



(43) Date de la publication internationale
22 octobre 2015 (22.10.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/158523 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
G01T 3/00 (2006.01) *G21C 17/108* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2015/056656
- (22) Date de dépôt international :
26 mars 2015 (26.03.2015)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1453311 14 avril 2014 (14.04.2014) FR
- (71) Déposant : AREVA NP [FR/FR]; 1 Place Jean Millier
-Tour AREVA, F-92400 Courbevoie (FR).
- (72) Inventeur : MOURLEVAT, Jean Lucien; 16, Rue Rémi
Belleau, F-78590 Noisy le Roi (FR).
- (74) Mandataire : LEBKIRI, Alexandre; 25 rue de mau-
beuge, F-75009 Paris (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), eurasién (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 : SELF-POWERED NEUTRON DETECTOR OF A PRESSURISED-WATER REACTOR

(54) Titre : DETECTEUR DE NEUTRONS AUTOALIMENTES D'UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE

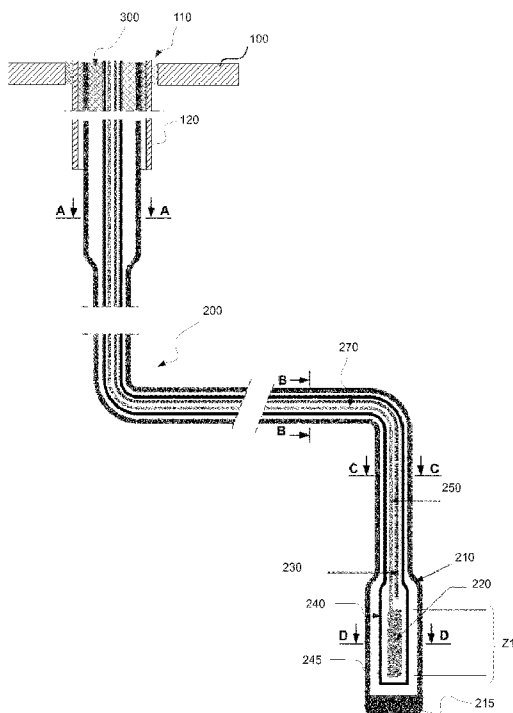


Fig. 2

(57) Abstract : The invention relates to a self-powered neutron detector (200) of a pressurised-water nuclear reactor comprising a vessel and a cover (100), said cover having at least one through hole (110) for passing an instrumentation tube (120) comprising a sealing device (300), said detector being intended for being inserted into the core via said instrumentation tube (120) which in turn passes through said cover (100) of said reactor, said detector (200) being characterised in that it includes a hollow outer pipe (210) which surrounds a single coaxial cable (240) forming neutron-detection means, the outer diameter of said hollow outer pipe (210) being dimensioned such as to be inserted through said sealing device located in the instrumentation tube (120) passing through said cover (100) of said nuclear reactor.

(57) Abrégé : L'invention se rapporte à un détecteur de neutrons autoalimenté (200) d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée comportant une cuve et un couvercle (100), ledit couvercle présentant au moins une pénétration (110) pour le passage d'une lance d'instrumentation (120) comportant un dispositif d'étanchéité (300), ledit détecteur étant destiné à être introduit à l'intérieur du cœur par ladite lance d'instrumentation (120) elle-même traversant ledit couvercle (100) dudit réacteur, ledit détecteur (200) étant caractérisé en ce qu'il comporte un conduit extérieur creux (210) qui entoure un unique câble coaxial (240) formant des moyens de détection de neutrons, le diamètre externe dudit conduit extérieur creux (210) étant dimensionné de manière à être introduit à travers ledit dispositif d'étanchéité situé dans la lance d'instrumentation (120) traversant ledit couvercle (100) dudit réacteur nucléaire.

DETECTEUR DE NEUTRONS AUTOALIMENTES D'UN REACTEUR A EAU PRESSURISEE

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

- 5 [0001] L'invention se rapporte au domaine des détecteurs de neutrons autoalimentés présents dans un réacteur à eau sous pression (REP).
- [0002] L'invention concerne plus particulièrement les détecteurs de neutrons autoalimentés introduits par la partie supérieure (i.e. le couvercle) d'un réacteur à eau pressurisée.
- 10 [0003] L'invention concerne plus particulièrement les détecteurs de neutrons autoalimentés à réponse lente mais est également applicable aux détecteurs de neutrons autoalimentés à réponse rapide.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

- 15 [0004] Les détecteurs de neutrons autoalimentés, également appelés « *collectrons* », ont été développés pour permettre la mesure précise et en position fixe des distributions de puissance dans le cœur des réacteurs. Ce type de détecteur est utilisé dans les réacteurs à eau sous pression, ainsi que sur des réacteurs expérimentaux.
- [0005] Les collectrons ont une structure et un fonctionnement simples. Ils se
- 20 présentent sous la forme d'un câble coaxial de faible diamètre (i.e. de l'ordre de 1 à 2 mm). L'âme centrale du câble coaxial (i.e. du collectron) est composée de deux câbles et d'un isolant entourant les dits deux câbles :
- i) un premier câble dont une première partie sensible au flux de neutrons, appelée émetteur, est constituée par un isotope générant des électrons grâce à une
- 25 réaction neutron/matière et une seconde partie est constituée par un câble métallique relié mécaniquement et électriquement à l'émetteur (i.e. la première partie) ;
- ii) un deuxième câble métallique identique dans sa nature et son diamètre au premier câble, non relié à l'émetteur, dit « câble de compensation ».
- 30 iii) les deux câbles sont entourés d'un isolant, généralement de l'alumine.

[0006] Le tout, c'est-à-dire l'âme centrale, est entouré d'une gaine métallique afin de constituer un câble coaxial.

[0007] Les collectrons sont placés et maintenus à l'intérieur du cœur du réacteur en permanence pendant le fonctionnement du réacteur. La plupart des réacteurs de type REP en service sont équipés d'un système d'instrumentation du cœur pénétrant dans la cuve par le bas, à travers des pénétrations, dites fond de cuve. Il existe cependant des réacteurs du type REP dans lesquels les collectrons sont introduits par le haut de la cuve via des pénétrations ménagées dans le couvercle de la cuve. Dans cette dernière catégorie de réacteurs, les détecteurs de neutrons autoalimentés cheminent dans des éléments mécaniques formant les « internes supérieurs » du réacteur situés sous le couvercle de la cuve et au-dessus du cœur.

[0008] Les collectrons sont classés en deux catégories :

- les collectrons à réponse lente, (généralement au rhodium) pour lesquels la réaction neutron/matière va donner lieu à une émission par l'émetteur, d'électrons par radioactivité β^- ; dans ce cas, l'établissement d'un courant stable est fonction de la période de désintégration radioactive des isotopes formés ;
- les collectrons à réponse rapide (généralement au cobalt) pour lesquels la réaction neutron/matière va donner lieu à une émission d'électrons par effets Compton ou photo-électrique suite à l'absorption radiative des neutrons par l'émetteur ; le temps de réponse est inférieur à 30ms mais le rapport signal/bruit est beaucoup plus faible que pour les collectrons lents.

[0009] Comme illustré à la figure1, en fonction de la conception des internes supérieurs, les détecteurs auto-alimentés introduits par le couvercle du réacteur nucléaire sont amenés à être cintrés afin d'épouser au mieux les liaisons situées d'une part entre les ensembles mécaniques verticaux formés par les lances d'instrumentation 31 (« instrumentation lances » en langue anglaise), et les ensembles mécaniques horizontaux 32 (i.e. les bras d'instrumentation (« yoke » en langue anglaise) et d'autre part entre les bras d'instrumentation 32 (ensembles horizontaux) et les doigts d'instrumentation verticaux 33

(«instrumentation finger » en langue anglaise) plongeant dans un tube spécifique dit tube d'instrumentation au sein des éléments combustible. Ce tube d'instrumentation peut être un des tubes-guide composant le squelette mécanique de l'élément combustible ou le tube central.

5 [0010] Les rayons de courbure qui découlent de ces liaisons dont certaines peuvent être à angle droit peuvent être très courts, de l'ordre de quelques centimètres. Le nombre de détecteurs auto-alimentés au rhodium présents dans les éléments combustibles est en général de six à huit disposés à différents
10 au plus, qui chemine dans les internes supérieurs. Il peut aussi y avoir un thermocouple ce qui fait que le nombre de câbles est au maximum de neuf. Compte tenu des géométries et des rayons de courbures très faibles des collectrons imposés par les internes supérieurs et contrairement aux réacteurs nucléaires de type REP équipés d'un système d'instrumentation du cœur
15 pénétrant dans la cuve par le bas, il est impossible de protéger ce faisceau par un conduit extérieur qui protégeraient l'ensemble des câbles coaxiaux d'un contact direct avec l'eau du circuit primaire et donc d'un phénomène de corrosion pouvant entraîner une perte irréversible d'isolement électrique et une incapacité à mesurer le flux de neutrons. En effet, l'ensemble ainsi formé serait trop rigide et ne pourrait
20 pas être cintré avec les rayons de courbures requis.

[0011] De plus, les diamètres de passage des détecteurs de neutrons au niveau des systèmes d'étanchéité des lances d'instrumentation 31 avec le couvercle 20 sont définis historiquement pour le passage de collectrons à réponse rapide (i.e. de l'ordre de 2 mm de diamètre), ce qui rend impossible
25 l'aménagement d'un conduit extérieur autour du faisceau de collectrons.

[0012] Ainsi, le faisceau de collectrons chemine nu dans les internes supérieurs sans conduit protecteur extérieur, occasionnant un contact direct avec l'eau du circuit primaire.

EXPOSE DE L'INVENTION

30 [0013] Dans ce contexte, l'invention vise à améliorer cette situation en proposant un détecteur de neutrons autoalimenté adapté pour être introduit par le couvercle d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée permettant de diminuer le

risque de corrosion du câble coaxial constituant le collectron et donc diminuer le risque de perte de la fonction de détection de neutrons.

[0014] A cette fin, l'invention a pour objet un détecteur de neutrons autoalimenté d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée comportant une cuve et un couvercle, ledit couvercle présentant au moins une pénétration pour le passage d'une lance d'instrumentation comportant un dispositif d'étanchéité, ledit détecteur étant destiné à être introduit à l'intérieur du cœur par la lance d'instrumentation elle-même traversant le couvercle dudit réacteur, ledit détecteur étant caractérisé en ce qu'il comporte un conduit extérieur creux qui entoure un unique câble coaxial formant des moyens de détection de neutrons, le diamètre externe dudit conduit extérieur creux étant dimensionné de manière à être introduit à travers ledit dispositif d'étanchéité situé dans la lance d'instrumentation traversant ledit couvercle dudit réacteur nucléaire.

[0015] Ainsi, l'invention propose un détecteur de neutrons autoalimenté introduit à travers le couvercle de la cuve d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée fonctionnant en environnement sec, permettant par conséquent de réduire les risques de corrosion sous contrainte d'un câble du collectron, en évitant le contact direct du câble coaxial avec liquide primaire du réacteur, tout en respectant les contraintes géométriques d'un détecteur de neutrons (dont les longueurs et diamètres de chaque partie du détecteur sont fixés par la sensibilité du détecteur), et les exigences de forme imposées par l'implantation d'une instrumentation neutronique interne du cœur à base de collectrons positionnés à des emplacements fixes dans un réacteur de type REP vis à vis du système d'étanchéité entre le conduit extérieur et les lances d'instrumentation au niveau des pénétrations du couvercle.

[0016] Avantageusement, le détecteur selon l'invention est un détecteur de neutrons à réponse lente.

[0017] L'invention est particulièrement adaptée aux instrumentations internes formées par la combinaison de détecteur de neutrons à réponse lente et de détecteur de neutrons à réponse rapide.

[0018] Avantageusement, l'invention propose un détecteur de neutrons, typiquement à réponse lente, isolé du liquide de refroidissement primaire d'un

réacteur de type REP par un conduit extérieur individuel dont le diamètre extérieur, au niveau de la pénétration du couvercle, est inférieur ou égal à 2mm de manière à pouvoir s'implanter facilement dans les passages des dispositifs d'étanchéité situés dans les lances d'instrumentation.

5 [0019] Ainsi, l'invention propose de protéger individuellement chaque détecteur autoalimenté, et particulièrement les détecteurs de type collectron au rhodium, dans un conduit extérieur de diamètre réduit, et non l'ensemble du faisceau regroupant l'ensemble des détecteurs placés dans un assemblage combustible, afin que l'ensemble puisse être cintré selon les rayons de courbures
10 exigées par l'implantation de l'instrumentation interne dans le cœur du réacteur et le cheminement des câbles dans les éléments mécaniques dits Internes supérieurs de la cuve.

[0020] Le détecteur de neutrons autoalimenté selon l'invention peut également présenter une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous, considérées
15 individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles :

- le diamètre externe du conduit extérieur creux est inférieur ou égal à 2 millimètres le long de son cheminement dans la cuve ;
- le diamètre extérieur dudit conduit extérieur creux est égal à 1,9 mm au
niveau de la pénétration du couvercle ;
- 20 - le détecteur de neutrons est un détecteur à réponse lente comportant un émetteur au rhodium ou vanadium ;
- le détecteur de neutrons est un détecteur à réponse rapide comportant un émetteur au cobalt ou au platine ou hafnium ;
- le conduit extérieur creux est un conduit métallique non sensible aux
25 phénomènes de corrosion sous contrainte dans l'eau primaire du réacteur ;
- le conduit extérieur creux est en acier inoxydable ;
- le conduit extérieur est une pièce monobloc et continue ;
- le conduit extérieur comporte un bouchon soudé à son extrémité.

[0021] Avantageusement, le système d'instrumentation interne d'un réacteur
30 nucléaire à eau pressurisée comporte au moins un détecteur de neutrons autoalimenté à réponse lente selon l'invention et/ou au moins un détecteur de neutrons autoalimenté à réponse rapide.

[0022] Avantageusement, le système d'instrumentation interne d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée comporte au moins un thermocouple.

[0023] L'invention a également pour objet un réacteur nucléaire à eau pressurisée comportant un couvercle, une cuve, un système d'instrumentation interne fixe selon l'invention.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0024] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description qui suit, en référence aux figures annexées.

[0025] La figure 1 déjà décrite dans le préambule illustre une vue d'ensemble d'un réacteur nucléaire à eau comportant des détecteurs de neutrons de type collectrons positionnés à emplacements fixes selon l'état de la technique.

[0026] La figure 2 illustre une vue schématique d'un détecteur de neutrons autoalimenté à réponse lente selon l'invention.

[0027] Les figures 3 à 6 sont différentes vues en coupe du détecteur de neutrons selon l'invention réalisées selon les repères illustrés à la figure 2.

[0028] Dans toutes les figures, les éléments communs portent les mêmes références sauf précision contraire.

DESCRIPTION DETAILLEE D'UN MODE DE REALISATION

[0029] La figure 2 illustre une vue schématique d'un détecteur de neutrons autoalimenté à réponse lente 200 selon l'invention en position dans une cuve (non représentée) d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée, et introduit dans la cuve au travers d'une pénétration 110 agencée dans le couvercle 100. Les figures 3 à 6 représentent différentes vues en coupe du détecteur à neutrons avec le conduit extérieur selon l'invention à différents niveaux dans le réacteur nucléaire.

[0030] La figure 3 illustre une vue en coupe du détecteur de neutrons 200 selon l'invention au niveau de la lance d'instrumentation 120 d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée.

[0031] La figure 4 illustre une vue en coupe du détecteur de neutrons 200 selon l'invention au niveau du bras d'instrumentation d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée.

[0032] La figure 5 illustre une vue en coupe du détecteur de neutrons 200 selon l'invention au niveau des internes supérieurs d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée.

[0033] La figure 6 illustre une vue en coupe du détecteur neutrons 200 selon l'invention au niveau du cœur du réacteur.

[0034] Le détecteur de neutrons à réponse lente 200 selon l'invention est un détecteur de neutrons au rhodium formé par un câble coaxial 240 comportant une âme centrale constituée par :

- un fil signal 250, par exemple réalisé en Inconel®, relié à son extrémité inférieure à un émetteur rhodium 220,
- un émetteur 220, par exemple au rhodium ou au vanadium, relié électriquement et mécaniquement au fil signal 250, d'une longueur de quelque dizaine de centimètres, capable d'absorber les neutrons puis d'émettre des électrons qui seront transportés par le fil signal,
- un fil de compensation 230 par exemple réalisé en Inconel®,
- un isolant électrique 270, généralement de l'alumine, entourant les fils métalliques 250, 230.

[0035] L'âme centrale est entourée par une gaine 245, par exemple en Inconel 600 ® protégeant ainsi les deux fils, signal 250 et compensation 230.

[0036] Le détecteur de neutrons 200 selon l'invention comporte également un conduit extérieur 210 entourant le câble du collectron 240 sur toute sa longueur, et au moins sur toute la partie du câble située à l'intérieur de la cuve du réacteur. Les dimensions du conduit extérieur 210 sont imposées en partie supérieure (au niveau de la pénétration du couvercle) par la dimension de la pénétration 110 du couvercle 100 ainsi que par les dimensions de la lance d'instrumentation 120 et du système d'étanchéité 300, et en partie inférieure par les dimensions de la gaine du câble du collectron au niveau de l'émetteur 220 sensible aux neutrons.

[0037] En effet, le diamètre extérieur du câble coaxial 240 au niveau de la partie sensible aux neutrons, correspondant au diamètre de l'émetteur rhodium 220 ainsi que le diamètre de l'émetteur au rhodium 220, sont des dimensions figées propres aux détecteur de type collectrons car leurs sensibilités ainsi que leurs précisions de mesure en dépendent.

[0038] Ainsi, de manière classique, les détecteurs autoalimentés au rhodium comportent un câble coaxial 240 comportant un diamètre externe De1(ca) plus important au niveau de la partie sensible aux neutrons, symbolisé par la référence Z1 à la figure 2, que le diamètre externe De2(ca), De3(ca) de la partie non sensible aux neutrons. Rappelons que le diamètre externe De2(ca) correspond au diamètre externe du câble coaxial 240 au niveau des internes supérieurs illustré en coupe à la figure 5 et au niveau du bras horizontal d'instrumentation illustré en coupe à la figure 4, et que le diamètre externe De3(ca) correspond au diamètre externe du câble coaxial 240 passant au travers de la pénétration 110 du couvercle 100 illustré à la figure 3.

[0039] C'est donc au niveau de la deuxième partie, c'est-à-dire au niveau de la partie non sensible aux neutrons, du câble coaxial 240, qui présente un diamètre extérieur égal à De2(ca) et qui chemine dans les internes supérieurs au niveau des jonctions à angle droit situées d'une part entre les ensembles mécaniques verticaux représentés par la lance d'instrumentation 120 et horizontaux (bras d'instrumentation) et d'autre part entre les bras d'instrumentation (horizontaux) et les doigts d'instrumentation verticaux, que l'on doit cintrer suivant des rayons de courbure imposés.

[0040] Avantageusement, le câble coaxial 240 ainsi formé par l'âme centrale et la gaine 245, présente un diamètre de l'ordre de 1,1 mm au niveau de la partie non sensible aux neutrons.

[0041] Dans la présente invention, le câble coaxial 240 est inséré dans un conduit extérieur 210 présentant un diamètre extérieur pouvant être variable. Pour simplifier la description, le conduit extérieur 210 selon l'invention présente une épaisseur constante ; toutefois, la présente invention est également applicable avec un conduit extérieur 210 présentant des épaisseurs variables tant que l'encombrement du conduit extérieur répond aux différentes contraintes

environnantes du réacteur. L'épaisseur du conduit extérieur 210 est dimensionnée de manière à résister mécaniquement à la pression du liquide primaire.

[0042] Ainsi, de manière à répondre aux contraintes de dimensions environnantes, le conduit extérieur 210 présente :

- 5 - un diamètre extérieur au niveau de la lance d'instrumentation 120 présentant une valeur $De3(cd)$ inférieure au diamètre intérieur de la lance d'instrumentation 120, et typiquement inférieur à 2 mm ; et avantageusement de l'ordre de 1,9 mm ;
- 10 - un diamètre extérieur du conduit au niveau du bras d'instrumentation et au niveau des internes supérieurs présentant une valeur $De2(cd)$, avantageusement dans le mode de réalisation illustré à la figure 2, $De2(cd) < De3(cd)$ de manière à faciliter l'opération de cintrage de cette partie du conduit extérieur 210 ;
- 15 - un diamètre extérieur du conduit au niveau de la partie sensible aux neutrons présentant une valeur $De1(cd)$ inférieure au diamètre intérieur de la lance d'instrumentation 120, pour permettre éventuellement son passage pour les opérations de montage/démontage, et supérieure au diamètre extérieur du câble coaxial $De1(ca)$.

[0043] Au niveau de la pénétration 110 du couvercle 100, il est prévu un système d'étanchéité 300. Ce système d'étanchéité 300 est composé de trois niveaux :

- un premier niveau d'étanchéité réalisé entre le couvercle 100 et la lance d'instrumentation 120 ;
- 25 - un deuxième niveau d'étanchéité réalisé entre la lance d'instrumentation 120 et le conduit extérieur 210 du détecteur 200 ;
- un troisième niveau d'étanchéité réalisé entre le conduit extérieur 210 et le câble coaxial 240 du détecteur de neutrons 200, dit étanchéité primaire ; ce troisième niveau d'étanchéité est individuel à chaque détecteur 200 composant le faisceau et est réalisé par un système
- 30 d'étanchéité par exemple de type brasage ou « Swagelok ».

[0044] Ainsi, le conduit extérieur 210 du détecteur 200 forme une gaine monobloc et continue, i.e. sans soudure excepté celle concernant le bouchon 215

à son extrémité inférieure, sur toute sa longueur, ou au moins sur toute la partie située à l'intérieur de la cuve du réacteur. A titre d'exemple une telle gaine peut être fabriquée à partir d'un procédé de martelage permettant d'allonger la gaine en réduisant par martelage le diamètre de la gaine.

5 **[0045]** Avantageusement, le conduit extérieur 210 du détecteur 200 selon l'invention est réalisé en acier inoxydable.

10 **[0046]** L'invention a été particulièrement décrite pour un détecteur de neutrons autoalimentés à réponse lente de type collectron rhodium présents dans un réacteur à eau sous pression (REP) ; toutefois, l'invention est également applicable à un détecteur de neutrons autoalimenté à réponse rapide par exemple au cobalt, au platine ou encore au hafnium.

REVENDEICATIONS

1. Détecteur de neutrons autoalimenté (200) d'un réacteur nucléaire à eau
5 pressurisée comportant une cuve et un couvercle (100), ledit couvercle
présentant au moins une pénétration (110) pour le passage d'une lance
d'instrumentation (120) comportant un dispositif d'étanchéité (300), ledit
détecteur étant destiné à être introduit à l'intérieur du cœur par ladite lance
d'instrumentation (120) elle-même traversant ledit couvercle (100) dudit
10 réacteur, ledit détecteur (200) étant caractérisé en ce qu'il comporte un
conduit extérieur creux (210) qui entoure un unique câble coaxial (240)
formant des moyens de détection de neutrons, le diamètre externe dudit
conduit extérieur creux (210) étant dimensionné de manière à être introduit
à travers ledit dispositif d'étanchéité situé dans ladite lance
15 d'instrumentation (120) traversant ledit couvercle (100) dudit réacteur
nucléaire.
2. Détecteur de neutrons autoalimenté (200) d'un réacteur nucléaire à eau
pressurisée selon la revendication précédente caractérisé en ce que ledit
20 diamètre externe dudit conduit extérieur creux (210) est inférieur ou égal à
2 millimètres le long de son cheminement dans la cuve.
3. Détecteur de neutrons autoalimenté (200) d'un réacteur nucléaire à eau
pressurisée selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce
25 que le diamètre extérieur dudit conduit extérieur creux (210) est égal à
1,9mm au niveau de la pénétration du couvercle (100).
4. Détecteur de neutrons autoalimenté (200) d'un réacteur nucléaire à eau
pressurisée selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce
30 que ledit détecteur de neutrons est un détecteur de neutrons à réponse
lente comportant un émetteur (220) au rhodium ou vanadium.
5. Détecteur de neutrons autoalimenté (200) d'un réacteur nucléaire à eau
pressurisée selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce

que ledit détecteur de neutrons est un détecteur de neutrons à réponse rapide comportant un émetteur au cobalt ou au platine ou hafnium

- 5 6. Détecteur de neutrons autoalimenté (200) d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que le conduit extérieur creux (210) est un conduit métallique non sensible aux phénomènes de corrosion sous contrainte dans l'eau primaire du réacteur.
- 10 7. Détecteur de neutrons autoalimenté (200) d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que le conduit extérieur creux (210) est en acier inoxydable.
- 15 8. Détecteur de neutrons autoalimenté (200) d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que le conduit extérieur (210) est une pièce monobloc et continue.
- 20 9. Détecteur de neutrons autoalimenté (200) d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que le conduit extérieur comporte un bouchon (215) soudé à son extrémité.
- 25 10. Système d'instrumentation interne d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée caractérisé en ce qu'il comporte au moins un détecteur de neutrons autoalimenté selon l'une des revendications 1 à 9.
- 30 11. Système d'instrumentation interne d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée selon la revendication précédente caractérisé en ce qu'il comporte au moins un thermocouple.

1/3

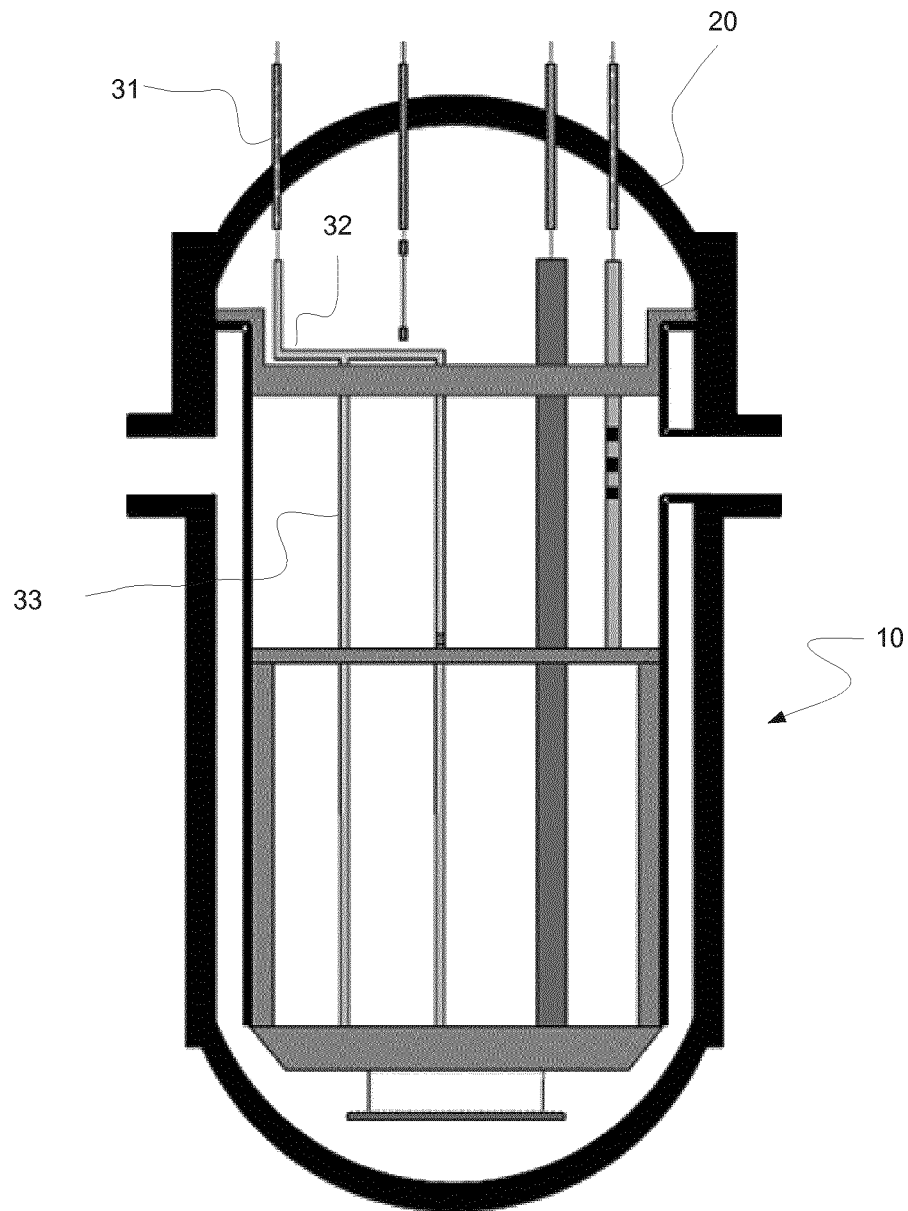


Fig. 1

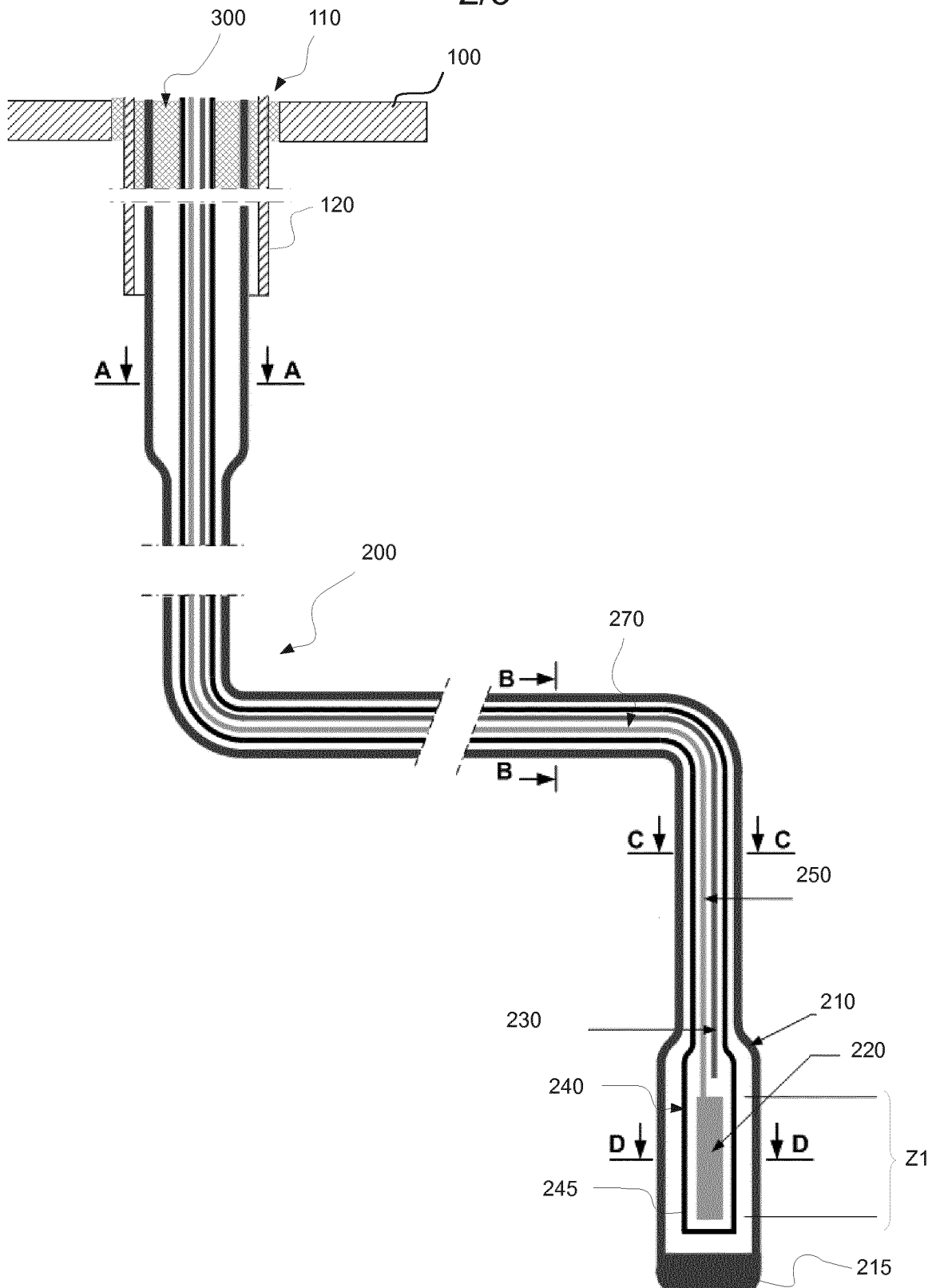
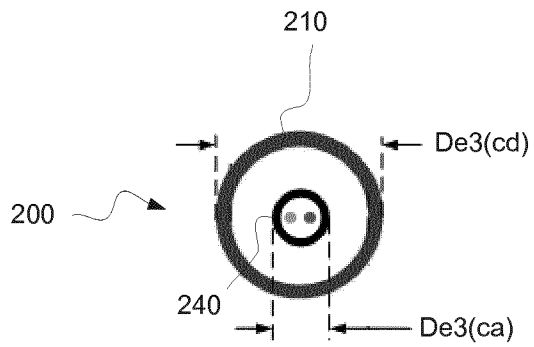
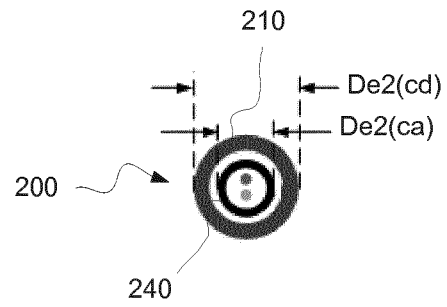


Fig. 2



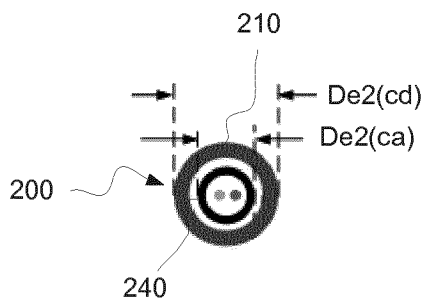
COUPE A-A

Fig. 3



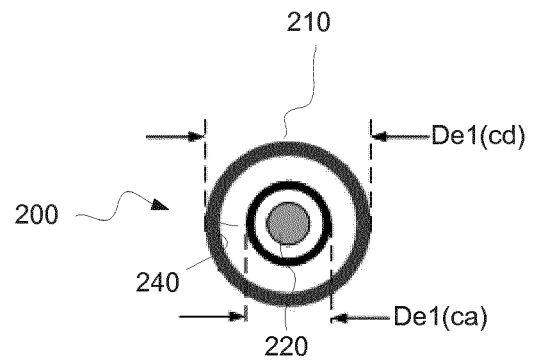
COUPE B-B

Fig. 4



COUPE C-C

Fig. 5



COUPE D-D

Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/056656

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01T3/00 G21C17/108
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 G21C

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2010/091929 A1 (UDA NOBUKI [JP] ET AL) 15 April 2010 (2010-04-15) paragraph [0002]; figures -----	1-11
Y	US 3 375 370 A (HILBORN JOHN W) 26 March 1968 (1968-03-26) column 3, line 67 - column 4, line 2; claims 1,4,5 -----	1-11
A	FR 2 430 023 A1 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP [US]) 25 January 1980 (1980-01-25) claim 4; figure 1 -----	5
A	FR 2 236 192 A1 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP [US]) 31 January 1975 (1975-01-31) page 2, line 14 - line 24 -----	5



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

28 May 2015

Date of mailing of the international search report

08/06/2015

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

Smith, Christopher

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/056656

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2010091929	A1	15-04-2010	CN 101632133 A 20-01-2010
			CN 102522129 A 27-06-2012
			EP 2128870 A1 02-12-2009
			JP 4599410 B2 15-12-2010
			JP 2008241691 A 09-10-2008
			KR 20090104111 A 05-10-2009
			TW 200901226 A 01-01-2009
			US 2010091929 A1 15-04-2010
			WO 2008108187 A1 12-09-2008

US 3375370	A	26-03-1968	NONE

FR 2430023	A1	25-01-1980	CA 1108777 A1 08-09-1981
			DE 2925003 A1 10-01-1980
			FR 2430023 A1 25-01-1980
			GB 2024508 A 09-01-1980
			JP S556295 A 17-01-1980
			US 4237380 A 02-12-1980

FR 2236192	A1	31-01-1975	CA 999984 A1 16-11-1976
			DE 2430295 A1 30-01-1975
			FR 2236192 A1 31-01-1975
			GB 1474997 A 25-05-1977
			JP S5039589 A 11-04-1975
			JP S5223822 B2 27-06-1977
			SE 395192 B 01-08-1977
			US 3872311 A 18-03-1975

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2015/056656

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01T3/00 G21C17/108 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 G21C		
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		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 2010/091929 A1 (UDA NOBUKI [JP] ET AL) 15 avril 2010 (2010-04-15) alinéa [0002]; figures -----	1-11
Y	US 3 375 370 A (HILBORN JOHN W) 26 mars 1968 (1968-03-26) colonne 3, ligne 67 - colonne 4, ligne 2; revendications 1,4,5 -----	1-11
A	FR 2 430 023 A1 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP [US]) 25 janvier 1980 (1980-01-25) revendication 4; figure 1 -----	5
A	FR 2 236 192 A1 (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP [US]) 31 janvier 1975 (1975-01-31) page 2, ligne 14 - ligne 24 -----	5
☐ 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 28 mai 2015		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 08/06/2015
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 Smith, Christopher

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2015/056656

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2010091929	A1	15-04-2010	CN 101632133 A	20-01-2010
			CN 102522129 A	27-06-2012
			EP 2128870 A1	02-12-2009
			JP 4599410 B2	15-12-2010
			JP 2008241691 A	09-10-2008
			KR 20090104111 A	05-10-2009
			TW 200901226 A	01-01-2009
			US 2010091929 A1	15-04-2010
			WO 2008108187 A1	12-09-2008

US 3375370	A	26-03-1968	AUCUN	

FR 2430023	A1	25-01-1980	CA 1108777 A1	08-09-1981
			DE 2925003 A1	10-01-1980
			FR 2430023 A1	25-01-1980
			GB 2024508 A	09-01-1980
			JP S556295 A	17-01-1980
			US 4237380 A	02-12-1980

FR 2236192	A1	31-01-1975	CA 999984 A1	16-11-1976
			DE 2430295 A1	30-01-1975
			FR 2236192 A1	31-01-1975
			GB 1474997 A	25-05-1977
			JP S5039589 A	11-04-1975
			JP S5223822 B2	27-06-1977
			SE 395192 B	01-08-1977
			US 3872311 A	18-03-1975
