

① RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 576 704

⑫ N° d'enregistrement national :

85 01203

⑤ Int Cl^s : G 21 C 1/02.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫ Date de dépôt : 29 janvier 1985.

③ Priorité :

⑦ Demandeur(s) : *NOVATOME, Société Anonyme.* — FR.

⑦ Inventeur(s) : Pierre Clauzon et Henri Sztark.

④ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 31 du 1^{er} août 1986.

⑥ Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

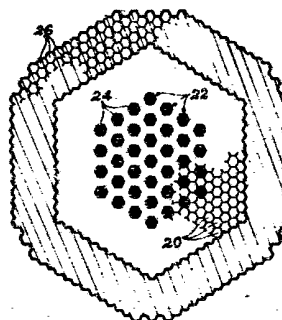
⑦ Titulaire(s) :

⑦ Mandataire(s) : Brevatome.

⑤ Cœur de réacteur nucléaire à neutrons rapides comportant un seul type d'assemblages de combustible nucléaire.

⑦ Le cœur d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides est constitué, dans sa zone fissile, d'un seul type d'assemblages de combustible nucléaire 20 présentant un enrichissement unique.

Dans la partie centrale, les puissances sont réduites localement par des éléments 22 de dilution des neutrons, régulièrement répartis. Ces éléments peuvent être des trous de passage pour des assemblages de commande du réacteur ou des barres d'acier percées d'un trou de refroidissement longitudinal. En choisissant un enrichissement approprié, on réalise ainsi un cœur de réacteur dont les puissances locales restent stables au cours du temps.



FR 2576 704 A1

Coeur de réacteur nucléaire à neutrons rapides comportant
un seul type d'assemblages de combustible nucléaire

La présente invention se rapporte à un coeur de réacteur nucléaire à neutrons rapides dont les assemblages de combustible nucléaire sont tous identiques.

5 Dans la zone centrale fissile du coeur d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides, on cherche à obtenir une répartition radiale des puissances relativement uniforme depuis le centre du coeur jusqu'à la périphérie de la zone fissile. En effet, ce type de
10 répartition confère au réacteur un rendement optimum, tout en permettant de maintenir la puissance en tout point du coeur en-dessous d'un seuil critique à ne pas dépasser. En pratique, une telle distribution de puissance ne peut toutefois pas être atteinte, car la
15 réactivité est naturellement plus forte au centre du coeur que dans les parties périphériques de la zone fissile.

Afin de résoudre en partie ce problème, on réalise habituellement la zone fissile au moyen d'au
20 moins deux types d'assemblages de combustible nucléaire différents, des assemblages à forte réactivité étant placés en périphérie de la zone fissile alors que des assemblages à plus faible réactivité sont placés au centre de cette zone.

25 Une première solution connue pour réaliser des assemblages présentant des réactivités différentes consiste à modifier le pourcentage de matière inerte par rapport à la matière fissile contenue dans ces assemblages, de telle sorte que ce pourcentage
30 soit plus faible au centre du coeur qu'à la périphérie de la zone fissile.

Une autre solution pour réaliser des assemblages présentant des réactivités différentes consis-

te à modifier l'enrichissement de la matière combustible contenue dans ces assemblages, de telle sorte que l'enrichissement des assemblages placés au centre du coeur soit plus faible que l'enrichissement des assemblages placés à la périphérie de la zone fissile. La zone fissile d'un coeur de réacteur nucléaire à neutrons rapides réalisé de cette manière est représentée sur la figure 1. Cette conception de coeur correspond au coeur du réacteur nucléaire à neutrons rapides Super-Phénix.

On voit sur la figure 1 que les assemblages 10 constituant la partie centrale de la zone fissile du coeur d'un tel réacteur sont d'un type différent des assemblages 12 situés à la périphérie de cette zone fissile. Ainsi, dans l'exemple de la centrale nucléaire Super-Phénix, la proportion de dioxyde de plutonium enrichi PuO_2 par rapport à l'ensemble constitué par le dioxyde de plutonium PuO_2 et par le dioxyde d'uranium UO_2 représente, dans les assemblages 10 de la partie centrale, environ 14% en volume, alors que cette proportion est d'environ 18% en volume pour les assemblages périphériques 12.

Dans le coeur d'un réacteur ainsi réalisé, la présence de deux zones fissiles présentant des enrichissements différents entraîne des variations locales dans les gains de régénération interne. Comme l'illustre la figure 2 qui représente en (a) la distribution radiale R des puissances P dans la partie fissile du coeur lorsque les assemblages de combustible nucléaire sont neufs et en (b) la même distribution radiale des puissances à la fin d'un cycle d'irradiation de ces assemblages, il en résulte une variation importante des puissances locales au cours d'un cycle du combustible.

Afin de compenser cette modification dans le temps des puissances dissipées par les assemblages de

combustible nucléaire dans les coeurs de réacteur réalisés de cette manière, on utilise les assemblages de commande ou de pilotage du réacteur. De façon plus précise, ces assemblages de pilotage sont disposés en deux rideaux concentriques, 14a, 14b, le premier rideau 14a étant placé dans la zone centrale constituée par les assemblages 10 et le deuxième rideau 14b étant placé à la limite entre la zone centrale et la zone périphérique constituée par les assemblages 12. Pour compenser l'accroissement de puissance dans la zone centrale en cours de cycle illustré par la figure 2, on enfonce progressivement dans cette zone les assemblages de pilotage 14 constituant le premier rideau au fur et à mesure que le temps d'irradiation des assemblages de combustible nucléaire 10 s'accroît. A l'inverse, on compense la diminution de puissance en cours de cycle dans la zone périphérique en enfonçant en partie les assemblages de pilotage 14 du deuxième rideau en début de cycle et en diminuant peu à peu cet enfoncement au cours du cycle.

Cette compensation de la variation des puissances en cours de cycle nécessite de prévoir un nombre important d'assemblages de pilotage 14a, 14b afin que l'on puisse disposer d'une réserve d'antiréactivité suffisante pour assurer par ailleurs le pilotage du réacteur à tout moment du cycle à l'aide de ces mêmes assemblages 14.

Pour mémoire, on a également représenté sur la figure 1 les trois assemblages 16 en matériau absorbant les neutrons qui sont placés dans la partie centrale de la zone fissile et dont la chute dans le coeur commande l'arrêt immédiat du réacteur.

En plus des inconvénients liés à la variation importante des puissances du coeur en cours de cycle inhérents aux coeurs dans lesquels des assembla-

ges de combustible nucléaire présentant au moins deux réactivités différentes sont utilisés, l'existence d'assemblages différents dans cette zone nécessite de grandes précautions dans la manutention du combustible et pose des problèmes de gestion assez complexes, notamment afin d'éviter qu'un assemblage de forte réactivité soit placé dans la partie centrale de la zone fissile ou, inversement, qu'un assemblage de faible réactivité soit placé dans la partie périphérique de cette zone.

L'invention a précisément pour objet un coeur de réacteur nucléaire à neutrons rapides dont la zone centrale fissile ne comprend qu'un seul type d'assemblages de combustible nucléaire, l'enrichissement en matière fissile étant uniforme dans toute cette zone.

A cet effet, il est proposé conformément à l'invention un coeur de réacteur nucléaire à neutrons rapides comprenant une zone fissile constituée d'assemblages de combustible nucléaire parmi lesquels sont régulièrement répartis des trous de passage pour des barres de pilotage et d'arrêt réalisées en un matériau absorbant les neutrons, lesdits assemblages étant juxtaposés et disposés selon un réseau régulier, caractérisé en ce que la zone fissile est constituée d'assemblages identiques à enrichissement unique, des éléments de dilution des neutrons étant régulièrement répartis dans une partie centrale de ladite zone fissile afin de réduire la réactivité dans cette partie centrale.

Grâce à ces caractéristiques, une bonne distribution des éléments de dilution des neutrons dans le coeur permet d'obtenir une répartition radiale des puissances relativement uniforme. De plus, grâce à l'utilisation d'un seul type d'assemblages de combus-

tible, il est possible de choisir un enrichissement uniforme en matière fissile d'environ 16% en volume, pour lequel les puissances dissipées par les assemblages restent pratiquement stables en cours de cycle, avec tous les avantages qui en découlent (accroissement du temps de séjour des assemblages dans le coeur et du rendement du réacteur, réduction du nombre des assemblages de commande, etc...).

Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, la partie centrale s'étend radialement sur une distance comprise entre $1/3$ et $2/3$ de l'encombrement radial total de la zone fissile, l'étendue exacte étant déterminée en fonction du taux d'enrichissement en matière fissile et de la taille du coeur.

Par ailleurs, selon le type d'éléments de dilution des neutrons utilisé et leur composition, le pourcentage de ces éléments par rapport aux assemblages de combustible nucléaire contenus dans la partie centrale de la zone fissile est compris entre $1/5$ et $1/3$.

En pratique, une partie au moins des éléments de dilution est constituée par les trous de passage pour les barres de pilotage et d'arrêt, d'autres éléments de dilution pouvant être constitués par des barres d'acier présentant chacune au moins un passage longitudinal dans lequel circule le fluide primaire assurant le refroidissement du coeur.

On décrira maintenant, à titre d'exemple non limitatif, un mode de réalisation préféré de l'invention en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, est une vue de dessus représentant partiellement et de façon schématique la zone centrale fissile du coeur d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides du type Super-Phénix,

5 - la figure 2, déjà décrite, représente en (a) et (b) les courbes de répartition des puissances P dissipées par les assemblages fissiles en fonction de leur disposition radiale R dans le coeur, respectivement en début et en fin de cycle,

10 - la figure 3 est une vue comparable à la figure 1 représentant en vue de dessus et de façon schématique les zones fissile et fertile du coeur d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides réalisé conformément à l'invention, et

15 - la figure 4 est une vue comparable à la figure 2 représentant en (a) et (b) la répartition radiale R des puissances P des assemblages de combustible nucléaire constituant la zone fissile du coeur représenté sur la figure 3, respectivement en début et en fin de cycle.

20 Sur la figure 3, on voit que la zone centrale fissile du coeur de réacteur nucléaire à neutrons rapides selon l'invention est constituée d'un seul type d'assemblages de combustible nucléaire 20, des éléments de dilution des neutrons 22 étant répartis de façon régulière et homogène dans la partie centrale de cette zone fissile, de façon à réduire la réactivité et, par conséquent, la puissance dans cette partie centrale.

25 Comme dans le coeur des réacteurs à neutrons rapides connus, les assemblages de combustible nucléaire 20 ainsi que les éléments de dilution des neutrons 22 présentent de préférence une section hexagonale et sont juxtaposés selon un réseau hexagonal régulier déterminé par cette section.

30 La structure de chacun des assemblages de combustible nucléaire 20 peut être identique à celle des assemblages existants tels que ceux qui équipent le coeur du réacteur Super-Phénix. La proportion de

35

dioxyde de plutonium PuO_2 par rapport à l'ensemble constitué par le dioxyde de plutonium PuO_2 et par le dioxyde d'uranium UO_2 contenu dans chacun des assemblages est uniforme dans toute la zone fissile et, de préférence, voisine de 16% en volume.

L'encombrement radial de la partie centrale de la zone fissile dans laquelle sont disposés les éléments de dilution des neutrons 22 est déterminé en fonction du taux d'enrichissement des assemblages et de la taille du coeur. Dans le cas où le taux d'enrichissement est de 16% en volume et où la puissance du réacteur est de 1500 MW électriques, l'encombrement radial de cette partie centrale peut être égal, par exemple, à environ 0,55 fois l'encombrement radial de l'ensemble de la zone fissile. Lorsque l'enrichissement des assemblages fissiles 20 et la dimension du coeur varient, l'encombrement radial de la partie centrale dans laquelle sont régulièrement répartis les éléments 22 est compris de préférence entre 1/3 et 2/3 de l'encombrement radial de l'ensemble de la zone fissile.

Par ailleurs, le nombre des éléments de dilution de neutrons 22 placés dans la partie centrale de la zone fissile est déterminé en fonction de la nature et de la composition de ces éléments. De préférence, le pourcentage d'éléments de dilution de neutrons 22 situés dans la partie centrale correspondante de la zone fissile, par rapport au nombre total d'assemblages de combustible nucléaire 20 situés dans cette même partie centrale est compris entre 1/5 et 1/3. Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 3, le nombre d'éléments de dilution 22 est de 37 alors que le nombre total d'assemblages fissiles 20 est d'environ 400.

Les éléments de dilution des neutrons 22 sont constitués par tout élément permettant de réduire

localement la réactivité et, par conséquent, la puissance dans la partie correspondante du coeur. En pratique, un certain nombre de ces éléments sont constitués par les trous de passage dans lesquels sont
5 reçues les barres de pilotage et d'arrêt du réacteur. Ces éléments peuvent être complétés par des éléments inertes en acier.

Dans ce cas, comme on l'a représenté sur la figure 3, au moins un passage longitudinal 24 est formé dans chacune des barres d'acier, afin d'assurer
10 leur refroidissement sous l'effet de la circulation à l'intérieur de ces passages du fluide caloporteur primaire, généralement constitué par du sodium liquide, qui circule dans le coeur.

De façon connue, la zone fissile du coeur du réacteur selon l'invention est entourée par deux zones
15 périphériques successives comprenant une première zone fertile constituée d'assemblages 26 (figure 3) en matériau fertile tel que du dioxyde d'uranium UO_2 appauvri. La deuxième zone périphérique (non représentée) est constituée d'éléments de protection neutronique latérale qui comprennent généralement successive-
20 ment en allant vers l'extérieur des éléments hexagonaux en acier, puis des rondins en graphite, en acier et en graphite boré. Cette deuxième zone périphérique constitue la protection neutronique latérale du coeur du réacteur.

Comme l'illustre la figure 4, la réalisation de la zone fissile du coeur d'un réacteur nucléaire à
30 neutrons rapides conformément à l'invention permet d'obtenir une répartition radiale des puissances relativement uniforme à l'aide d'un seul type d'assemblages de combustible nucléaire, ce qui simplifie considérablement la manutention et la gestion de ce combustible.
35

Une autre conséquence de la stabilité des puissances en cours de cycle est qu'il n'est plus nécessaire d'utiliser les assemblages de commande pour compenser la variation de ces puissances. Il en résulte que le nombre des assemblages de commande peut être réduit d'au moins 15% par rapport à un coeur de conception classique. Dans le cas d'un coeur à chute de réactivité nulle cette diminution peut atteindre 30%.

Par ailleurs, la stabilité dans le temps des puissances dissipées par les assemblages permet d'améliorer le rendement du réacteur, puisque la puissance locale peut être relativement proche de la puissance maximale admissible sans crainte de voir cette puissance dépasser en cours de cycle le seuil maximum tolérable, par suite d'un accroissement local de la puissance. Dans le cas d'un coeur à chute de réactivité nulle, un gain de 12°C à 15°C sur la température atteinte en moyenne par les assemblages fissiles (loi de point chaud) peut ainsi être envisagé. Bien entendu, ce gain serait un peu plus faible dans le cas où la chute de réactivité ne serait pas nulle.

REVENDEICATIONS

- 5 1. Coeur de réacteur nucléaire à neutrons rapides comprenant une zone fissile constituée d'assemblages de combustible nucléaire (20) parmi lesquels sont régulièrement répartis des trous de passage pour des barres de pilotage et d'arrêt réalisés en un matériau absorbant les neutrons, lesdits assemblages étant juxtaposés et disposés selon un réseau régulier, caractérisé en ce que la zone fissile est constituée d'assemblages (20) identiques à enrichissement unique, des éléments (22) de dilution des neutrons étant régulièrement répartis dans une partie centrale de ladite zone fissile afin de réduire la réactivité dans cette partie centrale.
- 10 2. Coeur de réacteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite partie centrale s'étend radialement sur une distance comprise entre $1/3$ et $2/3$ de l'encombrement radial total de la zone fissile.
- 15 3. Coeur de réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le pourcentage des éléments de dilution (22) par rapport aux assemblages de combustible nucléaire (20) contenus dans la partie centrale de la zone fissile est compris entre $1/5$ et $1/3$.
- 20 4. Coeur de réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'une partie au moins des éléments de dilution (22) comprend les trous de passage pour les barres de pilotage et d'arrêt.
- 25 5. Coeur de réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'une partie des éléments de dilution (22) comprend des barres d'acier présentant chacune au moins un passage longitudinal de refroidissement (24).
- 30

1/2

FIG. 1

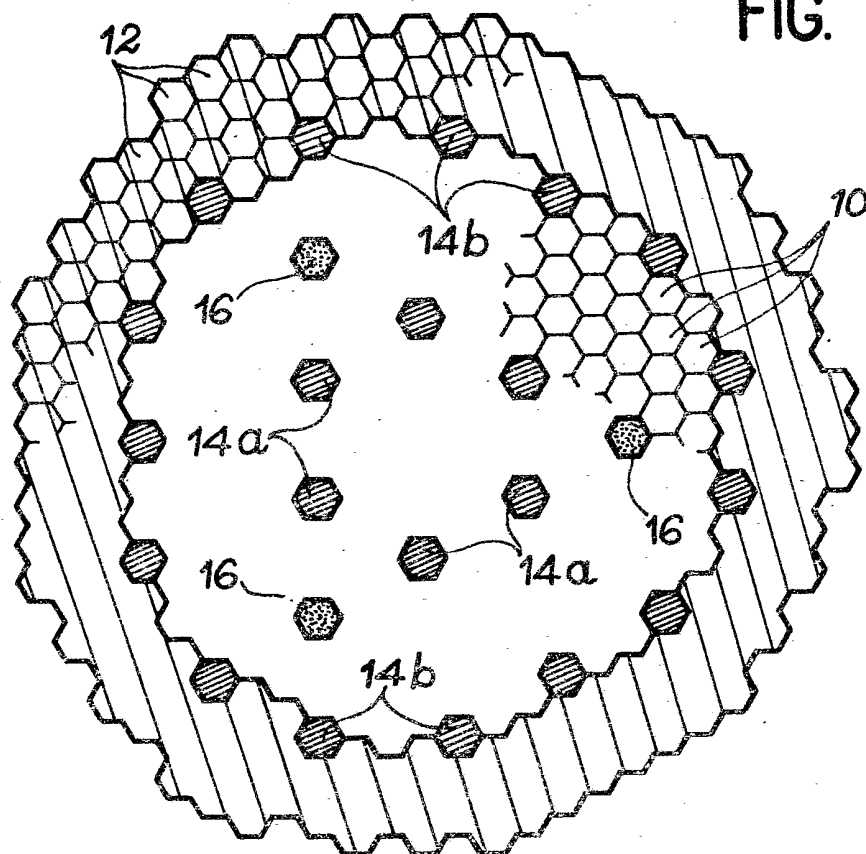


FIG. 2

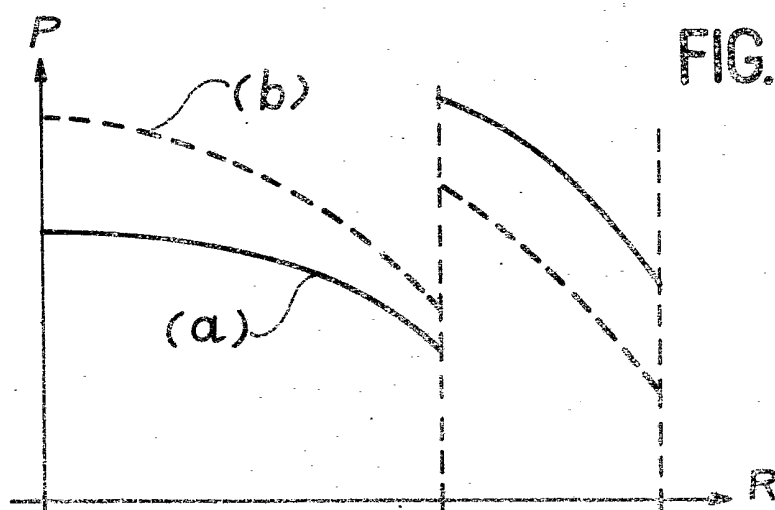


FIG. 3

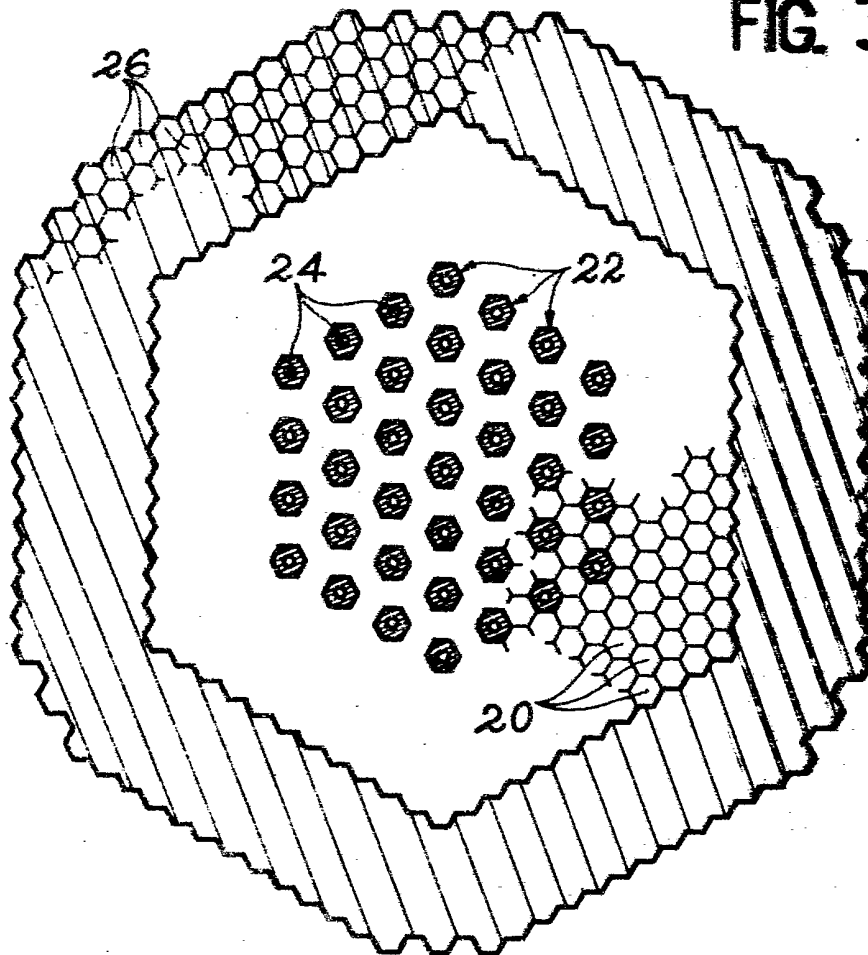


FIG. 4

