

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

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

2 463 420

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 79 20708**

- (54) Convertisseur de photons non lumineux en photons lumineux et installation de contrôle non destructif faisant application de ce convertisseur.
- (51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 T 5/00; G 01 N 23/04; G 01 T 1/29.
- (22) Date de dépôt..... 14 août 1979.
- (33) (32) (31) Priorité revendiquée :
- (41) Date de la mise à la disposition du public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 8 du 20-2-1981.
- (71) Déposant : ETAT FRANÇAIS représenté par le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES, résidant en France.
- (72) Invention de : Jean-Claude Dufay.
- (73) Titulaire : *Idem* (71)
- (74) Mandataire : Cabinet Beau de Loménié,
55, rue d'Amsterdam, 75008 Paris.

La présente invention concerne un convertisseur de photons non lumineux, dits photons d'entrée tels que photons X ou γ , en photons lumineux, du type comportant une couche de luminophore disposée sur le trajet desdits 5 photons non visibles.

L'invention concerne aussi une installation pour le contrôle non destructif de matériau tel que le béton armé ou précontraint.

Les systèmes de radioscopie ou gammascopie existant dans le domaine médical et industriel fonctionnent à poste fixe; c'est en effet la pièce à contrôler qui se déplace devant le système de contrôle, et ces systèmes utilisent des rayonnements X de basse et moyenne énergie : de 10 keV à 200 keV. Ces systèmes utilisent la plupart 10 du temps comme convertisseur photons X/photon lumineux, un intensificateur d'image (ou amplificateur de brillance). Un tel élément est relativement lourd et encombrant, quoique de faible diamètre, et nécessite une alimentation 15 haute tension. L'image formée, disponible à la sortie 20 de cet intensificateur est analysée par une caméra de télévision et affichée à distance sur un écran de télévision.

Ce type d'appareillage ne donne des images de très bonne qualité que si le rayonnement utilisé est de 25 faible ou moyenne énergie et que si le matériau contrôlé est de faible densité et peu diffusant.

En revanche, ce même appareillage ne donne pas de résultat satisfaisant si le rayonnement utilisé est 30 un rayonnement X ou γ de forte énergie (jusqu'à 10 MeV), l'efficacité de conversion de l'intensificateur n'étant pas alors assez élevée, et si le matériau contrôlé est dense et très diffusant (cas du béton).

C'est pourquoi la présente invention a d'abord pour but de proposer un convertisseur ayant une efficacité 35 satisfaisante pour des photons d'entrée d'énergie supérieure à 200 keV.

La présente invention a aussi pour but de proposer un dispositif - ou installation - de contrôle non destructif par radioscopie ou gammascopie donnant des images de bonne qualité sur des épaisseurs de bétons aussi importantes que possible, tout en pouvant utiliser les mêmes sources de rayonnement qu'en gammagraphie classique (Ir 192 et Cobalt 60). De plus, le dispositif proposé étant destiné à un emploi sur chantier, on doit s'attacher à sélectionner des composants de faible poids, faibles dimensions et de très bonne résistance mécanique, avec le minimum de servitudes quant aux alimentations électriques nécessaires à son fonctionnement.

Le convertisseur conforme à l'invention est caractérisé en ce que qu'il comprend en outre, en amont de ladite couche de luminophore, relativement au sens de déplacement des photons non lumineux d'entrée, une feuille métallique dans laquelle lesdits photons non lumineux sont convertis en photons non lumineux d'énergie inférieure, par collision Compton desdits photons de haute énergie sur des électrons de ladite feuille métallique.

Avantageusement, l'énergie des photons non lumineux d'entrée est sensiblement comprise entre 200 keV et 10 MeV.

Avantageusement, l'épaisseur de la feuille métallique est comprise entre 100 et 500 μ m.

Avantageusement, la feuille métallique comprend au moins l'un des métaux suivants : le plomb, l'or.

Avantageusement, immédiatement en amont de la couche de luminophore se trouve une couche réflectrice de la lumière.

Avantageusement, la couche réflectrice de la lumière est en oxyde de titane.

L'installation de contrôle non destructif conforme à l'invention est caractérisée en ce que qu'elle comprend : une source de rayonnement photonique non lumineux dirigeant un flux dudit rayonnement sur le matériau 5 à contrôler, un filtre au plomb disposé en aval de ce matériau pour arrêter le rayonnement de basse énergie provenant de la diffusion dans ledit matériau du rayonnement issu de la source, un convertisseur 10 tel que décrit plus haut, pour transformer les photons issus dudit filtre en photons lumineux, un miroir incliné par rapport au trajet desdits photons lumineux pour recevoir ces photons et les diriger sur l'objectif d'entrée d'une caméra de télévision, et un dispositif de visualisation d'image recevant le signal 15 vidéo fourni par ladite caméra.

Avantageusement, la source contient au moins l'une des substances radioactives suivantes : Iridium 192 et Cobalt 60.

20 Avantageusement, la source, d'une part, et l'ensemble de détection comprenant le convertisseur, le miroir et la caméra de télévision, d'autre part, sont chacun associés à des moyens de déplacement respectifs pour les déplacer dans au moins deux directions spatiales, 25 ces moyens de déplacement étant commandables à distance.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre de plusieurs exemples de réalisation et en se référant aux dessins annexés dans 30 lesquels :

- la figure 1 est un schéma d'une installation de contrôle non destructif selon un mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 2 est une vue en coupe transversale 35 du convertisseur utilisé par l'installation de la figure 1 ;

- la figure 3 est un schéma d'un premier mode de mise en oeuvre de l'installation de la figure 1 ;
- la figure 4 est un schéma d'un deuxième mode de mise en oeuvre de l'installation de la figure 1 ;
- 5 - la figure 5 est un schéma d'un troisième mode de mise en oeuvre de l'installation de la figure 1 ; et
- la figure 6 est un schéma d'un quatrième mode de mise en oeuvre de l'installation de la figure 1 .

L'installation représentée comprend : une source de rayonnement X ou γ , 1 dirigeant un faisceau de rayonnement de forte énergie 2 vers une masse en béton armé ou précontraint à inspecter 3. un filtre en plomb 4 arrêtant le rayonnement de basse énergie provenant de la diffusion dans le matériau 3 du rayonnement 2 issu de la source 1, un convertisseur 5 transformant les photons X ou γ issus du filtre 4 en photons lumineux 6 formant une image de format convenable, par exemple de 30 cm x 40 cm , un miroir 7 disposé à 45° par rapport au plan 5a du convertisseur 5, ce miroir recevant la lumière 6 fournie 20 par le convertisseur 5 et ayant un coefficient de réflexion élevé, par exemple de 0,97, pour la longueur d'onde d'émission du convertisseur 5, une caméra de télévision 8 analysant ligne par ligne l'image réfléchie par le miroir 7, cette caméra 8 étant, de préférence, à bas niveau de lumière, et étant équipée d'un objectif optique 8a de grande luminosité et de grande ouverture, par exemple ouvrant à f/0,95, et un dispositif de visualisation - ou moniteur - 9 visualisant l'image obtenue à partir du signal vidéo qui est fourni par la 30 caméra 8 et qui est, le cas échéant, préalablement traité dans une unité de mémorisation-intégration 10 pour amélioration du rapport signal/bruit. Cette image peut également être enregistrée soit sur un magnétoscope 11, soit sur un enregistreur graphique d'image vidéo 12.

Le rayonnement fourni par la source 1 est, de préférence, d'énergie comprise entre 200 keV et 10 MeV.

Cette source 1 peut être une source au Cobalt 60 ou à l'Iridium 192 ; alternativement, cette source 5 peut être du type comportant un accélérateur dirigeant un flux de particules chargées électriquement sur une cible.

Les convertisseurs γ - visible, ou X - visible connus ont généralement une efficacité - ou un rendement - très faible dès que l'énergie des photons X ou γ 10 dépasse 200 keV. Il était donc exclu d'utiliser un de ces convertisseurs dans l'installation d'inspection et/ou de contrôle présentement décrite.

Le convertisseur représenté sur la figure 2 15 présente l'avantage de donner, à partir de photons X ou γ de haute énergie une image de qualité suffisante pour la recherche de défauts dans le béton. En outre, un tel convertisseur n'est pas fragile, il est simple d'emploi et, notamment, il ne nécessite pas d'équipement électronique compliqué, 20 et il est peu épais, léger, et disponible - ou facile à réaliser - dans des dimensions identiques à celles des films radiographiques couramment employés : 30 cm x 40 cm.

Ce convertisseur comprend de façon jointive 25 et de gauche à droite sur la figure 2 : un support en carton 13, une feuille métallique de plomb ou d'or, 14 d'environ 250 μm d'épaisseur, disposée sur une face dudit support 13, une couche réflectrice en oxyde de titane TiO_2 , 15, d'environ 10 μm d'épaisseur, une 30 couche fluorescente en $\text{ZnS}\text{Cd : Ag}$, 16 d'environ 1000 μm d'épaisseur et une couche protectrice 17 d'environ 10 μm d'épaisseur.

Le fonctionnement de l'installation d'inspection - ou contrôle - qui vient d'être décrite est le 35 suivant :

Les photons γ - ou X - issus du matériau à contrôler 3 sont transformés en lumière visible par le convertisseur 5 : l'image ainsi formée sur ce convertisseur est reprise par le miroir 7 de coefficient de réflexion élevé (0,97), pour la longueur d'onde d'émission du convertisseur 5, et analysée par la caméra de télévision à bas niveau de lumière 8. Le signal vidéo issu de la caméra 8 forme, à distance, l'image cherchée sur l'écran de télévision 9. Cette image peut être 10 enregistrée soit sur le magnétoscope 11, pour examen ultérieur, soit sur l'enregistreur graphique d'images vidéo 12 pour archivage ou insertion dans un dossier. La qualité de l'image obtenue peut être améliorée à la sortie de la caméra 8 par l'unité de mémorisation- 15 intégration 10 (amélioration du rapport signal/bruit, c'est-à-dire du contraste).

Le fonctionnement du convertisseur 5 représenté à la figure 2 est le suivant :

Le rayonnement γ - ou X - 18 issu du matériau à 20 contrôler 3 pénètre dans la feuille métallique de plomb ou d'or 14, disposée sur le support en carton 13 qui lui confère une rigidité suffisante. La feuille métallique 14 crée par diffusion Compton, des électrons et des photons diffusés d'énergie moindre, dont la somme 25 est sensiblement égale à l'énergie primaire. Ces électrons et photons diffusés émergent de la feuille métallique 14 et pénètrent dans la couche fluorescente en Zn Scd : Ag,16 d'épaisseur 1020 μm . Cette dernière émet alors une lumière visible de fluorescence. Une 30 partie de la lumière ainsi créée étant dirigée vers l'arrière, une couche réflectrice en oxyde de titane 3 d'épaisseur 10 μm , renvoie la lumière vers l'avant et améliore donc la luminosité du convertisseur. Enfin 35 la couche protectrice 17 de 10 μm assure à ce convertisseur une bonne tenue aux poussières, rayures, etc.

Ce type d'écran-convertisseur présente typiquement une amélioration de luminosité de 12,8 %, par rapport à un écran fluorescent médical connu utilisé dans les mêmes conditions. Le contraste est augmenté de 5 12 %. D'autres mesures ont montré également que la luminosité de cet écran est produite en majeure partie par le rayonnement primaire issu du matériau à contrôler alors que dans le cas de l'écran médical connu, cette luminosité est due principalement au rayonnement diffusé.

La résolution limite de la chaîne complète de la figure 1 est celle du convertisseur, soit 1 pl/mm à 4 % de contraste.

La chaîne dite de radioscopie télévisée ainsi 15 constituée donne typiquement des images parfaitement exploitables jusqu'à une épaisseur de béton traversé de 45 cm pour une source de Cobalt 60 de 250 Ci, et 1 m d'épaisseur pour un accélérateur linéaire délivrant 700 rad/mn à 1 m sous 10 MeV.

20 Cette chaîne de radioscopie télévisée est avantageusement appliquée au contrôle de la qualité des injections de béton et au positionnement des câbles de précontraintes dans le béton.

Pour effectuer ce contrôle, la source 1 et l'ensemble 25 détecteur 4 et 5, 7 et 8, désigné ci-après sous la référence 19, doivent se déplacer en synchronisme de part et d'autre de la paroi en béton 30 à inspecter. Ceci sera réalisé par un "pilotage à vue" de l'ensemble suivant le principe de la figure 3.

30 Selon le schéma de la figure 3, la source 1 et le sous-ensemble de détection 19 sont chacun associés à des moyens, respectivement 20 et 21, pour leur déplacement en X, et Z ou en X, Y et Z ; les moyens 20 et 21 sont chacun commandés à distance par un dispositif de 35 commande manuelle respectif 22 et 23.

L'utilisation de la chaîne d'inspection sur les trois principaux types d'ouvrages en béton est illustrée aux figures 4 (pont caisson), 5 (pont poutre) et 6 (pont dalle). Pour ce dernier type d'ouvrage, la source 1 est, 5 de préférence, un accélérateur linéaire. Sur les figures 3 à 6 les mêmes éléments sont désignés par les mêmes références. La figure 6 montre, sur ses moitiés de droite et de gauche, deux modes de disposition de la chaîne d'inspection.

10 Il est à noter que, selon les figures 3 et 4, les moyens de déplacement 20 et 21 sont mécaniquement indépendants l'un de l'autre, tandis que, selon la figure 5, ces moyens sont solidarisés entre eux par un élément de structure 24. Selon la figure 6, un seul moyen 15 de déplacement 20 assure le déplacement des unités 1 et 19.

L'installation dite de radioscopie télévisée en haute énergie qui vient d'être décrite est principalement destinée au contrôle des ouvrages d'art en béton précontraint, 20 à partir d'un rayonnement X ou γ de forte énergie (de préférence de 200 keV à 10 MeV). Elle met en oeuvre un convertisseur spécial fluométallique spécialement étudié et fabriqué pour cette installation.

Cependant, l'utilisation ci-dessus donnée de 25 cette installation n'est nullement limitative. La chaîne de radioscopie télévisée décrite peut également trouver son application à chaque fois qu'une visualisation quasi instantanée de défauts internes à un matériau plus ou moins dense est nécessaire, à partir de rayonnement 30 X ou γ de forte énergie (par exemple dans l'industrie du bâtiment, du bois, la métallurgie, etc.) et là où une résolution limite de 1 pl/mm à 4 % de contraste est suffisante.

R E V E N D I C A T I O N S

1. Convertisseur de photons non lumineux, dits photons d'entrée tels que photons X ou γ , en photons lumineux, du type comportant une couche de luminophore disposée sur le trajet desdits photons non lumineux, caractérisé en ce qu'il comprend en 5 outre, en amont de ladite couche de luminophore, relativement au sens de déplacement des photons non lumineux d'entrée, une feuille métallique dans laquelle lesdits photons non lumineux sont convertis en photons non lumineux d'énergie inférieure, par collision Compton desdits photons d'entrée sur des électrons de 10 ladite feuille métallique.
2. Convertisseur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'énergie des photons non lumineux d'entrée est sensiblement comprise entre 200 keV et 10 MeV.
3. Convertisseur selon l'une des revendications 1 et 2, 15 caractérisé en ce que l'épaisseur de la feuille métallique est comprise entre 100 et 500 μm .
4. Convertisseur selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la feuille métallique comprend au moins 1'un des métaux suivants : le plomb, l'or.
- 20 5. Convertisseur selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'immédiatement en amont de la couche lumino-phore se trouve une couche réflectrice de la lumière.
6. Convertisseur selon la revendication 5, caractérisé en ce que la couche réflectrice de la lumière est en oxyde de 25 titane.
7. Convertisseur selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la couche de luminophore est en ZnS Cd : Ag d'épaisseur comprise entre 600 et 1500 μm et, de préférence, d'environ 1 000 μm .
- 30 8. Installation de contrôle non destructif d'un matériau faisant application du convertisseur selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée en ce qu'elle comprend : une source de rayonnement photonique non lumineux dirigeant un flux dudit rayonnement sur le matériau à contrôler, un filtre au plomb disposé en aval de ce matériau pour arrêter le rayonnement de basse énergie provenant de la diffusion dans ledit matériau du

rayonnement issu de la source, un convertisseur selon l'une des revendications 1 à 7, pour transformer les photons issus dudit filtre en photons lumineux, un miroir incliné par rapport au trajet desdits photons lumineux pour recevoir ces photons et les 5 diriger sur l'objectif d'entrée d'une caméra de télévision, et un dispositif de visualisation d'image, recevant le signal vidéo fourni par ladite caméra.

9. Installation selon la revendication 8, caractérisée en ce que la source contient au moins l'une des substances radio-10 actives suivantes : Iridium 192 et Cobalt 60.

10. Installation selon l'une des revendications 8 et 9, caractérisée en ce que la source, d'une part, et l'ensemble de détection comprenant le convertisseur, le miroir et la caméra de télévision, d'autre part, sont chacun associés à des moyens 15 de déplacement respectifs pour les déplacer dans au moins deux directions spatiales, ces moyens de déplacement étant commandables à distance.



