

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 09.02.98.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 13.08.99 Bulletin 99/32.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : COMPAGNIE GENERALE DES
MATIERES NUCLEAIRES Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : PICCO BERNARD et MARCHAND
MICHEL.

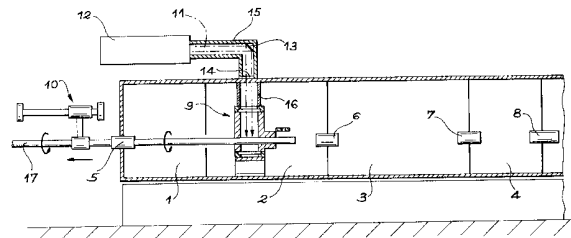
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : BREVATOME.

54 PROCÉDE ET INSTALLATION DE DECONTAMINATION DE CRAYONS DE COMBUSTIBLE NUCLEAIRE AU
MOYEN D'UN FAISCEAU LASER.

57 L'invention concerne un procédé de décontamination
de la gaine de crayons de combustible nucléaire (17), con-
sistant à soumettre une surface de la gaine à l'impact d'un
faisceau laser pulsé (11) provenant d'un laser Nd-YAG (12)
émettant dans l'infrarouge.

Elle concerne également une installation pour la mise en
oeuvre de ce procédé.



PROCEDE ET INSTALLATION DE DECONTAMINATION DE CRAYONS
DE COMBUSTIBLE NUCLEAIRE AU MOYEN D'UN FAISCEAU LASER

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé
5 de décontamination de crayons de combustible nucléaire
au moyen d'un faisceau laser. Elle concerne également
une installation permettant la mise en oeuvre de ce
procédé.

Un crayon (ou aiguille) de combustible
10 nucléaire est constitué par une colonne de matériau
fissile contenu dans une gaine. Cette gaine est
généralement un tube métallique pourvu de bouchons
soudés à ses extrémités. Le matériau fissile est par
exemple introduit dans la gaine sous forme de
15 pastilles.

L'introduction des pastilles dans leur
gaine présente un risque potentiel de contamination de
la surface externe du crayon, en particulier de
l'extrémité du crayon accostée au "nez" d'engainage.
20 Si, lors de l'opération d'introduction des pastilles
dans la gaine, l'ensemble du crayon (de 4,20 m de
longueur environ) est contenu dans une boîte à gant,
c'est toute la surface externe du crayon qui risque
d'être contaminée.

25 Une décontamination des crayons s'avère
nécessaire pour les raisons suivantes. Les
spécifications techniques exigent que la contamination
résiduelle des crayons soit inférieure à un certain
seuil : $0,4 \text{ Bq/dm}^2$ en contamination labile et 83 Bq/dm^2
30 en contamination fixée. Ces seuils sont justifiés par
la manipulation des crayons dans l'usine, hors
confinement. Il est nécessaire de limiter la dispersion
des matières radioactives en aval de l'opération

d'introduction des pastilles dans les gaines pour une contamination minimale des installations et des matériels en boîte à gants.

Un procédé performant de décontamination des crayons impose un certain nombre de contraintes. Le
5 procédé doit se faire en ligne, pour traiter 10 crayons par heure, le temps imparti à la décontamination étant de l'ordre de dix secondes par exemple. Il doit être totalement automatisable, ne pas générer d'effluents
10 liquides et être d'un faible encombrement en boîte à gants.

La contamination présente sur les crayons est constituée de particules submicroniques provenant du matériau constitutif des pastilles de combustible.
15 Dans le cas où le matériau fissile est constitué de pastilles MOX (Mixed OXide), ces particules sont en UO_2 , en PuO_2 et en leur mélange. La gaine des crayons doit posséder une bonne tenue mécanique et la conserver jusqu'à la fin de la vie du combustible. Cette
20 caractéristique est notamment mise en évidence par la conservation de l'aspect d'origine de la gaine : blanc, brillant et uniforme. Elle doit notamment rester ductile pour que les déformations répétées, dues aux variations de température et de pression dans les
25 réacteurs, n'entraînent pas de fissuration. On peut avantageusement les réaliser en un alliage de zirconium que l'on appelle le Zircaloy®.

Etat de la technique

Les solutions couramment utilisées pour
30 décontaminer des crayons de combustible nucléaire consistent à nettoyer manuellement ces crayons au moyen de frottis à l'aide de tissus (coton, viscose,

feutre,...) appliqués sur tout ou partie de la surface externe du crayon.

On connaît par ailleurs un certain nombre de documents décrivant des procédés et des dispositifs de décontamination d'installations nucléaires au moyen
5 d'un faisceau laser.

Le document FR-A-2 525 380 divulgue un procédé de décontamination par laser, caractérisé par le fait que la surface à décontaminer est balayée par
10 un faisceau laser présentant d'une part une densité d'énergie suffisante pour obtenir une pénétration thermique correspondant à l'épaisseur de la couche d'oxyde de métal contaminé par la radioactivité et d'autre part une largeur sensiblement plus grande que
15 l'épaisseur de la couche d'oxyde. Sont citées des densités d'énergie de 4,6 à 23 joules/cm², une énergie par impulsion de 0,3 joule et une durée d'impulsion de 30 à 40 ns, le laser étant un laser Nd-YAG.

Les documents FR-A-2 666 523,
20 FR-A-2 674 983 et FR-A-2 678 418 déposés par la société FRAMATOME divulguent l'utilisation d'un faisceau laser YAG pulsé et émis en dehors de la zone contaminée, le faisceau laser étant transporté (de préférence par fibre optique) jusqu'à un emplacement
25 voisin de la zone cible, ce faisceau laser étant alors amplifié pour être envoyé sur la surface cible. Selon le troisième document, deux faisceaux laser sont émis et sont transportés séparément par des fibres optiques pour être finalement combinés afin de décontaminer la
30 surface désirée. La durée des impulsions laser est de 10 à 30 ns pour une énergie de 0,3 à 2 joules ou plus par impulsion. La densité d'énergie apportée par les impulsions est de 1 à 4,5 J/cm².

Le document FR-A-2 708 877 divulgue un procédé et un dispositif de décontamination autocontrôlé de surfaces par laser pulsé, le laser émettant dans l'ultraviolet (de 190 à 360 nm). Le faisceau laser est déplacé relativement par rapport à la surface à décontaminer. On règle la densité d'énergie et la fréquence des impulsions en fonction du matériau à décontaminer et de la vitesse de déplacement du faisceau laser. Le gaz ambiant est aspiré autour du panache formé par l'arrachement des particules.

Le document EP-A-678 212 divulgue un procédé de décontamination par laser de surfaces métalliques comportant une contamination incrustée. Selon ce procédé, on dirige un faisceau laser sur la surface, ce faisceau laser ayant une densité de puissance suffisante (supérieure à 6 MW/cm^2) pour provoquer l'éjection directe du liquide du bain de fusion généré par le laser permettant ainsi d'enlever la couche métallique superficielle contenant la contamination incrustée. De préférence, le laser est un laser pulsé dont les impulsions ont une durée minimale de 1 ms et une énergie de 5 J. Les moyens de collecte de la matière éjectée consistent essentiellement en une chambre dans laquelle est injecté un mélange d'eau et d'air permettant un refroidissement du matériau éjecté, facilitant ainsi son extraction par un moyen d'aspiration non décrit. Les applications indiquées dans ce document concernent essentiellement le démantèlement d'installations nucléaires, en particulier pour les zones difficilement décontaminables par les méthodes classiques. Un tel procédé fait intervenir de l'eau pour la collecte du matériau fondu éjecté et implique la fusion du matériau

métallique contaminé sur une épaisseur de l'ordre du millimètre, ce qui endommage ainsi la surface de ce matériau.

5 Le document FR-A-2 714 464 divulgue un
procédé de contrôle de la contamination par laser
mettant en oeuvre, en particulier, un dispositif
d'aspiration des particules éjectées par le faisceau
laser, en vue de l'analyse desdites particules. Ce
dispositif comprend notamment une enceinte présentant
10 une ouverture destinée à recouvrir une zone de la
surface à contrôler, l'enceinte étant pourvue d'une
lame transparente à un faisceau laser destiné à
extraire les particules à prélever, par son impact sur
cette zone. L'enceinte comprend également un orifice
15 d'entrée et un orifice de sortie permettant la
circulation d'un gaz pour le transfert des particules
et l'enceinte peut être munie d'un orifice d'entrée
supplémentaire placé le plus près possible de la lame
transparente de manière que le gaz balaye cette lame.

20 Tous ces documents décrivent des procédés
de décontamination d'éléments d'installations
nucléaires grâce à un faisceau laser. Quant à la
décontamination des crayons de combustible nucléaire,
les techniques utilisées jusqu'à ce jour consistent
25 soit en une décontamination manuelle à l'aide de tissu,
soit à une décontamination mécanique à l'aide d'une
bande de tissu (en viscose, en polyester ou en coton)
sèche ou imbibée d'alcool. Le document FR-A-2 674 363
divulgue un procédé de décontamination mécanique des
30 extrémités de crayons, utilisant une bande de tissu.

Exposé de l'invention

On connaît de nombreux procédés de décontamination par laser d'installations nucléaires à démanteler, notamment par laser Nd-YAG pulsé.
5 Cependant, aucun des documents de l'art antérieur ne cite l'application d'une technique de décontamination par laser à des crayons de combustible nucléaire. Les seules techniques connues de décontamination des crayons de combustibles nucléaires consistent en un
10 nettoyage manuel par frottis ou en un nettoyage mécanique des extrémités des crayons grâce à une bande de tissu.

Il apparaît que l'application d'une technique de décontamination par laser des crayons de combustible nucléaire n'a pas retenu l'attention de
15 l'homme du métier pour la raison que celui-ci considérait qu'un faisceau laser aurait endommagé l'état de surface de la gaine en alliage de zirconium. En effet, l'alliage de zirconium utilisé ou Zircaloy®
20 est un matériau ductile et un endommagement de l'état de surface de la gaine est susceptible de favoriser une corrosion, entraînant un risque de rupture de confinement de cette gaine lors de l'utilisation de crayons ainsi traités dans les assemblages destinés à
25 l'exploitation des centrales nucléaires.

Contrevenant aux usages dans ce domaine, les inventeurs de la présente invention ont effectué différents essais de décontamination de crayons de combustible nucléaire à l'aide de faisceaux lasers. Ces
30 essais ont démontré que, contrairement au préjugé existant dans ce domaine technique, l'utilisation d'un faisceau laser pulsé provenant d'un laser Nd-YAG

émettant dans l'infrarouge donne de très bons résultats.

L'invention a donc pour objet un procédé de décontamination d'une surface de la gaine de crayons
5 de combustible nucléaire, caractérisé en ce qu'il consiste à soumettre ladite surface de la gaine à l'impact d'un faisceau laser pulsé provenant d'un laser Nd-YAG émettant dans l'infrarouge.

Si le faisceau laser est fixe, la gaine
10 peut être mise en mouvement pour présenter la totalité de la surface à décontaminer à l'impact du faisceau laser.

Dans ce cas, si la gaine est un cylindre de révolution, le mouvement de la gaine par rapport au
15 faisceau laser peut être un mouvement de translation selon l'axe principal de la gaine associé à un mouvement de rotation de la gaine autour de son axe principal.

L'invention a aussi pour objet une
20 installation de décontamination de la gaine de crayons de combustible nucléaire, caractérisée en ce qu'elle comporte :

- des moyens pour soumettre la surface à décontaminer de ladite gaine à l'impact d'un faisceau
25 laser pulsé provenant d'un laser Nd-YAG émettant dans l'infrarouge et de caractéristiques propres à réduire le taux de contamination de ladite gaine,

- des moyens d'élimination de ladite surface des produits résultant de l'impact du faisceau
30 laser sur ladite surface.

Avantageusement, l'installation comporte en outre des moyens de préservation de l'état de la surface à décontaminer de ladite gaine. Ces moyens de

préservation peuvent comprendre des moyens pour balayer la surface à décontaminer par un gaz rare.

De préférence, le faisceau laser restant fixe, l'installation comprend un mécanisme de mise en mouvement de la gaine afin de présenter la totalité de la surface à décontaminer à l'impact du faisceau laser.

Un tel mécanisme peut comprendre des moyens de mise en rotation de la gaine sur elle-même et des moyens de translation de la gaine par rapport au faisceau laser.

Avantageusement, le système d'aspiration comprend un organe de récupération des produits résultant de l'impact du faisceau laser, cet organe étant pourvu :

- d'une partie transparente audit faisceau laser et disposée de façon à transmettre, par l'intérieur de l'organe, le faisceau laser jusqu'à la gaine,

- d'une ouverture de réception d'un crayon de combustible nucléaire à décontaminer permettant de soumettre la surface à décontaminer de sa gaine à l'impact du faisceau laser et permettant l'aspiration desdits produits,

- de moyens d'introduction d'un gaz porteur en direction de la gaine,

- de moyens d'aspiration du gaz porteur véhiculant lesdits produits.

De préférence, ladite ouverture de réception est un tunnel traversant ledit organe et dans lequel ledit crayon de combustible nucléaire peut passer.

L'installation peut être réalisée dans un système de boîtes à gants permettant le passage d'un

crayon pour son remplissage par du combustible nucléaire, seule l'extrémité du crayon par où le combustible nucléaire est introduit étant susceptible d'être contaminée lors du remplissage, la
5 décontamination intervenant lors du retrait du crayon.

Brève description des figures

L'invention sera mieux comprise et
10 d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagné des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 est une vue d'ensemble d'une
15 installation industrielle de décontamination de crayons de combustible nucléaire illustrative de la présente invention,

- les figures 2, 3 et 4 représentent
20 différentes vues d'un organe de récupération des produits résultant de l'opération de décontamination, utilisé dans l'installation de décontamination représentée à la figure 1,

- la figure 5 représente une installation
25 expérimentale de décontamination de crayons de combustible nucléaire selon la présente invention.

Description détaillée de modes de réalisation de l'invention

La contamination des crayons de
30 combustible nucléaire consiste en une contamination dite labile ou transférable (résultant d'un dépôt en surface de particules non incrustées) et en une

contamination fixée (résultant de particules incrustées dans la gaine). Selon invention, la surface externe contaminée des crayons de combustible nucléaire est soumise à l'impact d'un faisceau laser Nd-YAG pulsé agissant sur la contamination labile et sur la contamination fixée.

L'installation industrielle de décontamination représentée à la figure 1 est intégrée dans une disposition particulière de boîtes à gants qui évite une contamination de toute la gaine et tout risque de fuite de particules contaminantes lors de l'opération de décontamination. Pour cela, quatre boîtes à gants 1, 2, 3, et 4 sont disposées les unes à la suite des autres et alignées selon l'axe d'un crayon de combustible. La boîte à gants 1 possède une traversée étanche 5 permettant le passage d'un crayon de combustible 17. Les boîtes à gants 2 et 3, ainsi que les boîtes à gants 3 et 4 sont reliées par des traversées étanches, respectivement 6 et 7. La boîte à gants 4 se termine par un nez d'engainage 8.

Pour effectuer le chargement en combustible du crayon 17, celui-ci est introduit dans la boîte à gants 1 par la traversée étanche 5, passe dans la boîte à gants 2 en traversant l'organe 9, puis dans la boîte à gants 3 par la traversée étanche 6, enfin dans la boîte à gants 4 par la traversée étanche 7 pour venir s'accoster sur le nez d'engainage 8. Le chargement en combustible peut alors s'effectuer. De cette façon, seule l'extrémité de la gaine du crayon 17 proche du nez d'engainage 8 est susceptible d'être contaminée, ce qui peut représenter une longueur de 500 mm.

Lors du retrait du crayon 17 de la suite de boîte à gants, on procède à la décontamination de l'extrémité contaminée ou susceptible d'avoir été contaminée. Cette opération s'effectue dans l'organe 9
5 au moyen d'un faisceau laser. Pour cela, un mécanisme d'entraînement 10 exerce sur le crayon 17 une action provoquant un mouvement de rotation du crayon sur lui-même et un mouvement de translation du crayon par rapport à l'installation.

10 Le faisceau laser 11 est fourni par une source laser extérieure 12. Un miroir 13 permet de renvoyer le faisceau laser 11 émis par la source 12 dans la boîte à gants 2, en direction de l'organe de décontamination 9. Un hublot 14, en verre transparent
15 au faisceau laser et inséré dans la paroi de la boîte à gants 2, permet d'amener le faisceau laser 11 jusqu'à l'organe de décontamination 9. Le trajet optique du faisceau laser, depuis la source 12 jusque la paroi de la boîte à gants 2 et de cette paroi jusqu'à l'organe
20 9, est confiné respectivement dans les tubes 15 et 16. Ces tubes assurent la protection physique des opérateurs. Par ailleurs, tout ou partie de ces tubes peut être mis sous vide afin d'éviter des problèmes d'ionisation. Le faisceau laser 11 pénètre ensuite dans
25 l'organe de décontamination 9 pour atteindre la gaine du crayon de combustible à décontaminer 17. La totalité des dispositifs optiques (miroirs, hublots,...) situés sur le trajet du faisceau laser est traitée à la longueur d'onde de ce faisceau pour éviter la
30 dispersion de la puissance du laser d'une part et éviter la dégradation du matériau constitutif de ces dispositifs optiques d'autre part.

L'organe de décontamination 9 est détaillé beaucoup plus précisément par les figures 2 à 4. La figure 2 est une vue selon la coupe II-II de la figure 3. C'est la vue qui est visible sur la figure 1. La figure 3 est une vue selon la coupe III-III de la figure 2. La figure 4 est une vue de dessus.

L'organe 9, disposé dans la boîte à gants 2 ventilée en air, a pour fonction de collecter les particules résultant de l'opération de décontamination et de rendre inerte, sous atmosphère d'argon par exemple, la surface du crayon 17 soumise à l'impact du faisceau laser 11.

L'organe 9 est constitué par un boîtier comprenant un corps 18 sur lequel est fixé un couvercle étanche 19. La fixation du couvercle 19 sur le corps 18 définit un conduit vertical 20 entre ces deux pièces, ce conduit permettant le passage du faisceau laser 11. Le conduit 20 a une section de forme rectangulaire dont le grand côté est orienté selon l'axe du crayon 17. Les dimensions du conduit 20 sont supérieures de 6 à 7 mm à la section du faisceau laser 11.

L'organe 9 possède, à sa partie supérieure, une lame 36 transparente au faisceau laser 11 et montée étanche sur le corps 18 grâce à un joint d'étanchéité. La lame 36 laisse donc entrer le faisceau laser 11 dans l'organe 9 tout en assurant une continuité d'étanchéité du conduit 20.

L'organe 9 est alimenté en argon par un conduit 21 aboutissant sur la partie supérieure du corps 18. Comme on le voit sur la figure 3, le conduit 21 débouche sur une fente rectangulaire 24 qui communique avec le conduit 20 par l'espace séparant la lame transparente 36 du corps 18. L'argon introduit par

le conduit 21, avant d'être collecté dans une fente oblique 23 réalisée dans le corps 18 et aboutissant dans le conduit 20, acquiert la fente 24 une vitesse élevée (supérieure à 50 m/s) entre l'espace séparant la
5 lame transparente 36 du corps 18. On crée ainsi un rideau de gaz protégeant la face interne de la lame transparente 36 des particules émises par l'impact du faisceau laser 11 sur le crayon 17. Le sens de circulation de l'argon provenant du conduit 21
10 s'oppose, dans le conduit vertical 20 à la remontée des particules émises pendant la phase de décontamination.

L'organe 9 est également alimenté en argon par un conduit 22 situé en partie inférieure du corps 18 et aboutissant dans le conduit vertical 20. L'argon
15 provenant du conduit 22 remonte dans le conduit vertical 20 en circulant dans la chambre 29, qui est une partie du tunnel prévu transversalement dans l'organe 9 afin de laisser passer le crayon 17, pour être évacué par la fente oblique 23. Ce flux d'argon
20 permet de rendre inerte la zone du crayon soumise à l'impact du faisceau laser 11. Il assure aussi la collecte et l'entraînement des particules émises pendant la phase de décontamination.

La fente oblique 23 est reliée à une
25 conduite d'extraction 37. Pour assurer l'entraînement des particules émises lors de la phase de décontamination, la vitesse de circulation des gaz dans la fente 23, de section rectangulaire et de même largeur que le conduit vertical 20, doit être
30 supérieure à 30 m/s.

Le tunnel prévu transversalement dans l'organe 9, afin de laisser passer le crayon 17, est constitué de plusieurs sections comme le montre la

figure 2. Il comprend un trou 25 compatible avec l'introduction du crayon 17 dans l'organe 9, tout en limitant au strict nécessaire les fuites d'argon à l'extérieur de l'organe 9. Il comprend aussi une
5 première chambre annulaire 26 en communication par l'intermédiaire de trous avec la partie inférieure du conduit vertical 20 alimenté en argon par le conduit 22. Cette chambre annulaire 26 isole le conduit 20, par un premier confinement, d'un contact direct avec
10 l'atmosphère de la boîte à gants 2. Ceci permet d'obtenir une grande qualité de l'opération consistant à rendre inerte les surfaces décontaminées.

Le tunnel comprend aussi la chambre 29, déjà mentionnée, croisant le conduit vertical 20 selon
15 la longueur de sa section et créant un espace libre autour du crayon en cours de décontamination, permettant d'assurer une vitesse ascensionnelle de gaz supérieure à 20 m/s. Le tunnel comprend aussi une seconde chambre annulaire 27, identique à la première
20 chambre annulaire 26.

Le tunnel comprend également une bague 28 montée dans le corps 18 et dont le diamètre de l'alésage est variable. Côté chambre 27, le diamètre de l'alésage est, sur une distance de quelques
25 millimètres, légèrement inférieur au diamètre du trou 25 afin d'assurer un bon positionnement du crayon à décontaminer dans l'organe 9. Sur la longueur restante, le diamètre de l'alésage est prévu pour être compatible avec le passage des crayons dans l'organe 9 tout en
30 limitant au strict nécessaire les fuites d'argon à l'extérieur de l'organe 9.

Une autre bague, la bague 30, est centrée sur la bague 28. La bague 30 est équipée d'un détecteur

laser constitué d'un émetteur 31 et d'un récepteur 32 (voir la figure 4). Le rôle de ce détecteur laser est, lorsque le crayon 17 en phase de décontamination n'est plus détecté, de provoquer, à l'aide d'un électro-aimant 34, la manoeuvre d'un diaphragme 33 afin de boucher partiellement la bague 30 (voir la figure 2). Le diaphragme 33 comporte un trou dont la section est équivalente à la surface annulaire laissée libre entre un crayon et l'intérieur de la bague 28. Lorsqu'il est actionné en fin de phase de décontamination, il permet de compenser la diminution des pertes de charge engendrées par la sortie du crayon de la bague 28. On assure ainsi une conservation à un niveau constant du débit de fuite d'argon, ce qui permet de ne pas modifier les vitesses de circulation des gaz à l'intérieur de l'organe 9.

L'organe 9 possède, à sa partie inférieure, une lame transparente 38 montée étanche sur le corps 18. Une plaque mobile 39 interdit, en dehors des phases de réglage ou de contrôle, au faisceau 11 de sortir de l'organe 9 en traversant la lame transparente 38. L'ouverture de la plaque mobile 39 permet, en laissant sortir le faisceau laser 11, de régler ou de vérifier, par visée sur une cible située à l'extérieur de l'organe 9, la position du faisceau laser. Cette opération peut être réalisée en prenant toutes les précautions inhérentes à l'exploitation d'un laser de classe IV.

Des essais ont été menés avec l'installation expérimentale représentée à la figure 5. L'installation, représentée sommairement, comporte une source laser 41 accostée à une boîte à gants 42. Le faisceau laser 43 pénètre dans la boîte à gants 42

après avoir traversé un hublot 44 en verre transparent
disposé dans la paroi de la boîte à gants. Il est
ensuite dirigé, au moyen du miroir de renvoi 45 porté
par la potence 46, vers la zone où se trouve le crayon
5 de combustible nucléaire 47 à décontaminer. Avant
d'atteindre la gaine du crayon 47, le faisceau laser
traverse l'organe 48 destiné à récupérer les produits
résultant de l'impact du faisceau laser au moyen d'un
flux d'argon, comme pour l'installation industrielle
10 décrite précédemment.

Le crayon de combustible 47 est disposé
sur un mécanisme de mise en mouvement 49 qui procure à
la gaine du crayon 47 un mouvement de translation par
rapport au faisceau laser 43 combiné avec un mouvement
15 de rotation de la gaine sur elle-même. Ce double
mouvement fait que toute la surface cylindrique de la
gaine est soumise à l'impact du faisceau laser.
L'installation comprend encore un groupe d'alimentation
50 pour le laser et un hublot d'observation 51 disposé
20 sur une paroi de la boîte à gants 42.

On a utilisé un laser YAG pulsé
travaillant dans l'infrarouge (pour une longueur d'onde
de 1064 nm). La cadence de tir était fonction de la
vitesse d'avancement des crayons sous le faisceau
25 laser. La vitesse de déplacement du crayon 47 sous le
faisceau laser peut être de 50 mm/s pour la translation
et de 60 tours/minute pour la rotation. Le faisceau
laser peut avoir les caractéristiques suivantes : durée
d'impulsion 7 ns environ, énergie par impulsion 1850 mJ
30 à 1064 nm, puissance d'utilisation de 80 à 150 MW/cm²
de préférence délivrée telle quelle sur la surface de
la gaine du crayon. La tache du faisceau laser peut
être circulaire (d'un diamètre de 7, 9 ou 11 mm),

elliptique (de dimensions 19 x 10 mm) ou encore
rectangulaire (par exemple 24 x 5 mm). La tache
rectangulaire peut être obtenue par mise en forme du
faisceau laser au moyen de lentilles cylindriques
5 d'anamorphose et d'une lentille convergente. Cette
tache rectangulaire est préférée pour la
décontamination des crayons car elle permet un
recouvrement optimum lors du traitement.

Pour une meilleure efficacité du procédé
10 de décontamination, il est préférable que les
particules extraites soient aspirées et qu'un soufflage
soit effectué au niveau de la zone du crayon sur
laquelle le faisceau laser est appliqué. C'est le rôle
de l'organe 48 qui est placé le plus près possible de
15 la zone de la gaine en cours de traitement. L'organe 48
est raccordé à un tuyau d'amenée d'air ou de gaz neutre
(par exemple de l'argon) non représenté et à un circuit
d'aspiration également non représenté.

La vitesse d'aspiration est de préférence
20 comprise entre 20 m/s et 60 m/s. Si la vitesse
d'aspiration est trop faible, il y a rétention des
particules dans le conduit du circuit d'aspiration. Si
elle est trop importante, il se produit trop de
turbulences, ce qui gêne l'application industrielle.

25 Des essais ont été effectués sur
l'installation expérimentale dans les condtions
suivantes. Le laser utilisé est du type Nd-YAG
fournissant un faisceau pulsé de 1850 mJ. La tache
fournie par le faisceau est elliptique (19 x 10 mm) ou
30 rectangulaire (24 x 5 mm). Sa fréquence est de 10 Hz.
Les échantillons de crayons traités consistaient en
25 cm de gaine en Zircaloy[®] contaminée par des
poussières de rectification (755 Bq/µg).

Les essais ont été effectués trois mois après la contamination qui s'est donc incrustée et ce qui représente des conditions défavorables pour les essais et non représentatives de la réalité. La vitesse de translation de la gaine était de 106 mm/minute et la vitesse de rotation de la gaine 12 tours/minute. Le débit d'aspiration était de 40 à 50 m³/h. Les puissance testées étaient de 50, 100 et 130 MW/cm². On a réalisé parallèlement deux tests de décontamination manuelle et deux essais d'évaluation de la contamination labile initiale.

Le plan d'expérimentation et les résultats de ces essais sont respectivement présentés dans les tableaux I et II ci-après.

Tableau I

| Essai | Puissance (MW/cm ²) | Commentaires |
|---------|---------------------------------|--|
| MOX 2-1 | 50 | 1 ^{er} essai : "réglage" du mode opératoire |
| MOX 2-2 | 130 | déroulement selon le mode opératoire prévu |
| MOX 2-3 | 130 | déroulement selon le mode opératoire prévu |
| MOX 2-4 | 50 | déroulement selon le mode opératoire prévu |
| MOX 2-5 | décontamination manuelle | décontamination par frottis humide-réalisation contestable |
| MOX 2-6 | évaluation contamination labile | 3 frottis secs |
| MOX 3-1 | 100 | déroulement selon le mode opératoire prévu |
| MOX 3-2 | 100 | déroulement selon le mode opératoire prévu |
| MOX 3-3 | 130 | déroulement selon le mode opératoire prévu |
| MOX 3-4 | évaluation contamination labile | 3 frottis secs |
| MOX 3-5 | décontamination manuelle | décontamination par frottis humide-réalisation soignée |

Tableau II

| Essai | Puissance (MW/cm ²) | Contamination initiale (Bq/dm ²) | Contamination résiduelle (Bq/dm ²) | Fd _{global} (initiale/ résiduelle) | Comptages FAG (Bq/dm ²) | | | FD _{labile} |
|---------|------------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|-----------|-----------|----------------------|
| | | | | | frottis 1 | frottis 2 | frottis 3 | |
| MOX 2-6 | évaluation contamination labile | 16 820 | 14 626 | 1,15 | 1 500 | 1 333 | 711 | 1,6 |
| MOX 3-4 | évaluation contamination labile | 9 783 | 9 199 | 1,06 | 233,3 | 111,1 | 111,1 | 2,3 |
| MOX 2-5 | décontamination manuelle | 4 681 | 3 600 | 1,30 | 91,3 | 39,9 | 17,2 | 8,3 |
| MOX 3-5 | décontamination manuelle | 11 491 | 7 502 | 1,53 | 74,4 | 53,3 | 8,5 | 30,3 |
| MOX 2-1 | 50 | 11 977 | 2 919 | 4,10 | 71,1 | 35,6 | 6,7 | 80,9 |
| MOX 2-4 | 50 | 8 108 | 940 | 8,62 | 8,0 | 4,2 | 3,1 | 415 |
| MOX 3-1 | 100 | 8 226 | 1 546 | 5,32 | 1,3 | <dét. | <dét. | 5 138 |
| MOX 3-2 | 100 | 6 270 | 1 049 | 5,98 | 1,7 | 0,5 | 0,9 | 1 684 |
| MOX 2-2 | 130 | 13 545 | 3 027 | 4,48 | 0,5 | <dét. | <dét. | 21 036 |
| MOX 2-3 | 130 | 7 935 | 1 697 | 4,68 | 1,4 | <dét. | <dét. | 4 455 |
| MOX 3-3 | 130 | 11 718 | 3 027 | 3,87 | 1,7 | 1,0 | 0,6 | 2 634 |

Concernant le tableau II : la contamination initiale comprend la contamination labile et la contamination incrustée, la contamination résiduelle est la contamination après traitement, FD

5 représente le facteur de décontamination, les comptages FAG sont réalisés au moyen d'un compteur proportionnel pour comptage fin, les frottis 1, 2 et 3 étant effectués successivement sur la même zone. Les contaminations initiales et résiduelles sont calculées

10 en divisant le nombre de becquerels totaux lus à la sonde α par $0,1 \text{ dm}^2$ (surface "vue" par la sonde). Les résultats bruts des comptages FAG (en Bq) sont ramenés en Bq/dm^2 en les divisant par la surface frottée ($0,45 \text{ dm}$). La limite de détection du comptage FAG est

15 de $0,17 \text{ Bq}$, soit $0,38 \text{ Bq/dm}^2$. $\text{FD}_{\text{labile}}$ est calculé à partir des mesures effectuées selon l'équation :

$$\text{FD}_{\text{labile}} = \frac{\text{Conta}_{\text{ini/tot}} - \text{Conta}_{\text{rés/tot}} + \text{Conta}_{\text{rés/lab}}}{\text{Conta}_{\text{rés/lab}}}$$

20 De ces tableaux, il ressort que :

- d'excellents résultats sont obtenus sur la contamination labile avec un facteur de décontamination labile FD de 80 à 21 000,
- des résultats plus modérés sont obtenus

25 sur la contamination fixée (FD de 4 à 8) mais la contamination initiale était très élevée et non fraîche,

- la contamination laser est plus performante que la décontamination manuelle, quelle que

30 soit la puissance utilisée,

- sur la contamination labile, de meilleurs résultats sont obtenus à 100 et 130 MW/cm².

Par ailleurs, sous gaz neutre (argon), l'aspect "blanc, brillant uniforme" des gaines est obtenu à une puissance de 130 MW/cm².

5 D'autres essais ont été menés en inactif, c'est-à-dire sur des gaines non contaminées que l'on a soumises à un traitement laser afin de procéder à :

- la vérification des critères d'aspect visuel "blanc, brillant, uniforme" des gaines traitées, (ce critère doit généralement être impérativement
10 respecté),

- la vérification de la tenue à la corrosion des gaines traitées par laser (essais autoclave),

- l'analyse poussée de l'interaction
15 laser/gaine par des coupes métallographiques et des profils de concentration.

REVENDICATIONS

1. Procédé de décontamination d'une surface de la gaine de crayons de combustible nucléaire (17), caractérisé en ce qu'il consiste à soumettre
5 ladite surface de la gaine à l'impact d'un faisceau laser pulsé (11) provenant d'un laser Nd-YAG (12) émettant dans l'infrarouge.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, le faisceau laser (11) étant
10 fixe, la gaine est mise en mouvement pour présenter la totalité de la surface à décontaminer à l'impact du faisceau laser.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que, la gaine étant un cylindre de
15 révolution, le mouvement de la gaine par rapport au faisceau laser (11) est un mouvement de translation selon l'axe principal de la gaine associé à un mouvement de rotation de la gaine autour de son axe principal.

20 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le faisceau laser (11) possède une section rectangulaire.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que
25 l'élimination des produits résultant de l'impact du faisceau laser est réalisée par aspiration.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que la surface de la gaine soumise à
30 l'impact du faisceau laser (11) est balayée par un flux gazeux dans une direction facilitant l'aspiration des produits résultant de l'impact du faisceau laser.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le flux gazeux est un flux de gaz rare.

5 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il se déroule à l'intérieur d'une enceinte close.

9. Installation de décontamination de la gaine de crayons (17) de combustible nucléaire, caractérisée en ce qu'elle comporte :

10 - des moyens pour soumettre la surface à décontaminer de ladite gaine à l'impact d'un faisceau laser pulsé (11) provenant d'un laser Nd-YAG (12) émettant dans l'infrarouge et de caractéristiques propres à réduire le taux de contamination de ladite
15 gaine,

- des moyens d'élimination de ladite surface des produits résultant de l'impact du faisceau laser sur ladite surface.

20 10. Installation selon la revendication 9, caractérisée en ce qu'elle comporte en outre des moyens de préservation de l'état de la surface à décontaminer de ladite gaine.

25 11. Installation selon la revendication 10, caractérisée en ce que lesdits moyens de préservation comprennent des moyens pour balayer ladite surface à décontaminer par un gaz rare.

30 12. Installation selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, caractérisée en ce que, le faisceau laser (11) restant fixe, l'installation comprend un mécanisme (10) de mise en mouvement de la gaine afin de présenter la totalité de la surface à décontaminer à l'impact du faisceau laser (11).

13. Installation selon la revendication 12, caractérisée en ce que ledit mécanisme (10) comprend des moyens de mise en rotation de la gaine sur elle-même et des moyens de translation de la gaine par rapport au faisceau laser (11).

14. Installation selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens permettant de donner audit faisceau laser (11) une section rectangulaire.

15. Installation selon l'une quelconque des revendications 9 à 14, caractérisée en ce que les moyens d'élimination des produits résultant de l'impact du faisceau laser comprennent un système d'aspiration.

16. Installation selon la revendication 15, caractérisée en ce que le système d'aspiration comprend un organe (9) de récupération des produits résultant de l'impact du faisceau laser, cet organe étant pourvu :

- d'une partie (36) transparente audit faisceau laser et disposée de façon à transmettre, par l'intérieur de l'organe (9), le faisceau laser (11) jusqu'à la gaine,

- d'une ouverture de réception d'un crayon de combustible nucléaire à décontaminer permettant de soumettre la surface à décontaminer de sa gaine à l'impact du faisceau laser et permettant l'aspiration desdits produits,

- de moyens d'introduction d'un gaz porteur en direction de la gaine,

- de moyens d'aspiration du gaz porteur véhiculant lesdits produits.

17. Installation selon la revendication 16, caractérisée en ce que lesdits moyens

d'introduction d'un gaz porteur comprennent des moyens d'introduction (21,24) situés entre ladite partie transparente (36) et ladite ouverture, à proximité de la partie transparente.

5 18. Installation selon l'une des revendications 16 ou 17, caractérisée en ce que ladite ouverture de réception est un tunnel traversant ledit organe (9) et dans lequel ledit crayon de combustible nucléaire (17) peut passer.

10 19. Installation selon la revendication 18, caractérisée en ce que lesdits moyens d'introduction d'un gaz porteur comprennent des moyens d'introduction (22) situés de manière à diriger du gaz porteur vers la surface à décontaminer du crayon de
15 combustible nucléaire (17).

 20. Installation selon l'une des revendications 18 ou 19, caractérisée en ce qu'il est prévu des moyens de fermeture partielle (33) du tunnel dudit organe (9) afin de compenser la variation de
20 pertes de charge due à un retrait du crayon de combustible nucléaire (17) dudit tunnel.

 21. Installation selon l'une quelconque des revendications 9 à 20, caractérisée en ce qu'elle est réalisée dans un système de boîtes à gants
25 (1,2,3,4) permettant le passage d'un crayon (17) pour son remplissage par du combustible nucléaire, seule l'extrémité du crayon par où le combustible nucléaire est introduit étant susceptible d'être contaminée lors du remplissage, la décontamination intervenant lors du
30 retrait du crayon (17).

3/4

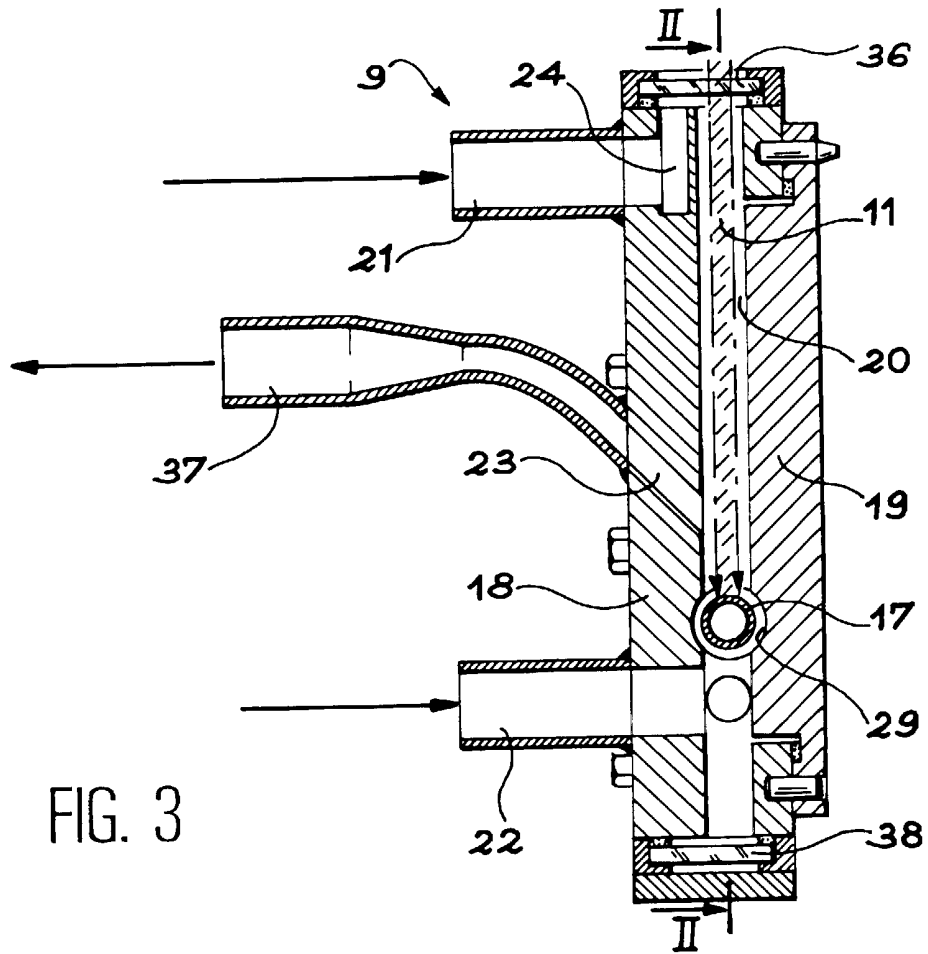


FIG. 3

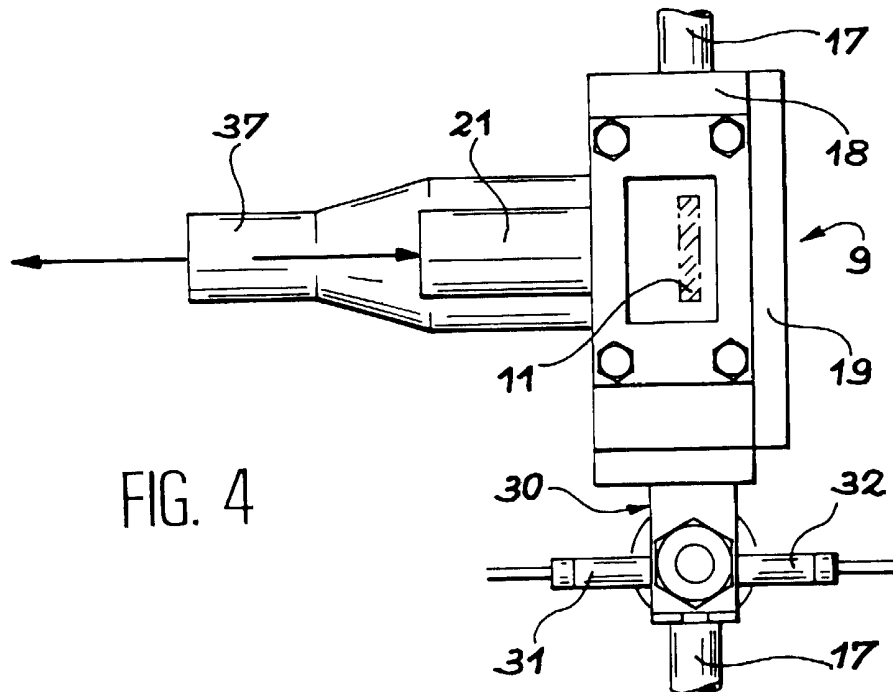
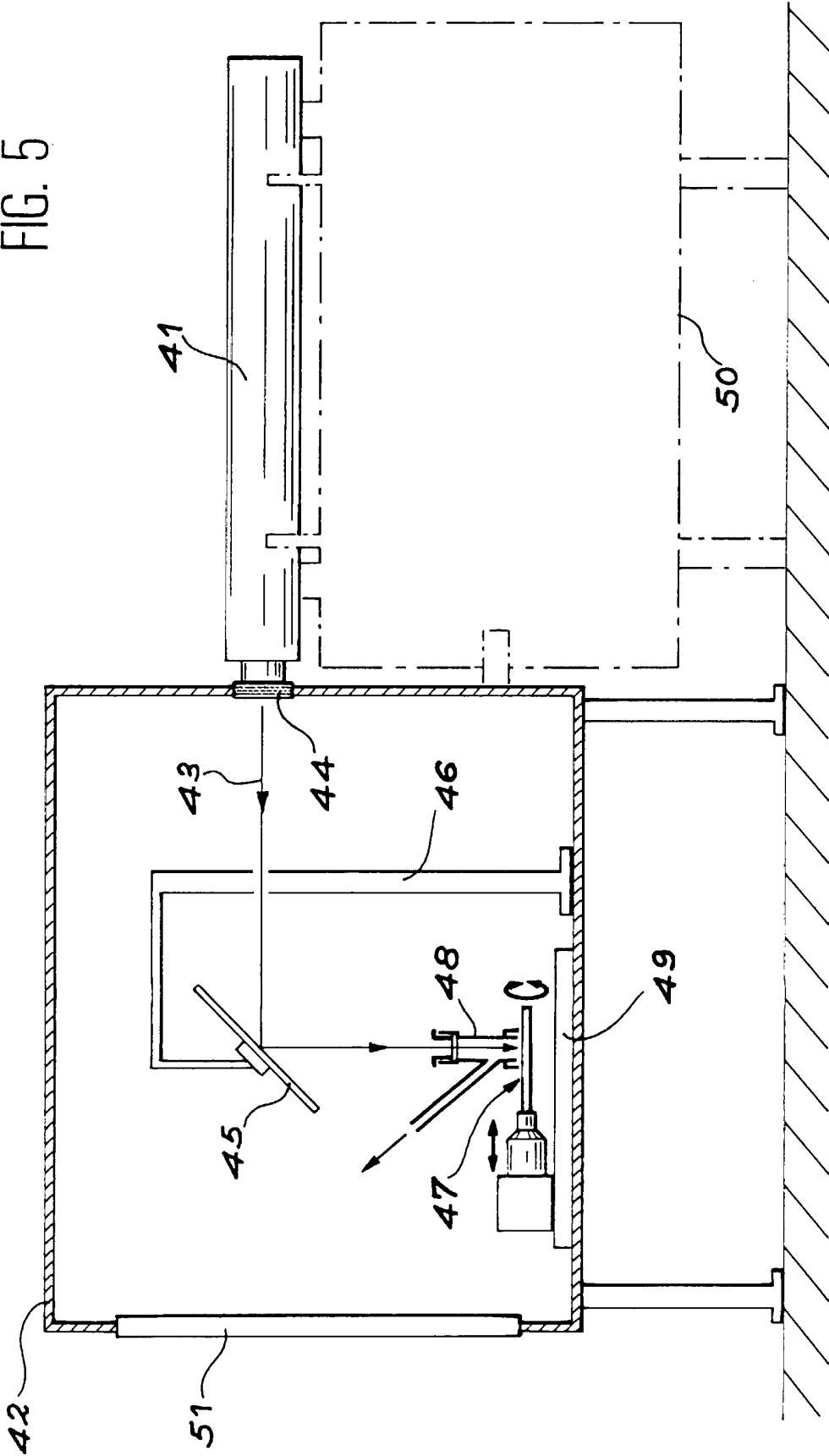


FIG. 4

FIG. 5



INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 556544
FR 9801479

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS | | Revendications concernées de la demande examinée |
|---|--|---|
| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | |
| X | EDELSON, M.C. ET AL: "A laser-based solution to industrial decontamination problems." , '1995!. 10 P. MF AVAILABLE FROM INIS UNDER THE REPORT NUMBER;ALSO AVAILABLE FROM OSTI AS DE96006800; NTIS; US GOVT. PRINTING OFFICE DEP. CONFERENCE: 14. INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLICATIONS OF LASERS AND ELECTRO-OPTICS, SAN DIEGO, CA (UNITED STATES , UNITED STATES XP002081483 | 1,5,8,9, 12,15 |
| Y | * le document en entier * --- | 3,12-14 |
| X | DEMMER, R.L. ET AL: "Testing and evaluation of light ablation decontamination." , OCT 1994. 42 P. MF AVAILABLE FROM INIS UNDER THE REPORT NUMBER;ALSO AVAILABLE FROM OSTI AS DE96002940; NTIS; GPO; US GOVT. PRINTING OFFICE DEP. , UNITED STATES XP002081484 | 1,4-6,8, 9,15 |
| Y | * le document en entier * --- | 7,10,11 |
| | | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6) |
| X | PANG, HO-MING ET AL: "Preliminary design and estimate of capital and operating costs for a production scale application of laser decontamination technology." , 6 AUG 1994. 33 P. MF AVAILABLE FROM INIS UNDER THE REPORT NUMBER;ALSO AVAILABLE FROM OSTI AS DE95014959; NTIS; US GOVT. PRINTING OFFICE DEP. , UNITED STATES XP002081485 | 1,4-6,8, 9,15 |
| Y | FR 2 675 291 A (COGEMA) 16 octobre 1992 * page 3, ligne 30 - page 4, ligne 31 * --- | 3,12-14 |
| | | G21F |
| | | -/-- |
| Date d'achèvement de la recherche | | Examineur |
| 20 octobre 1998 | | Brothier, J-A |
| CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES | | |
| X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire 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 | | |

1

EPO FORM 1503 03.82 (P4/C13)

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 556544
FR 9801479

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS | | Revendications concernées de la demande examinée |
|---|--|---|
| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | |
| Y | FR 2 744 936 A (DORYOKURO KAKUNENRYO) 22 août 1997 * page 8, ligne 10 - ligne 30; figures * --- | 7, 10, 11 |
| A | EP 0 653 762 A (BRITISH NUCLEAR FUELS PLC) 17 mai 1995 * le document en entier * --- | 6 |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 357 (P-1395), 31 juillet 1992 & JP 04 109200 A (CHUBU ELECTRIC POWER CO INC; OTHERS: 01), 10 avril 1992 * abrégé * ----- | 6 |
| | | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6) |
| | | |
| Date d'achèvement de la recherche | | Examineur |
| 20 octobre 1998 | | Brothier, J-A |
| <p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général 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 03.82 (P04C13)