

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 552 921

②1 N° d'enregistrement national :

83 15592

⑤1 Int Cl⁴ : G 21 C 3/32, 1/08.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 30 septembre 1983.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 14 du 5 avril 1985.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *FRAMATOME & CIE, société en nom
collectif.* — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Jean Paul Millot.

⑦3 Titulaire(s) :

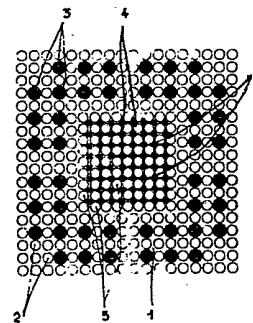
⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Plasseraud.

⑤4 Assemblage combustible pour un réacteur nucléaire à eau sous pression.

⑤7 L'invention concerne un assemblage combustible pour un
réacteur nucléaire à eau sous pression.

L'assemblage comporte une zone périphérique 1 constituée
par un premier ensemble de crayons 2 contenant principale-
ment de l'oxyde d'uranium enrichi et une zone centrale 4
constituée par un second ensemble de crayons 5 contenant
principalement du plutonium ou de l'uranium appauvri en ura-
nium fissile. Les crayons de la première zone 1 sont espacés
suffisamment pour que les neutrons soient ralentis jusque dans
la domaine thermique. Les crayons de la seconde zone 4 sont
espacés d'une distance notablement inférieure pour que les
neutrons produits dans cette zone 4 se situent dans le do-
maine des hautes énergies.

L'invention s'applique, en particulier, aux réacteurs nucléaires
à variation de spectre.



FR 2 552 921 - A1

Assemblage combustible pour un réacteur nucléaire à eau sous pression

L'invention concerne un assemblage combustible pour un réacteur nucléaire à eau sous pression.

Les assemblages destinés aux réacteurs nucléaires à eau sous pression sont généralement constitués chacun par un faisceau de crayons combustibles parallèles disposés suivant la direction longitudinale de l'assemblage et maintenus espacés par des entretoises, dans les directions transversales de l'assemblage. Les espaces ménagés entre les crayons permettent la circulation de l'eau de refroidissement baignant le coeur du réacteur et la constitution d'une lame d'eau de modération autour de chacun des crayons.

Les réacteurs nucléaires à eau sous pression consomment des quantités importantes d'uranium naturel et présentent en outre un rendement relativement faible puisqu'une faible partie seulement de cet uranium contenu dans les assemblages est réellement utilisée pour la production d'énergie.

Le retraitement des matériaux des assemblages irradiés permet cependant de récupérer du plutonium qui peut être utilisé pour constituer une partie de la charge des réacteurs convertisseurs. Ces réacteurs convertisseurs n'ont cependant pas connu jusqu'ici un grand développement industriel et commercial.

On a donc proposé d'utiliser le plutonium récupéré pour constituer une partie du combustible introduit dans les crayons constituant les assemblages du coeur du réacteur. Ce procédé ne permet pas d'introduire de grandes quantités de plutonium dans la charge du réacteur et d'autre part ce plutonium, étant donnée l'énergie des neutrons dans le coeur d'un réacteur nucléaire à eau sous pression, n'est pas utilisé de façon satisfaisante. En particulier, ce plutonium se dégrade par formation d'isotopes non fissiles à partir des isotopes fissiles qu'il contient.

On peut pallier cet inconvénient en concevant un coeur de réacteur nucléaire de structure hétérogène dans lequel on juxtapose des assemblages combustibles de types différents, certains des assemblages renfermant des crayons en oxyde d'uranium séparés par une distance normale et les autres assemblages, des crayons remplis de plutonium séparés par une distance très inférieure à la distance séparant les crayons d'uranium enrichi. On produit ainsi un durcissement du spectre neutronique dans les assemblages contenant les crayons de plutonium qui sont entourés par une lame d'eau de modération de faible épaisseur. Ce type de coeur pour un réacteur nucléaire

est décrit dans une demande de brevet déposée le même jour que la présente demande par la Société FRAMATOME & Cie.

Ceci conduit cependant à utiliser des assemblages de types différents dans le réacteur.

5 De façon plus générale et sans référence à l'utilisation du plutonium de récupération, on a proposé, pour améliorer le rendement des réacteurs nucléaires à eau pressurisée, de déplacer le spectre des neutrons de ces réacteurs vers les hautes énergies et d'associer aux assemblages combustibles une certaine proportion de matériau fertile tel que de l'uranium ap-
10 pauvre. Pour ces réacteurs, il faut concevoir des assemblages combustibles sous-modérés où les crayons combustibles sont faiblement espacés. Il faut également utiliser au moins deux types d'assemblages, des assemblages fissiles et des assemblages fertiles. Enfin, si l'on veut passer d'un fonctionnement du réacteur du type sous-modéré avec production de matière fissile à
15 un fonctionnement normal, il est nécessaire de changer complètement la charge du réacteur.

On a également proposé des réacteurs à variation de spectre qui sont décrits par exemple dans les brevets de la Société FRAMATOME n° 82-18011 et 82-18012 où une partie des tubes-guides des assemblages combustibles peut recevoir, pendant la première du cycle de fonctionnement du
20 réacteur, des barres en uranium appauvri qui diminuent la quantité d'eau de modération dans les assemblages et introduisent dans ceux-ci un matériau absorbant les neutrons à faible énergie et susceptible de se transformer en matière fissile. De tels réacteurs à variation de spectre peuvent permettre
25 une réutilisation du plutonium de récupération à condition que l'on introduise en juxtaposition avec les assemblages à variation de spectre, des assemblages sous-modérés renfermant du plutonium. Ceci peut néanmoins compliquer les opérations de rechargement du réacteur et nécessite une gestion plus contraignante des différents assemblages constituant le coeur.

30 Le but de l'invention est donc de proposer un assemblage combustible pour un réacteur nucléaire à eau sous pression constitué par un faisceau de crayons combustibles parallèles disposés dans la direction longitudinale de l'assemblage et maintenus espacés dans la direction transversale de l'assemblage pour permettre la circulation de l'eau de refroidissement
35 et la constitution d'une lame d'eau de modération autour des crayons, cet assemblage combustible pouvant permettre de simplifier la conception du coeur des réacteurs sous-modérés et utiliser du plutonium de récupération dans de bonnes conditions, en particulier dans des réacteurs à variation de

spectre.

Dans ce but, l'assemblage combustible comporte :

- une zone périphérique constituée par un premier ensemble de crayons contenant principalement de l'oxyde d'uranium enrichi en uranium fissile de façon à émettre des neutrons et à entretenir la réaction neutronique, espacés de façon que la lame d'eau de modération soit suffisante pour amener les neutrons dans le domaine thermique,
- et une zone centrale constituée par un second ensemble de crayons contenant principalement du plutonium et/ou de l'uranium appauvri en uranium fissile et espacés d'une distance notablement inférieure à la distance séparant les crayons de la zone périphérique.

De façon préférentielle, cet assemblage combustible comporte un ensemble de tubes-guides dans sa zone périphérique susceptible de recevoir des barres de variation de spectre.

- On va maintenant décrire à titre d'exemples non limitatifs, en se référant aux figures jointes en annexe, deux modes de réalisation d'assemblage combustible suivant l'invention.

La figure 1 est une section transversale du faisceau constituant un assemblage combustible suivant l'invention, à section carrée.

- La figure 2 est une vue partielle, à plus grande échelle, d'une fraction de la zone centrale de l'assemblage représenté sur la figure 1.

La figure 3 est une section transversale du faisceau constituant un assemblage combustible suivant l'invention, à section hexagonale.

- Sur la figure 1, on voit la section transversale d'un faisceau constituant un assemblage combustible à section carrée dans lequel les crayons combustibles situés dans la partie périphérique 1 de l'assemblage sont disposés suivant un réseau à maille carrée. Le réseau est un réseau 18 x 18 où les crayons 2 sont maintenus avec un certain écartement les uns par rapport aux autres grâce à des grilles entretoises. Certaines positions dans le réseau sont occupées par des tubes-guides 3 assurant à la fois la rigidification de l'assemblage et le guidage de barres dans celui-ci.

- La partie centrale 4 de l'assemblage est constituée par un second réseau de crayons 5 où les crayons sont maintenus avec un certain écartement notablement inférieur à l'écartement des crayons 2 de la partie périphérique 1 par des entretoises longitudinales profilées 6. La partie centrale 4 de l'assemblage comporte cent crayons combustibles disposés suivant dix rangées de dix crayons. Ce faisceau 4 constituant la partie centrale peut être maintenu dans son ensemble par les grilles transversales de main-

tien des crayons et des tubes-guides de la partie périphérique.

Les crayons 2 de la partie périphérique sont constitués par un tube de gainage rempli de pastilles d'oxyde d'uranium enrichi en uranium fissile alors que les crayons 5 de la partie centrale 4 sont constitués par des tubes de gainage remplis par du plutonium de récupération.

L'ensemble de l'assemblage comporte deux cent seize crayons fissiles 2 renfermant de l'uranium enrichi, quarante-quatre tubes-guides 3 permettant l'introduction de barres dans l'assemblage et cent crayons de plutonium 5 constituant la partie sous-modérée de l'assemblage.

10 Les cent crayons 5 sont maintenus avec un faible écartement les uns par rapport aux autres par quatre-vingt une entretoises profilées 6.

Sur la figure 2, on voit la disposition de quatre crayons 5 renfermant du plutonium autour d'une entretoise profilée 6 maintenant un écartement de 9,75 mm entre les axes de ces crayons dont le diamètre extérieur 15 est de 8,65 mm. A l'intérieur de la gaine externe des crayons 5, le matériau combustible est disposé avec un certain jeu permettant sa dilatation.

L'ensemble des 44 tubes-guides ou une partie de ces tubes-guides peuvent recevoir des barres en uranium appauvri, pendant la première partie du cycle de fonctionnement du réacteur pour durcir le spectre neutronique 20 du réacteur et pour augmenter la quantité de matière fertile susceptible de se transformer en matière fissile introduite. Les neutrons produits par la partie périphérique des assemblages renfermant l'uranium enrichi provoquent la fission d'isotopes fissiles du plutonium contenus dans la partie centrale 4 de l'assemblage. Les neutrons résultant de ces fissions sont des neutrons à haute énergie puisque produits dans une zone sous-modérée de l'assemblage. On évite ainsi la dégradation du plutonium par formation d'isotopes non fissiles qui se produit dans le cas de flux de neutrons à faible 25 énergie.

Pendant la seconde partie du cycle de fonctionnement du réacteur, 30 la matière fissile formée dans l'assemblage est utilisée et permet ainsi d'augmenter le rendement du combustible initialement introduit dans la charge du réacteur.

Pour constituer la charge du réacteur, on juxtapose des assemblages identiques comportant chacun une zone périphérique comportant des 35 crayons d'uranium enrichi et des tubes-guides et une partie centrale comportant des crayons de plutonium.

Pour certains des assemblages du coeur, les tubes-guides reçoivent dans leur totalité des barres de variation de spectre et pour d'autres

assemblages du coeur, une partie des tubes-guides reçoit des barres de variation de spectre et une autre partie des barres de commande de la réactivité du réacteur, pour le pilotage de puissance. Cependant, les assemblages eux-mêmes restent identiques qu'ils reçoivent uniquement des barres de variation de spectre ou à la fois des barres de variation de spectre et des barres de commande.

Sur la figure 3, on voit une variante de réalisation d'un assemblage suivant l'invention, cet assemblage ayant une section hexagonale. La partie périphérique de l'assemblage est constituée par des crayons 10 renfermant de l'oxyde d'uranium enrichi en uranium fissile et quarante-huit tubes-guides 12 destinés à recevoir des barres d'uranium appauvri de variation de spectre et/ou des barres de commande du réacteur.

La partie centrale 14 de l'assemblage est constituée par des crayons de plutonium 15 maintenus par des entretoises profilées 16 avec un écartement notablement inférieur à l'écartement des crayons 10. La zone 14 de l'assemblage constitue donc la portion sous-modérée de cet assemblage dans laquelle on obtient un durcissement du spectre des neutrons par réduction des lames d'eau de modération.

Il est d'ailleurs possible de diminuer la lame d'eau de modération en augmentant le diamètre des crayons de la zone centrale.

Le mode de fonctionnement de l'assemblage représenté à la figure 3 est tout-à-fait identique au mode de fonctionnement de l'assemblage représenté aux figures 1 et 2, lorsque cet assemblage est introduit dans un coeur de réacteur nucléaire où il constitue une partie de la charge. Tous les autres assemblages du coeur sont d'ailleurs identiques à l'assemblage représenté à la figure 3. Un tel assemblage est généralement enfermé dans un boîtier prismatique à section hexagonale, par exemple tel que décrit dans les demandes de brevet français n° 2.511.174 et 2.517.866 de la Société FRAMATOME.

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation qui viennent d'être décrits ; elle en comporte au contraire toutes les variantes.

C'est ainsi qu'on peut introduire dans les crayons de la zone périphérique une certaine quantité de matériau fertile susceptible de se transformer en matériau fissile sous l'effet de neutrons à haute énergie pendant la première partie du cycle de fonctionnement du réacteur.

L'assemblage combustible selon l'invention peut servir non seulement pour le recyclage du plutonium de récupération dans les réacteurs nucléaires refroidis à l'eau mais également comme assemblage sous-modéré ren-

fermant à la fois le matériau fissile et le matériau fertile. Les crayons 5 ou 15 de la partie centrale de l'assemblage sont dans ce cas constitués de matériau fertile tel que l'uranium appauvri au lieu de plutonium de récupération. L'assemblage combustible suivant l'invention a dans ce cas l'intérêt de permettre de constituer la charge du réacteur sous-modéré par un seul type d'assemblage.

En prévoyant des tubes-guides dans la partie périphérique susceptible de recevoir des barres de variation de spectre, on combine les avantages des réacteurs à variation de spectre et des réacteurs sous-modérés.

10 Les crayons de la partie centrale de l'assemblage peuvent être maintenus espacés entre eux d'une faible distance par des fils enroulés en hélice sur la surface extérieure de ces crayons, au lieu d'entretoises profilées telles qu'il a été décrit.

15 Enfin, l'assemblage combustible suivant l'invention s'applique dans tous les réacteurs nucléaires refroidis à l'eau où l'on désire obtenir une structure hétérogène du coeur du réacteur, avec des zones présentant des facteurs de modération différents.

REVENDEICATIONS

1.- Assemblage combustible pour un réacteur nucléaire à eau sous pression constitué par un faisceau de crayons combustibles parallèles disposés dans la direction longitudinale de l'assemblage et maintenus espacés dans les directions transversales de l'assemblage pour permettre la circulation de l'eau de refroidissement et la constitution d'une lame d'eau de modération autour des crayons,

caractérisé par le fait qu'il comporte :

- une zone périphérique (1, 11) constituée par un premier ensemble de crayons (2, 10) contenant principalement de l'oxyde d'uranium enrichi en uranium fissile, de façon à émettre des neutrons et à entretenir la réaction neutronique, espacés de façon que la lame d'eau de modération soit suffisante pour amener les neutrons dans le domaine thermique,
- et une zone centrale (4, 14) constituée par un second ensemble de crayons (5, 15) contenant principalement du plutonium ou de l'uranium appauvri en uranium fissile, espacés d'une distance notablement inférieure à la distance séparant les crayons (2, 10) de la zone périphérique (1, 11).

2.- Assemblage combustible suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que la distance séparant les crayons (5, 15) de la zone centrale (4, 14) définit une lame d'eau d'épaisseur suffisamment faible pour que les neutrons produits se situent dans le domaine des hautes énergies.

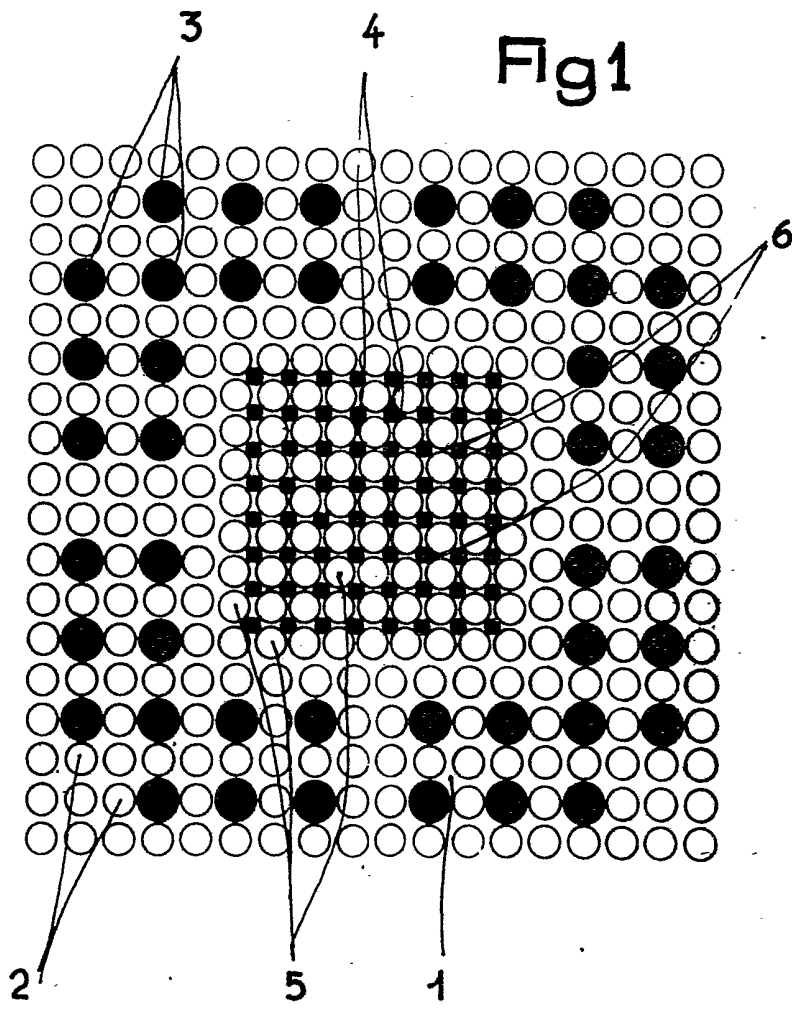
3.- Assemblage combustible suivant l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé par le fait qu'il comporte dans sa zone périphérique des tubes-guides (3, 12) susceptibles de recevoir des barres de variation de spectre.

4.- Assemblage combustible suivant l'une quelconque des revendications 1, 2 et 3, caractérisé par le fait que les crayons (5, 15) de la zone centrale (4, 14) de l'assemblage sont maintenus espacés entre eux par des entretoises longitudinales profilées (6).

5.- Assemblage combustible suivant l'une quelconque des revendications 1, 2 et 3, caractérisé par le fait que les crayons (5, 15) de la partie centrale (4, 14) de l'assemblage sont maintenus espacés entre eux par des fils enroulés en hélice sur la surface extérieure de ces crayons.

1/2

Fig 1



2/2

