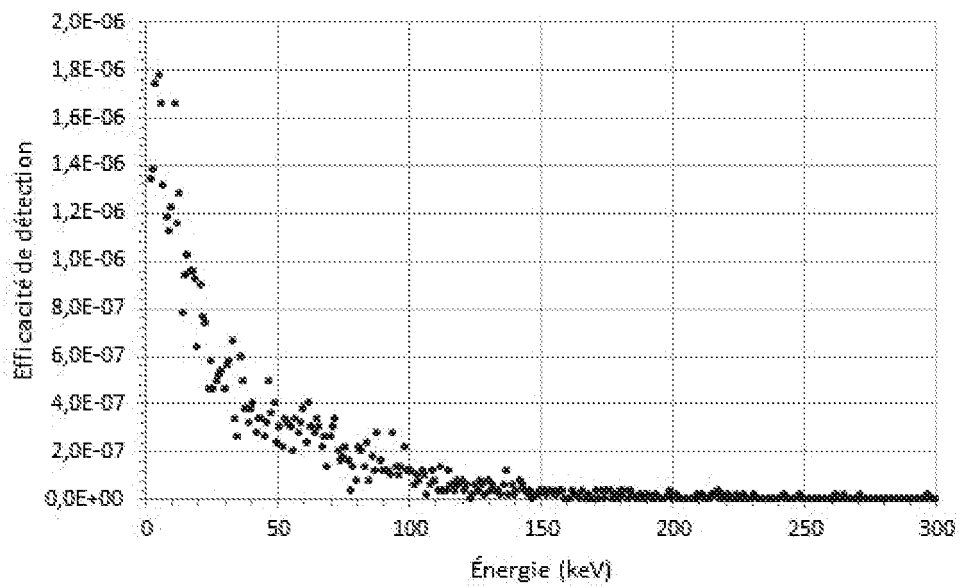


Fig. 9A

[Fig. 9B]

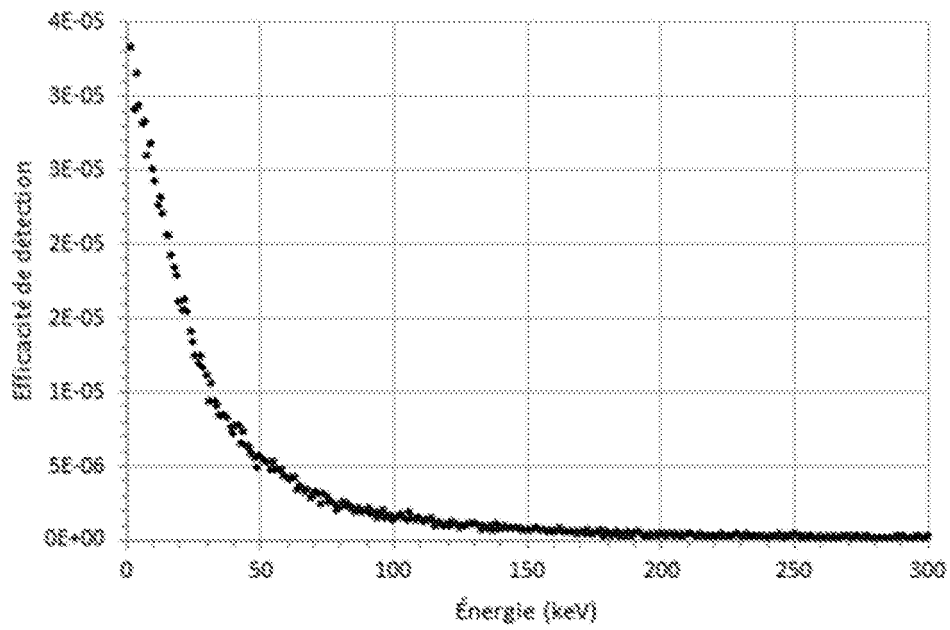


Fig. 9B

[Fig. 10]

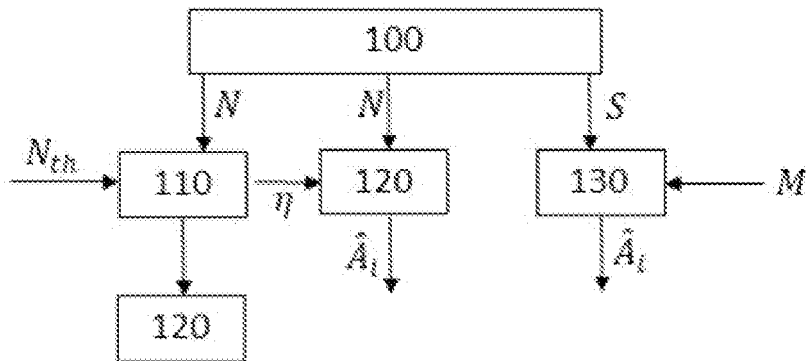


Fig. 10

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 909975
FR 2203578

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	JP 2006 343144 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 21 décembre 2006 (2006-12-21)	1, 2, 5, 10, 11, 13	G01T1/20 G01T1/36
Y	* abrégé *	3, 4, 6-9, 14, 15	G01T7/12 G02B6/50
A	* alinéas [0008] - [0009] * * alinéas [0023] - [0024] * -----	12	
Y	JP H09 80156 A (DORYOKURO KAKUNENRYO) 28 mars 1997 (1997-03-28) * abrégé * * figures 3, 4, 5 * * alinéas [0018], [0024], [0027] - [0030], [0039], [0040] * -----	3, 4	
Y	US 5 793 046 A (JEFFERS LARRY [US] ET AL) 11 août 1998 (1998-08-11) * figure 6 * * colonne 4, lignes 14-24 * * colonne 4, ligne 59 - colonne 5, ligne 10 * * colonne 5, lignes 56-58 * * colonne 6, ligne 44 - colonne 7, ligne 7 * -----	6, 7, 14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01T
Y	WO 03/048807 A1 (LEMER PAX [FR]; LEMER PIERRE-MARIE [FR]) 12 juin 2003 (2003-06-12) * abrégé * * page 8, lignes 1-21 * -----	8, 9, 15	
Y	US 4 495 420 A (CHUDY MARTIN [CS] ET AL) 22 janvier 1985 (1985-01-22) * abrégé * * figure 1 * * colonne 1, lignes 52-63 * * colonne 2, ligne 50 - colonne 3, ligne 9 * -----	8, 9, 15	
		-/--	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 février 2023		Santen, Nicole	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 909975
FR 2203578

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	JP 2019 015509 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 31 janvier 2019 (2019-01-31) * abrégé * * figures 8, 9 * -----	12	
A	KR 102 009 667 B1 (MYONGJI UNIV INDUSTRY AND ACADEMIA COOPERATION FOUNDATION [KR]) 24 septembre 2019 (2019-09-24) * abrégé * * figures 1-3 * * alinéas [0001], [0007], [0016], [0029] - [0032], [0051] - [0053] * -----	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 février 2023		Santen, Nicole	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2203578 FA 909975**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **24-02-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 2006343144	A	21-12-2006	AUCUN	

JP H0980156	A	28-03-1997	AUCUN	

US 5793046	A	11-08-1998	CA 2219101 C	27-06-2000
			JP H10132941 A	22-05-1998
			RU 2182715 C2	20-05-2002
			TW 343284 B	21-10-1998
			UA 37270 C2	15-05-2001
			US 5793046 A	11-08-1998

WO 03048807	A1	12-06-2003	AT 482410 T	15-10-2010
			AU 2002365700 A1	17-06-2003
			EP 1456691 A1	15-09-2004
			FR 2833357 A1	13-06-2003
			JP 2005512064 A	28-04-2005
			US 2005029465 A1	10-02-2005
			WO 03048807 A1	12-06-2003

US 4495420	A	22-01-1985	AUCUN	

JP 2019015509	A	31-01-2019	JP 6872995 B2	19-05-2021
			JP 2019015509 A	31-01-2019

KR 102009667	B1	24-09-2019	AUCUN	
