



MINISTERE DES AFFAIRES ECONOMIQUES

NUMERO DE PUBLICATION : 1006761A3

NUMERO DE DEPOT : 09100387

Classif. Internat. : G21C

Date de délivrance le : 06 Décembre 1994

Le Ministre des Affaires Economiques,

Vu la Convention de Paris du 20 Mars 1883 pour la Protection de la propriété industrielle;

Vu la loi du 28 Mars 1984 sur les brevets d'invention, notamment l'article 22;

Vu l'arrêté royal du 2 Décembre 1986 relatif à la demande, à la délivrance et au maintien en vigueur des brevets d'invention, notamment l'article 28;

Vu le procès verbal dressé le 26 Avril 1991 à 14H15 à l'Office de la Propriété Industrielle

ARRETE :

ARTICLE 1.- Il est délivré à : KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA
72, Horikawa-Cho, Saiwai-Ku, Kawasaki-Shi, KANAGAWA-KEN(JAPON)

représenté(e)(s) par : DONNE Eddy, BUREAU M.F.J. BOCKSTAEL, Arenbergstraat, 13 - B
2000 ANTWERPEN.

un brevet d'invention d'une durée de 20 ans, sous réserve du paiement des taxes annuelles, pour : ASSEMBLAGE DE COMBUSTIBLES POUR REACTEUR NUCLEAIRE.

PRIORITE(S) 27.04.90 JP JPA 2112719

ARTICLE 2.- Ce brevet est délivré sans examen préalable de la brevetabilité de l'invention, sans garantie du mérite de l'invention ou de l'exactitude de la description de celle-ci et aux risques et périls du(des) demandeurs(s).

Bruxelles, le 06 Décembre 1994
PAR DELEGATION SPECIALE :

VINCENT L.
Directeur

5

Assemblage de combustibles pour réacteur nucléaire

Fondement de l'invention

10

La présente invention concerne un assemblage de combustibles pour un réacteur à eau légère, chargé de barres de combustible garnies d'un combustible mixte de plutonium-uranium.

15

Il est possible d'utiliser effectivement les ressources ou bien d'améliorer l'économie de combustible dans une centrale nucléaire, en utilisant du plutonium (Pu) obtenu en retraitant du combustible nucléaire épuisé dans un réacteur à eau légère.

20

Dans le cas où on utilise le plutonium comme combustible, étant donné que les caractéristiques nucléaires du combustible de plutonium diffèrent de celles du combustible d'uranium, le noyau et les caractéristiques de ce dernier, dans le cas d'utilisation du combustible de plutonium, sont également différentes de celles que l'on rencontre dans le cas d'utilisation unique de combustible d'uranium. Les différences principales quant aux

25

caractéristiques nucléaires entre le plutonium (Pu) et l'uranium (U), résident dans le fait que (1) une section transversale de l'absorption de neutrons thermiques de Pu-239 ou de Pu-241 d'une matière fossile de Pu est deux fois plus importante que celle de U-235 d'une matière fossile de U et (2) une matière fossile Pu-240 de Pu manifeste un pic d'absorption

30

35

neutronique d'importance considérable dans la région de résonance, à savoir une région énergétique dans laquelle les neutrons sont soumis à une absorption par résonance.

5 Conformément à ces faits, lorsqu'on charge du Pu dans un noyau de réacteur, (1) le flux neutronique diminue dans la région thermique et le flux neutronique augmente dans la région de résonance ou dans la région rapide, c'est-à-dire qu'un spectre
10 neutronique se durcit et (2) sur base de l'augmentation quant à l'absorption neutronique dans la région de résonance, la valeur absolue du coefficient de vide (qui est représenté par un coefficient de température de modérateur) dans un
15 réacteur à eau bouillante (BWR) devient importante par le fait de la modification quant au coefficient de densité du modérateur, c'est-à-dire de la réactivité du noyau due à la modification de la densité du modérateur.

20 Ces faits affectent les caractéristiques du noyau quant aux points suivants.

(1) Au cours de la période de refroidissement du noyau, la réactivité du noyau augmente et la marge d'arrêt d'urgence du noyau
25 diminue. La raison provoquant cette caractéristique est représentée par la figure 14.

(2) La marge d'arrêt d'urgence du noyau diminue par la présence d'un poison consommable tel qu'un composé de gadolinium (oxyde de gadolinium
30 Gd_2O_3) ou tel que le bore (B) ou encore par la diminution de l'aptitude à contrôler la réactivité des barres de réglage.

(3) En particulier, dans le cas du BWR dans lequel la densité du modérateur est soumise à des
35 modifications importantes dans la direction axiale du

noyau, la distorsion quant à la distribution de sortie dans la direction axiale du noyau, augmente par comparaison avec un noyau dans lequel on utilise uniquement le combustible d'uranium, et la marge
5 thermique diminue. Cette raison sera expliquée en se référant à la figure 15.

Etant donné que Pu est une matière radioactive et manifeste également une toxicité chimique en tant que métal lourd, on effectue le
10 procédé de préparation du mélange U-Pu dans un caisson à incandescence. Pour cette raison, le fait d'utiliser une quantité moindre de barres de combustible du type comprenant différents enrichissements de Pu, rend économique le traitement
15 ou la mise en oeuvre de la préparation, ce qui s'avère également souhaitable pour le maniement ou la manipulation.

Pour le transport de l'assemblage de combustibles contenant un mélange U-Pu, désigné ci-
20 après par l'expression "combustible MOX", il est nécessaire de transporter ce dernier en le plaçant dans un récipient muni d'un écran spécifique contre le rayonnement afin d'empêcher le rayonnement émis par le Pu et, dans la centrale nucléaire, on manipule
25 l'assemblage de combustible MOX sous contrôle spécifique. A cet égard, il est souhaitable d'utiliser de petites quantités d'assemblages de combustible MOX, également dans un but d'économie.

Sommaire de l'invention

Un objet de la présente invention est d'éliminer essentiellement les défauts ou les
5 inconvénients rencontrés dans la technique antérieure et de procurer un assemblage de combustibles pour un réacteur nucléaire, capable d'améliorer les performances du noyau telles qu'une marge thermique ou une marge d'arrêt d'urgence d'un noyau chargé de
10 barres de combustible garnies de combustible de mélange d'uranium-plutonium et d'améliorer l'économie de combustible lors du transport ou de la manipulation de ce dernier.

Ces objets, ainsi que d'autres, peuvent être
15 réalisés conformément à la présente l'invention en procurant, dans un aspect, un assemblage de combustibles pour un réacteur nucléaire comprenant :

un caisson muni de voies ; et
plusieurs barres de combustible arrangées
20 dans le caisson muni de voies, au moins une partie des barres de combustible étant chargées à l'aide d'un combustible de mélange d'uranium-plutonium et d'un enrichissement de U-235 ou d'une concentration de plutonium, ou bien les deux étant répartis en
25 direction axiale des barres de combustible.

Dans un autre aspect, on procure un assemblage de combustibles pour un réacteur nucléaire comprenant :

un caisson muni de voies, ainsi que
30 plusieurs barres de combustible arrangées dans le caisson muni de voies, au moins une partie des barres de combustible étant chargées à l'aide d'un combustible de mélange d'uranium-plutonium et au moins une partie des barres de combustible étant garnies
35 d'un poison consommable ayant une concentration

répartie en direction axiale des barres de combustible.

Dans un autre aspect, on procure un assemblage de combustibles pour un réacteur nucléaire
5 comprenant :

plusieurs caissons munis de voies, que l'on sépare en disposant des barres de réglage entre eux, les écartements ayant des largeurs telles qu'une
10 largeur d'un écartement opposé à la barre de réglage est supérieure à celle d'un écartement qui ne s'oppose pas à la barre de réglage ; ainsi que

plusieurs barres de combustible agencées dans les caissons respectifs munis de voies, dans une structure de grille ayant n lignes et n rangées (n :
15 nombre naturel), les barres de combustible comprenant des barres de combustible d'uranium positionnées à des portions à coordonnées (1, 1), (1, 2), (2, 1), (1, n) et (n, 1) et d'autres barres de combustible, à l'exception des barres de combustible contenant un
20 poison consommable, étant garnies à l'aide du combustible du mélange uranium-plutonium, une barre de combustible positionnée à une portion de coin opposée à la barre de réglage étant désignée par une barre de combustible à coordonnées (1, 1) et une barre de
25 combustible positionnée à une portion de coin diagonalement opposée à la portion de coin mentionnée en premier lieu, étant désignée comme étant une barre de combustible à coordonnées (n, n).

Dans un autre aspect encore, on procure un
30 assemblage de combustibles pour un réacteur nucléaire comprenant :

plusieurs caissons munis de voies, que l'on sépare en disposant des barres de réglage entre eux, les écartements ayant des largeurs telles qu'une
35 largeur d'un écartement opposé à la barre de réglage

est supérieure à celle d'un écartement qui ne s'oppose pas à la barre de réglage ; ainsi que

plusieurs barres de combustible arrangées dans les caissons munis de voies, dans une structure de grille ayant n lignes et n rangées (n : nombre naturel), les barres de combustible comprenant des barres de combustible d'uranium positionnées à des portions à coordonnées $(1, 1)$, $(1, n)$, $(n, 1)$ et (n, n) et d'autres barres de combustible, à l'exception des barres de combustible contenant un poison consommable, étant garnies à l'aide du combustible de mélange uranium-plutonium, une barre de combustible positionnée à une portion de coin opposée à la barre de réglage étant désignée par une barre de combustible à coordonnées $(1, 1)$ et une barre de combustible positionnée à une portion de coin diagonalement opposée à la portion de coin mentionnée en premier lieu, étant désignée comme étant une barre de combustible à coordonnées (n, n) .

Comme on l'a décrit ci-dessus, on résumera les traits caractéristiques selon la présente invention, comme suit.

(1) La répartition des concentrations de la matière fossile et du poison consommable des barres de combustible constituant l'assemblage de combustibles, en direction axiale des barres de combustible ;

(2) L'augmentation du rapport de la région du modérateur de l'assemblage de combustibles par rapport à la région du combustible (désigné par l'expression "rapport eau-combustible") ;

(3) Le nombre de barres de combustible contenant le poison consommable par rapport à un assemblage de combustibles et la concentration du poison consommable ; et

(4) L'usage multiple de l'uranium à mélanger avec le plutonium.

Les facteurs ci-dessus seront décrits en détail ci-après, respectivement, par rapport à la
5 présente invention.

1. Répartition axiale de l'assemblage de combustibles

Tout d'abord, on décrira la théorie de base
10 de la répartition axiale de l'assemblage de combustibles uranium-plutonium (MOX).

(1) Matière fossile :

15 Du point de vue de la réactivité du noyau, on réduit la concentration de la matière fossile (telle que U-235, Pu-239 et Pu-241) dont sont garnies les extrémités supérieures ou inférieures, ou les deux à la fois, de l'assemblage de combustibles, mais on
20 augmente la concentration de la matière fossile dans la région centrale de l'assemblage de combustibles, permettant ainsi d'augmenter la région utilisant des neutrons thermiques à la portion centrale du noyau du flux à haute teneur en neutrons thermiques, ainsi que
25 dans l'ensemble de la structure du noyau.

Selon une autre point de vue, quant à l'amélioration de la marge d'arrêt d'urgence du noyau, dans un certain cas, on diminue la concentration de la matière fossile dans la région supérieure de
30 l'assemblage de combustibles, par rapport à la région centrale de ce dernier. Etant donné que, dans le réacteur à eau légère, la densité du modérateur dans la région supérieure du noyau en direction axiale, est élevée par rapport à celle de la région inférieure, on
35 augmente l'accumulation de Pu dans la région

supérieure du noyau où a lieu la combustion. En conséquence, la répartition axiale de sortie lors de la période de refroidissement présente un pic supérieur et il est possible de réduire, au préalable, la réactivité dans la région supérieure du noyau du fait de ce trait caractéristique, permettant ainsi de réduire la réactivité du noyau lors de la période de refroidissement et partant, d'améliorer la marge d'arrêt d'urgence du noyau.

10 En se référant au noyau BWR muni, en particulier, d'une variation importante quant à la densité du modérateur en direction axiale du noyau, la réactivité augmente à la région inférieure du noyau qui présente une densité élevée de modérateur, la répartition axiale de sortie subit une distorsion à la région inférieure du noyau et la marge thermique diminue. Afin de résoudre ce problème, conformément à l'invention, on diminue la concentration de la matière fossile à la région inférieure du noyau, dans une certaine forme de réalisation, par rapport à la région centrale de l'assemblage de combustibles, permettant ainsi de supprimer la distorsion quant à la sortie à la région inférieure du noyau et d'augmenter ainsi la marge thermique.

25 Les modes de répartition de la concentration de la matière fossile en direction axiale de l'assemblage de combustibles décrits ci-dessus, peuvent avoir des effets et des fonctions indépendantes, respectivement, tant et si bien qu'il n'est pas nécessaire de combiner ces modes complètement, conformément à la présente invention. La conception de la répartition en direction axiale peut être détaillée davantage par rapport au mode de la figure 16.

(2) Poison consommable :

Quant à l'amélioration de la réactivité d'un noyau, on peut diminuer ou rendre nulle la concentration du poison consommable dont sont garnies les régions supérieure et inférieure de l'assemblage de combustibles, en comparaison avec un cas où c'est la région centrale du noyau qui en est garnie. Dans un certain cas, on peut diminuer la concentration du poison consommable à la région supérieure par rapport à la région centrale.

Aux extrémités supérieure et inférieure du noyau, de par la nature de ce dernier, la combustion du poison consommable n'a pas lieu du fait du flux neutronique faible. En conséquence, on peut réduire la quantité du poison consommable non consommé (degré de perte de réactivité), qui diminue la réactivité du noyau au terme du cycle de mise en service de ce dernier, en réduisant, au préalable, la concentration du poison consommable dans les régions supérieure et inférieure de l'assemblage de combustibles. En outre, du fait que la densité du modérateur est élevée dans la région supérieure du noyau en direction axiale, par rapport à celle présente dans la région inférieure, le flux de neutrons thermiques y est faible. Etant donné que le poison consommable utilisé pour le réacteur à eau légère est composé principalement d'une matière absorbant les neutrons thermiques, la combustion du poison consommable n'a guère lieu à la région supérieure du noyau en direction axiale. En conséquence, on peut réduire le degré de perte de réactivité due à la présence du poison consommable en abaissant, au préalable, la concentration du poison consommable à la région supérieure de l'assemblage de combustibles.

En outre, un cas existe dans lequel on augmente la concentration du poison consommable dans la région inférieure de l'assemblage de combustibles, par rapport à celle présente dans la région centrale, afin d'augmenter la marge thermique en supprimant la distorsion quant à la sortie à la région inférieure du noyau, comme décrit dans (1) "Matière fossile". Un autre moyen consiste à augmenter le nombre des barres de combustible contenant le poison consommable et ces moyens peuvent être utilisés en combinaison avec les premières. Ces moyens sont efficaces pour abaisser la réactivité dans la région inférieure du noyau et pour supprimer la distorsion de la sortie à cet endroit.

En outre, un cas existe dans lequel on augmente le nombre des barres de combustible contenant le poison consommable à la région supérieure de l'assemblage de combustibles, dans le but d'améliorer la marge d'arrêt d'urgence du noyau décrite dans (1) "Matière fossile". Conformément à ces moyens, on peut réduire la réactivité du noyau lors de la période de refroidissement, ce qui donne lieu à l'amélioration de la marge d'arrêt d'urgence du noyau. Le concept de la répartition axiale de la concentration du poison consommable, basé sur la technologie décrite ci-dessus, est représenté en figure 17.

2. Rapport eau-combustible.

Dans un BWR conventionnel, on dispose environ deux barres pour l'eau dans chaque assemblage de combustibles, de telle sorte que de l'eau non bouillie passe par les barres qui lui sont destinées. Dans un cas où l'on charge le combustible MOX dans le combustible conventionnel, par exemple, dans le cas où 50% des barres de combustible de l'assemblage sont remplacées par les barres de combustible MOX, on augmente le coefficient de densité du modérateur d'environ 20%. Cette augmentation est due à la différence quant aux caractéristiques nucléaires entre l'uranium et le plutonium, comme décrit précédemment.

Les différences quant aux réactivités au cours de la période de mise en oeuvre de la production et au cours de la période de refroidissement, augmentent en proportion de l'augmentation de la valeur absolue du coefficient de densité du modérateur. Etant donné que le facteur de multiplication effective du noyau au cours de la période de mise en oeuvre de la production, est proche de 1,0 (condition critique de la réactivité du noyau = 0), l'augmentation quant à la valeur absolue du coefficient de densité du modérateur, provoque l'augmentation de la réactivité du noyau au cours de la période de refroidissement, réduisant ainsi la marge d'arrêt d'urgence du noyau (se référer à la figure 14).

En outre, lorsqu'on charge le combustible de plutonium, le flux de neutrons thermiques diminue, comme décrit ci-dessus, tant et si bien que les effets du poison consommable diminuent, celui-ci étant constitué d'une matière résistante qui absorbe les neutrons thermiques, de même que la matière absorbant

les neutrons dont sont constituées les barres de réglage et partant, la marge thermique diminue également.

Afin de résoudre ces problèmes, on envisage
5 d'augmenter la superficie de substitution des barres de combustible par les barres pour l'eau dans l'assemblage de combustibles et de faire passer l'eau non bouillie, dans les barres pour l'eau. Conformément à ces moyens, on peut augmenter le
10 rapport eau-combustible par rapport à l'assemblage conventionnel de combustibles et partant, résoudre les problèmes. La figure 18 représente un exemple d'un noyau à grille 8 x 8 pour BWR, afin d'indiquer la relation entre le nombre des barres de combustible
15 remplacées et la valeur absolue du coefficient de vide de réactivité.

Conformément à la présente invention, on remplace les barres de combustible ayant une superficie de section de 6% par rapport à la
20 superficie totale de section des barres de combustible, par la ou les barre(s) pour l'eau, ce qui permet de diminuer la valeur absolue du coefficient de vide de réactivité d'environ 20% et, dans le cas de l'assemblage de combustibles dans lequel les barres de
25 combustible MOX représentant environ 50% sont arrangées comme barres de combustible, on peut rendre le coefficient de vide de réactivité essentiellement égal à celui obtenu avec l'assemblage conventionnel de combustibles dans lequel on utilise seulement le
30 combustible d'uranium, ce qui permet de garantir une marge adéquate d'arrêt d'urgence du noyau.

Dans la description qui précède, on décrit principalement les exemples pour le BWR, mais la théorie de base est essentiellement la même à celle de
35 l'assemblage de combustibles agencés dans le PWR, dans

lequel les mêmes effets seront atteints si on retire des barres de combustible.

3. Quantité de poison consommable

5

Dans le noyau dans lequel on charge l'assemblage de combustible MOX, par rapport à un noyau dans lequel on ne charge que l'assemblage de combustible d'uranium, on diminue l'effet dû au poison consommable, à savoir une substance résistante absorbant les neutrons thermiques, et partant, on diminue la vitesse de combustion du poison consommable, du fait de la différence quant au spectre neutronique. La figure 19 représente un cas dans lequel on mélange le composé de gadolinium avec les barres de combustible d'uranium, comme poison consommable, ainsi que la variation de combustion des facteurs de multiplication infinie du combustible MOX et du combustible d'uranium, les deux ayant la même concentration en composé de gadolinium, et le nombre de barres de combustible contenant le composé de gadolinium. En se référant à la figure 19, les lettres A et A' représentent les effets de la réactivité du composé de gadolinium au cours de la période initiale de combustion, qui dépend du nombre de barres de combustible contenant le composé de gadolinium. Les lettres B et B' représentent les durées des effets de réactivité du composé de gadolinium.

30

Par rapport au combustible MOX, l'effet de réactivité au stade initial du cycle de combustion est petit et la durée des effets de réactivité est longue. En conséquence, on augmente les réactivités du combustible au stade de combustion initiale, lorsqu'on utilise les barres de combustible contenant le composé

35

gadolinium selon un nombre égal à celles contenant le combustible d'uranium et, dans certains cas, on ne peut obtenir la marge adéquate d'arrêt d'urgence du noyau. En outre, un cas peut se présenter dans lequel
5 le rendement du combustible MOX augmente, ce qui ne permet pas de garantir la marge thermique au cours de la période de mise en oeuvre de la production du noyau. Par ailleurs, au cas où la concentration du composé de gadolinium du combustible MOX est égale à
10 celle du combustible d'uranium, une certaine quantité de composé de gadolinium non consommé subsiste, donnant lieu à une perte de réactivité et partant, une économie de combustible défavorable.

Comme décrit ci-dessus, conformément à la
15 présente invention, par rapport au combustible MOX, on augmente les barres de combustible dans lesquelles est contenu le composé de gadolinium, d'une quantité supérieure à celle du combustible d'uranium quant à leur nombre, et on diminue leur concentration. Le
20 nombre des barres de combustible contenant le composé de gadolinium, ainsi que la concentration de ces dernières, dépendent de la réactivité des barres de combustible MOX, mais, dans la présente invention, la quantité de combustible MOX correspond à 3-4% en poids
25 de la concentration moyenne de l'assemblage global de combustibles d'uranium. Dans ce cas, le paramètre le plus approprié concernant les barres de combustible contenant le composé de gadolinium dépend du rapport du nombre des barres de combustible MOX contenues dans
30 l'assemblage de combustibles. Dans la figure 20A, on représente la relation du rapport le plus approprié des barres de combustible contenant le composé de gadolinium au nombre des barres de combustible MOX et, dans la figure 20B, on représente la concentration la
35 plus appropriée en composé de gadolinium dans les

barres de combustible contenant le composé de gadolinium Conformément à la présente invention, le rapport d'occupation des barres de combustible MOX à l'ensemble des barres de combustible dans l'assemblage de combustibles, se situe dans l'intervalle allant de 0,2 à 0,5, le rapport du nombre des barres de combustible dans lesquelles est contenu le composé de gadolinium en direction axiale à raison de plus de 80%, se situe dans l'intervalle allant de 0,15 à 0,23 par rapport à l'ensemble des barres de combustible de l'assemblage de combustibles et, dans le cas où le rapport du nombre des barres de combustible MOX se situe dans l'intervalle allant de 0,5 à 0,8, celui des barres de combustible contenant le composé de gadolinium se situe dans l'intervalle allant de 0,2 à 0,25 et la concentration du composé de gadolinium est de 1,5 à 4,0% en poids. Dans un tel cas, le facteur de multiplication infinie de l'assemblage de combustibles de la présente invention est représenté en figure 21. En conséquence, comme représenté en figure 21, on peut rendre les caractéristiques de réactivité du combustible contenant du MOX essentiellement égales à celles du combustible d'uranium, garantissant ainsi une marge thermique et une marge d'arrêt d'urgence de noyau adéquates.

4. Usage multiple d'uranium mélangé avec du plutonium

L'uranium à mélanger avec le plutonium est habituellement de l'uranium naturel. Conformément à la présente invention, dans le but de préserver la quantité de l'uranium naturel, on utilise de l'uranium appauvri contenant un enrichissement de U-235 de 0,2 à 0,3% en poids formé dans l'enrichissement d'uranium ou encore de l'uranium recyclé obtenu en traitant, à

nouveau, le combustible épuisé. Dans d'autres cas, on peut utiliser l'uranium en combinaison avec ces uraniums. En conséquence, on peut diminuer la quantité d'uranium naturel.

5 En outre, étant donné que le rapport de dégagement de gaz FP (produit de fission) de la barre de combustible MOX est plus élevé que celui de la barre de combustible d'uranium, il se peut que la pression interne de la barre de combustible augmente.

10 De ce point de vue, conformément à un aspect de la présente invention, on augmente la longueur de la portion où règne une surpression, de la barre de combustible MOX (c'est-à-dire une portion dans laquelle on ne garnit pas la barre de combustible de

15 pastilles de ce type), pour qu'elle soit plus grande que la barre de combustible d'uranium, ce qui permet de rendre la pression interne de la barre de combustible MOX égale à celle de la barre de combustible d'uranium.

20 En outre, dans un assemblage de combustibles dans lequel plusieurs barres de combustible sont disposées dans les caissons respectifs munis de voies, dans une structure de grille comprenant n lignes et n rangées (n : nombre naturel) et dans lequel on élargit

25 l'espace ménagé entre les caissons respectifs munis de voies du côté opposé à la barre de réglage, par rapport à la largeur du côté non opposé à la barre de réglage, conformément à la présente invention, les barres de combustible englobent des barres de

30 combustible d'uranium positionnées à des portions à coordonnées $(1, 1)$, $(1, 2)$, $(2, 1)$, $(1, n)$ et $(n, 1)$, ainsi que des barres de combustible MOX, à l'exception des barres de combustible contenant un poison consommable, une barre de combustible positionnée à

35 une portion de coin opposée à la barre de réglage

étant désignée comme étant une barre de combustible à coordonnées (1, 1) et une barre de combustible positionnée à une position de coin diagonalement opposée à la portion de coin mentionnée en premier lieu, étant désignée comme étant une barre de combustible à coordonnées (n, n). Selon un autre aspect de l'assemblage de combustibles de la présente invention, dans lequel les espaces entre les caissons respectifs munis de voies sont égaux des deux côtés, opposés et non opposés à la barre de réglage, les barres de combustible englobent des barres de combustible d'uranium positionnées à des portions de coordonnées (1, 1), (1, n), (n, 1) et (n, n), ainsi que des barres de combustible MOX, à l'exception des barres de combustible contenant un poison consommable, une barre de combustible positionnée à une portion de coin opposée à la barre de réglage étant désignée comme étant une barre de combustible à coordonnées (1, 1) et une barre de combustible positionnée à une portion de coin diagonalement opposée à la portion de coin mentionnée en premier lieu, étant désignée comme étant une barre de combustible à coordonnées (n, n).

Conformément à un tel agencement, on ne diminue pas la quantité de plutonium dans une large mesure et on réduit le type d'enrichissement de Pu, de telle sorte que l'on puisse fabriquer aisément les barres de combustible MOX, améliorant ainsi l'économie de combustible et la manipulation aisée des barres de combustible.

Breve description des dessins

Pour une meilleure compréhension de la présente invention et dans le but d'indiquer comment
5 cette dernière est mise en oeuvre, on fait référence, à titre de formes de réalisation préférées, aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1 est une vue en coupe d'un assemblage de combustibles applicable à un BWR, selon
10 une forme de réalisation selon la présente invention ;

la figure 2 est une vue représentant la relation existant entre l'enrichissement de combustible, la concentration de plutonium et la répartition du composé de gadolinium dans les barres
15 de combustible constituant l'assemblage de combustibles de la figure 1 ;

la figure 3 est une vue en coupe d'un assemblage de combustibles d'une autre forme de réalisation de la présente invention ;

20 la figure 4 est une vue représentant la relation existant entre l'enrichissement de combustible, la concentration de plutonium et la répartition du composé de gadolinium dans les barres de combustible constituant l'assemblage de
25 combustibles de la figure 3 ;

la figure 5 est une vue en coupe d'un assemblage de combustibles d'une autre forme de réalisation de la présente invention ;

30 la figure 6 est une vue représentant la relation existant entre l'enrichissement de combustible, la concentration de plutonium et la répartition du composé de gadolinium dans les barres de combustible constituant l'assemblage de combustibles de la figure 5 ;

la figure 7 est une vue en coupe d'un assemblage de combustibles d'une autre forme encore de réalisation de la présente invention ;

5 la figure 8 est une vue représentant la relation existant entre l'enrichissement de combustible, la concentration de plutonium et la répartition du composé de gadolinium dans les barres de combustible constituant l'assemblage de combustibles de la figure 7 ;

10 la figure 9 est une vue en coupe d'un assemblage de combustibles d'une autre forme encore de réalisation de la présente invention ;

15 la figure 10 est une vue représentant la relation existant entre l'enrichissement de combustible, la concentration de plutonium et la répartition du composé de gadolinium dans les barres de combustible constituant l'assemblage de combustibles de la figure 9 ;

20 la figure 11 est une vue en coupe d'un assemblage de combustibles d'une forme de réalisation applicable à un PWR selon la présente invention ;

25 la figure 12 est une vue représentant la relation existant entre l'enrichissement de combustible, la concentration de plutonium et la répartition du composé de gadolinium dans les barres de combustible constituant l'assemblage de combustibles de la figure 9 ;

30 la figure 13 est une vue en coupe d'un exemple modifié de la forme de réalisation de la figure 11 ;

la figure 14 est un graphique décrivant la dégradation des caractéristiques du noyau due à la charge de combustible MOX ;

la figure 15 est un graphique décrivant la dégradation des caractéristiques du noyau due à la charge de combustible MOX ;

la figure 16 est une vue décrivant le concept de base de l'enrichissement de l'assemblage de combustibles, ainsi que la répartition du composé de gadolinium conformément à la présente invention ;

la figure 17 est une vue décrivant le concept de base de l'enrichissement de l'assemblage de combustibles, ainsi que la répartition du composé de gadolinium conformément à la présente invention ;

la figure 18 est une vue décrivant la relation entre le nombre de barres de combustible que l'on peut remplacer par une barre pour l'eau, ainsi que la valeur absolue du coefficient de vide de réactivité ;

la figure 19 est une vue du mode opérationnel représentant le facteur de multiplication infinie du combustible MOX et du combustible d'uranium;

la figure 20A est une vue représentant le paramètre le plus approprié pour une barre de combustible contenant le composé de gadolinium de l'assemblage de combustible MOX et la figure 20B est une vue représentant la concentration de composé de gadolinium la plus appropriée pour la barre de combustible contenant le composé de gadolinium ;

la figure 21 est une vue du mode opérationnel représentant le facteur de multiplication infinie du combustible MOX et du combustible d'uranium;

la figure 22 est une vue représentant les caractéristiques du rapport croissant du rendement maximal par rapport à la longueur axiale de la portion

d'enveloppe d'uranium naturel, ainsi que l'effet amélioré sur l'économie de combustible ;

la figure 23 est une vue décrivant le fait de prévoir une différence quant à l'enrichissement
5 dans la portion centrale et dans la portion inférieure de l'assemblage de combustibles ;

la figure 24 est une vue en coupe représentant la conception de l'assemblage de combustibles pour le noyau à grille D selon la
10 présente invention ;

la figure 25 est une vue en coupe d'un exemple de l'assemblage de combustibles destiné au noyau à grille D, auquel s'applique la présente invention ;

15 la figure 26 est une vue représentant la structure axiale de l'assemblage de combustibles de la figure 25 ;

la figure 27 est une vue représentant la répartition relative de sortie des barres de
20 combustible respectives pour l'assemblage de combustibles de la figure 25 ;

la figure 28 est une vue en coupe représentant la conception de l'assemblage de combustibles pour le noyau à grille C selon la
25 présente invention ;

la figure 29 est une vue en coupe d'un exemple de l'assemblage de combustibles destiné au noyau à grille C, auquel s'applique l'invention ;

30 la figure 30 est une vue représentant la structure axiale de l'assemblage de combustibles de la figure 29 ; et

la figure 31 est une vue représentant la répartition relative de sortie pour les barres de combustible respectives de l'assemblage de
35 combustibles de la figure 29.

Description des formes de réalisation préférées

Ci-après, on décrira des formes de réalisation préférées d'un assemblage de combustibles selon la présente invention, en se référant aux dessins annexés.

Tout d'abord, les figures 1 et 2 représentent un assemblage de combustibles 22 d'une forme de réalisation du type comprenant des barres de combustible remplaçables, destinées à un noyau BWR, l'assemblage de combustibles 22 comprenant des barres de combustible 19, un caisson 20 muni de voies, une barre pour l'eau 10, une barre inférieure de raccordement, une barre supérieure de raccordement, ainsi que des écarteurs. Les extrémités supérieure et inférieure des barres de combustible 19 et de la barre 10 pour l'eau sont supportées par les barres de raccordement supérieure et inférieure (aucune des deux n'étant représentée), respectivement. Plusieurs écarteurs (non représentés) sont disposés en direction axiale des barres de combustible 19 afin de maintenir adéquatement des espaces libres entre les barres de combustible 19 et la barre pour l'eau 10. Le caisson 20 muni de voies est fixé à la plaque supérieure de raccordement de façon à entourer la périphérie externe d'un faisceau de barres de combustible 19 supportées par les écarteurs. Une attache destinée aux voies est fixée à la plaque supérieure de raccordement. En figure 1, le chiffre de référence 21 désigne une barre de réglage destinée à venir se disposer dans le noyau.

On prépare chacune des barres de combustible 19 en chargeant plusieurs pastilles de combustible dans une gaine dont les deux extrémités sont scellées par des bouchons supérieur et inférieur, non

représentés. On prépare chacune des pastilles de combustible par agglomération d'un oxyde d'une matière combustible et qui englobe, par conséquent, une matière fossile, et on presse la pastille de combustible vers le bas à l'intervention d'un organe à ressort disposé dans un espace où règne un gaz en surpression, qui est formé dans la gaine.

La barre 10 pour l'eau est également constituée de la même gaine que celle de la barre de combustible 19, mais on n'y charge pas de matière de combustible et elle est munie de trous aux surfaces latérales de ses portions d'extrémités supérieure et inférieure, dans le but de faire passer un réfrigérant non bouilli dans la gaine.

Habituellement, dans le noyau BWR, on insère les barres de réglage 21 en croix par rapport à quatre faisceaux d'assemblages de combustibles, comme représenté en figure 1. Ce noyau BWR englobe un noyau à grille D dans lequel on a prévu un espace pour l'eau du côté de l'assemblage de combustibles opposé aux barres de réglage 21, de façon à obtenir une largeur d'espace libre supérieure à celle d'un autre espace libre pour l'eau formé du côté de l'assemblage de combustibles qui n'est pas opposé à la barre de réglage 21, ainsi qu'un noyau à grille C dans lequel on prévoit un espace libre pour l'eau du côté de l'assemblage de combustibles opposé aux barres de réglage 21, de façon à obtenir une largeur d'espace libre égale à celle d'un autre espace libre pour l'eau formé du côté de l'assemblage de combustibles qui n'est pas opposé à la barre de réglage 21.

L'assemblage de combustibles 22 de la présente forme de réalisation consiste en un assemblage de combustibles destinés à être chargés dans le noyau à grille D. Les barres de combustible

19 constituant l'assemblage de combustibles 22 englobent huit types de barres de combustible 11 à 18, comme représenté en figure 2 et on dispose ces types de barres de combustible 11 à 18 dans le caisson 20
5 muni de voies, comme représenté en figure 1. Les extrémités inférieures dans la figure 2 et le tableau 1 représentent une région garnie de matière de combustible (désignée ci-après par l'expression "région ou portion effective de combustible") dans la
10 barre de combustible, les extrémités inférieure et supérieure constituant une région dont la longueur représente chaque fois $1/24$ de la portion effective de la barre de combustible.

Tableau 1

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)	0 ~ $\frac{1}{24}$ $\frac{1}{24}$ ~ $\frac{10}{24}$ $\frac{10}{24}$ ~ $\frac{20}{24}$ $\frac{20}{24}$ ~ $\frac{23}{24}$ $\frac{23}{24}$ ~ $\frac{24}{24}$				
	11	0.71 8.0 0.0			
12	0.71 6.5 0.0				
13	0.71 5.0 0.0				
14	0.71 2.3 0.0				
15	0.71 1.0 0.0				
16	0.71	3.8	4.8	3.8	0.71
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0
17	0.71	3.8	4.8	3.8	0.71
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	2.0	2.0	1.0	0.0
18	0.71	3.8	4.8	3.8	0.71
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)

Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)

Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)

enrichissement de U-235 de 0,71 % en poids = uranium naturel

Les barres de combustible 11 à 15 sont des barres de combustible MOX. La barre de combustible 11 comprend un mélange d'uranium naturel (U-235) à raison de 0,71% en poids et de plutonium (Pu) à raison de 8,0% en poids. Les barres de combustible 12, 13, 14 et 15 comprennent également des mélanges d'uranium naturel et de plutonium à raison de 6,5% en poids, de 5,0% en poids, de 2,3% en poids et de 1,0% en poids, respectivement.

Les barres de combustible 16, 17 et 18 sont des barres de combustible contenant le poison consommable et les extrémités supérieure et inférieure de ces barres de combustible sont garnies d'uranium naturel, la longueur de chacune des extrémités supérieure et inférieure constituant une région qui représente 1/24 de la longueur de la portion effective de combustible (désignées ci-après simplement par l'expression "portion ou région 1/24").

En considérant la barre de combustible 16, on garnit une région s'étendant entre 1/24 et 10/24 de la portion effective de combustible (désignée ci-après par l'expression "portion inférieure") d'un combustible préparé à l'aide d'un mélange d'uranium comprenant du U-235 enrichi à raison de 3,8% en poids, et un composé de gadolinium à raison de 3,0% en poids. On garnit une région s'étendant entre 10/24 et 20/24 de la portion effective de combustible (désignée ci-après par l'expression "portion centrale") d'un combustible préparé à l'aide d'un mélange d'uranium comprenant du U-235 enrichi à raison de 4,8% en poids et un composé de gadolinium à raison de 2,0% en poids, et on garnit une région s'étendant entre 20/24 et 23/24 de la portion effective de combustible (désignée ci-après par l'expression "portion supérieure") d'un combustible préparé à l'aide d'un mélange d'uranium

comprenant du U-235 enrichi à raison de 3,8% en poids et un composé de gadolinium à raison de 1,0% en poids.

De manière analogue, en considérant la barre de combustible 17, on garnit la portion inférieure d'un combustible préparé à l'aide d'un mélange d'uranium comprenant du U-235 enrichi à raison de 3,8% en poids et un composé de gadolinium à raison de 2,0% en poids. On garnit la portion centrale d'un combustible préparé à l'aide d'un mélange d'uranium comprenant du U-235 enrichi à raison de 4,8% en poids et un composé de gadolinium à raison de 2,0% en poids et on garnit la portion supérieure d'un combustible préparé à l'aide d'un mélange d'uranium comprenant du U-235 enrichi à raison de 3,9% en poids et un composé de gadolinium à raison de 1,0% en poids. En outre, en considérant la barre de combustible 18, on garnit la portion inférieure d'un combustible préparé à l'aide d'un mélange d'uranium comprenant du U-235 enrichi à raison de 3,8% en poids et un composé de gadolinium à raison de 2,0% en poids. On garnit la portion centrale d'un combustible préparé à l'aide d'un mélange d'uranium comprenant du U-235 enrichi à raison de 3,8% en poids et un composé de gadolinium à raison de 4,0% en poids et on garnit la portion supérieure d'un combustible préparé à l'aide d'un mélange d'uranium comprenant du U-235 enrichi à raison de 3,8% en poids et un composé de gadolinium à raison de 1,0% en poids.

Conformément à cette forme de réalisation, comme représenté en figure 1, on dispose une barre pour l'eau ayant une superficie de section correspondant à celle de quatre barres de combustible, dans la portion centrale de l'assemblage de combustibles. La raison pour laquelle on garnit d'uranium naturel les régions supérieure et inférieure

représentant une région d'une longueur $1/24$, réside dans l'amélioration de l'utilisation effective des neutrons thermiques dans toute la structure du noyau.

Dans cette forme de réalisation, les barres de combustible MOX représentées par les barres de combustible 11 à 15 exemptes de répartition axiale ont été choisies d'un point de vue de coût de fabrication mais, comme indiqué dans le tableau 2, on peut envisager un cas dans lequel les extrémités supérieure et inférieure des barres de combustible MOX comprennent uniquement de l'uranium naturel qui ne renferme aucun mélange de plutonium et dans lequel on augmente la quantité de plutonium dans les régions dont la longueur correspond à la région $1/24$ à $3/24$ des barres de combustible, de manière correspondante à la quantité retirée des régions supérieure et inférieure. Conformément à cet exemple modifié, la quantité de plutonium contenu dans ces régions augmente d'environ 10%, donnant ainsi lieu à l'amélioration de l'utilisation effective des neutrons thermiques.

Tableau 2

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)	0 ~ $\frac{1}{24}$		$\frac{1}{24}$ ~ $\frac{10}{24}$		$\frac{10}{24}$ ~ $\frac{20}{24}$		$\frac{20}{24}$ ~ $\frac{23}{24}$		$\frac{23}{24}$ ~ $\frac{24}{24}$	
11	0.71		0.71		0.71		0.71		0.71	
	0.0		8.7		0.0		0.0		0.0	
	0.0		0.0		0.0		0.0		0.0	
12	0.71		0.71		0.71		0.71		0.71	
	0.0		7.1		0.0		0.0		0.0	
	0.0		0.0		0.0		0.0		0.0	
13	0.71		0.71		0.71		0.71		0.71	
	0.0		5.5		0.0		0.0		0.0	
	0.0		0.0		0.0		0.0		0.0	
14	0.71		0.71		0.71		0.71		0.71	
	0.0		2.5		0.0		0.0		0.0	
	0.0		0.0		0.0		0.0		0.0	
15	0.71		0.71		0.71		0.71		0.71	
	0.0		1.1		0.0		0.0		0.0	
	0.0		0.0		0.0		0.0		0.0	
16	0.71	3.8	4.8	3.8	0.71					
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0					
17	0.71	3.8	4.8	3.8	0.71					
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
	0.0	2.0	2.0	1.0	0.0					
18	0.71	3.8	4.8	3.8	0.71					
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0					

Numéro de la barre de combustible

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)
 Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)
 Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)
 enrichissement de U-235 à raison de 0,71% = uranium naturel

Dans cette forme de réalisation, les longueurs des régions supérieure et inférieure, désignées ci-après par l'expression "portions de couverture", dans lesquelles la concentration en matière fossile est moindre, sont déterminées comme ayant $1/24$ noeuds, respectivement, mais on peut augmenter ou diminuer ces longueurs. Lorsqu'on augmente la longueur de la portion de couverture, la concentration de la matière fossile chargée dans la portion centrale de l'assemblage de combustibles augmente, ainsi que la maximalisation du rendement en direction axiale à la portion centrale, ce qui diminue la marge thermique. En conséquence, il est nécessaire de déterminer la longueur de la portion de couverture par rapport à la marge thermique mais, dans le cas où la marge thermique est grande, comme l'est le noyau, on peut amener la longueur de la portion supérieure de couverture à $1/24$ de la longueur de la portion effective.

Comme représenté en figure 22, on améliore la réactivité du noyau en augmentant les régions supérieure et inférieure de couverture contenant de l'uranium naturel et partant, on améliore également l'économie de combustible. Toutefois, on augmente la maximalisation axiale et on diminue la marge thermique. Le degré de l'amélioration de l'économie de combustible par rapport à l'augmentation de la maximalisation axiale, diminue à mesure que l'on augmente la région de couverture. Dans le cas du noyau BWR qui est plus classique que ce type de noyau, il peut être préférable de prévoir une longueur de portion supérieure de couverture d'environ $1/24$ à $2/24$ de la portion effective et de prévoir une longueur de la portion inférieure de couverture correspondant à

environ $1/24$ de la portion effective, en tenant compte de la marge thermique.

Dans les figures 3 et 4 et dans les tableaux 3 et 4, on représente un exemple modifié dans lequel la portion supérieure de la barre de combustible a une longueur de couverture correspondant à $2/24$ de la portion effective.

Tableau 3

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)	0 ~ $\frac{1}{24}$		$\frac{1}{24}$ ~ $\frac{10}{24}$		$\frac{10}{24}$ ~ $\frac{20}{24}$		$\frac{20}{24}$ ~ $\frac{23}{24}$		$\frac{23}{24}$ ~ $\frac{24}{24}$	
	11	0.71				0.71				0.71
	0.0				8.7				0.0	
	0.0				0.0				0.0	
12	0.71				0.71				0.71	
	0.0				7.1				0.0	
	0.0				0.0				0.0	
13	0.71				0.71				0.71	
	0.0				5.5				0.0	
	0.0				0.0				0.0	
14	0.71				0.71				0.71	
	0.0				2.5				0.0	
	0.0				0.0				0.0	
15	0.71				0.71				0.71	
	0.0				1.1				0.0	
	0.0				0.0				0.0	
16	0.71	3.8			4.8	3.8			0.71	
	0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	
	0.0	3.0			2.0	1.0			0.0	
17	0.71	3.8			4.8	3.8			0.71	
	0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	
	0.0	2.0			2.0	1.0			0.0	
18	0.71	3.8			4.8	3.8			0.71	
	0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	
	0.0	3.0			2.0	1.0			0.0	

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)

Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)

Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)

enrichissement de U-235 à raison de 0,71% = uranium naturel

Tableau 4

Position axiale (à partir de de l'extrémité inférieure)	0 ~ $\frac{1}{24}$		$\frac{1}{24}$ ~ $\frac{10}{24}$		$\frac{10}{24}$ ~ $\frac{15}{24}$		$\frac{15}{24}$ ~ $\frac{19}{24}$		$\frac{19}{24}$ ~ $\frac{22}{24}$		$\frac{22}{24}$ ~ $\frac{24}{24}$	
	31	0.71 9.0 0.0										
32	0.71 7.5 0.0											
33	0.71 5.3 0.0											
34	0.71 2.0 0.0											
35	0.71 0.0 0.0	4.0 0.0 3.0	4.9 2.5 0.0	4.0 1.5 0.0	3.8 0.0 1.0							
36	0.71 0.0 0.0	3.8 0.0 2.0	4.9 2.5 0.0	4.0 1.5 0.0	3.8 0.0 1.0							
37	-	0.71 9.0	-									

Numéro de
la barre
de combustible

Niveau supérieur : enrichissement de U-235
 Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)
 Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)
 enrichissement de U-235 à raison de 0,71% = uranium naturel

L'assemblage de combustibles 22 de cette forme de réalisation est du type capable d'être chargé dans le noyau à grille C et les barres de combustible 31 à 34 et 37 représentent les barres de combustible MOX. La barre de combustible 37 est du type ayant une portion effective de combustible courte, différente de celle des autres barres de combustible. Les barres de combustible 35 et 36 sont du type dans lesquelles on mélange le poison consommable.

On peut envisager de faire en sorte que les portions de couverture soient composées d'un uranium retraité-recyclé ou d'uranium appauvri, au lieu de l'uranium naturel. De telles formes de réalisation sont représentées dans les tableaux 5 et 6, ces formes de réalisation étant modifiées par rapport à celles représentées dans les figures 1 et 2 et dans le tableau 1, l'agencement du combustible étant essentiellement égal à celui de la figure 1. Les effets de la localisation des portions de couverture dans ces formes de réalisation sont essentiellement les mêmes que ceux obtenus par la barre de combustible garnie d'uranium naturel.

Tableau 5

Position axiale (à partir de de l'extrémité inférieure)		0 ~ $\frac{1}{24}$		$\frac{1}{24}$ ~ $\frac{10}{24}$		$\frac{10}{24}$ ~ $\frac{20}{24}$		$\frac{20}{24}$ ~ $\frac{23}{24}$		$\frac{23}{24}$ ~ $\frac{24}{24}$	
Numéro de la barre combusti- ble	11	0.71									
		8.0									
		0.0									
	12	0.71									
		6.5									
		0.0									
	13	0.71									
		5.0									
		0.0									
	14	0.71									
		2.3									
		0.0									
15	0.71										
	1.0										
	0.0										
16	0.90	3.6	4.6	3.6	0.90						
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0						
17	0.90	3.6	4.6	3.6	0.90						
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
	0.0	2.0	2.0	1.0	0.0						
18	0.90	3.6	4.6	3.6	0.90						
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0						

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)

Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)

Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)

enrichissement de U-235 à raison de 0,71% en poids = uranium nat.

enrichissement de U-235 à raison de 0,90% en poids = uranium

retraité-recyclé

Tableau 6

Position
axiale
(à partir de
l'extrémité
inférieure)

Numéro de
la barre de
combustible

	$0 \sim \frac{1}{24}$	$\frac{1}{24} \sim \frac{10}{24}$	$\frac{10}{24} \sim \frac{20}{24}$	$\frac{20}{24} \sim \frac{23}{24}$	$\frac{23}{24} \sim \frac{24}{24}$
11	0.71 8.0 0.0				
12	0.71 6.5 0.0				
13	0.71 5.0 0.0				
14	0.71 2.3 0.0				
15	0.71 1.0 0.0				
16	0.25 0.0 0.0	4.2 0.0 3.0	5.2 0.0 2.0	4.2 0.0 1.0	0.25 0.0 0.0
17	0.25 0.0 0.0	4.2 0.0 2.0	5.2 0.0 2.0	4.2 0.0 1.0	0.25 0.0 0.0
18	0.25 0.0 0.0	4.2 0.0 3.0	5.2 0.0 2.0	4.2 0.0 1.0	0.25 0.0 0.0

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)

Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)

Niv. inf. : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)

enrich. de U-235 à raison de 0,71% en p. = uranium naturel

enrich. de U-235 à raison de 0,25 % en p. = uranium appauvri

Dans les formes de réalisation précédentes, on procède à un enrichissement du combustible d'uranium des régions (20/24 à 23/24) situées en dessous des portions supérieures de couverture des barres de combustible 16, 17 et 18, à raison de 3,8% en poids, à savoir le même que celui des régions 1/24 à 10/24 situées en dessous de la portion centrale (10/24 à 24/24). On met en oeuvre cette caractéristique dans le but d'augmenter la marge d'arrêt d'urgence du noyau, mais, dans le but d'améliorer davantage cet effet, on peut envisager de réduire davantage l'enrichissement de ces régions ou d'augmenter les longueurs de ces régions. Cette forme de réalisation est représentée par les tableaux 7 et 8 ci-après, dans lesquels l'agencement des barres de combustible est essentiellement égal à celui représenté en figure 1.

Tableau. 7

Position
axiale
(à partir de
l'extrémité
inférieure)

numéro de la
barre de
combustible

	$0 \sim \frac{1}{24}$	$\frac{1}{24} \sim \frac{10}{24}$	$\frac{10}{24} \sim \frac{20}{24}$	$\frac{20}{24} \sim \frac{23}{24}$	$\frac{23}{24} \sim \frac{24}{24}$
11			0.71 8.0 0.0		
12			0.71 6.5 0.0		
13			0.71 5.0 0.0		
14			0.71 2.3 0.0		
15			0.71 1.0 0.0		
16	0.71 0.0 0.0	4.1 0.0 3.0	5.1 0.0 2.0	3.6 0.0 1.0	0.71 0.0 0.0
17	0.71 0.0 0.0	4.1 0.0 2.0	5.1 0.0 2.0	3.6 0.0 1.0	0.71 0.0 0.0
18	0.71 0.0 0.0	4.1 0.0 3.0	4.8 0.0 2.0	3.6 0.0 1.0	0.71 0.0 0.0

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)

Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)

Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)
enrichissem. de U-235 à raison de 0,71% en p. = uranium naturel

Tableau 8

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)	Numéro de la barre de combustible				
	0 ~ $\frac{1}{24}$	$\frac{1}{24}$ ~ $\frac{10}{24}$	$\frac{10}{24}$ ~ $\frac{20}{24}$	$\frac{20}{24}$ ~ $\frac{23}{24}$	$\frac{23}{24}$ ~ $\frac{24}{24}$
11	0.71 8.0 0.0				
12	0.71 6.5 0.0				
13	0.71 5.0 0.0				
14	0.71 2.3 0.0				
15	0.71 1.0 0.0				
16	0.71 0.0 0.0	3.8 0.0 3.0	4.8 0.0 2.0	3.8 0.0 1.0	0.71 0.0 0.0
17	0.71 0.0 0.0	3.8 0.0 2.0	4.8 0.0 2.0	3.8 0.0 1.0	0.71 0.0 0.0
18	0.71 0.0 0.0	3.8 0.0 3.0	4.8 0.0 2.0	3.8 0.0 1.0	0.71 0.0 0.0

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)
 Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)
 Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)
 enrichiss. de U-235 à raison de 0,71% en poids =
 uranium naturel

En outre, par rapport à une installation munie d'une marge adéquate d'arrêt d'urgence de noyau, on peut rendre l'enrichissement de ces régions essentiellement égal à celui des portions centrales des barres de combustible. Une telle forme de réalisation sera représentée par le tableau 9 ci-après, à savoir un exemple modifié des figures 1 et 2 et du tableau 1, l'agencement des barres de combustible étant essentiellement égal à celui de la figure 1.

Tableau 9

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)	Numéro de la barre de combustible				
	$0 \sim \frac{1}{24}$	$\frac{1}{24} \sim \frac{10}{24}$	$\frac{10}{24} \sim \frac{20}{24}$	$\frac{20}{24} \sim \frac{23}{24}$	$\frac{23}{24} \sim \frac{24}{24}$
11	0.71				
	8.0				
	0.0				
12	0.71				
	6.5				
	0.0				
13	0.71				
	5.0				
	0.0				
14	0.71				
	2.3				
	0.0				
15	0.71				
	1.0				
	0.0				
16	0.71	4.1	5.1	5.1	0.71
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0
17	0.71	4.1	5.1	3.6	0.71
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	2.0	2.0	1.0	0.0
18	0.71	4.1	4.8	3.6	0.71
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)
 Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)
 Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)

Dans les formes de réalisation précédentes, on met en oeuvre un enrichissement des régions 1/24 à 10/24 des portions inférieures des barres de combustible 16, 17, 18, 35 et 36, inférieur à celui des portions centrales 10/24 à 20/24. Cette caractéristique a pour but d'éliminer la distorsion de la répartition de sortie en direction axiale au sein du noyau, à sa portion inférieure, et d'augmenter ainsi la marge thermique. Cet effet est représenté en figure 23 et a essentiellement la même étendue dans le cas où la limite entre la portion inférieure et la portion centrale de la région de combustible, se situe au sein de la région 8/24 à 14/24 de la longueur effective. En outre, dans le cas d'une marge thermique adéquate, il n'est pas nécessaire de définir une telle limite et une forme de réalisation modifiée est représentée par le tableau 10 ci-après, dans lequel l'agencement des barres de combustible est essentiellement égal à celui de la figure 1. Dans cette forme de réalisation, l'enrichissement à raison de 4,3% en poids des portions inférieures des barres de combustible 1, 17 et 18 est essentiellement égal à celui des portions centrales de ces dernières.

Tableau 10

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)	Numéro de la barre de combustible				
	0 ~ $\frac{1}{24}$	$\frac{1}{24}$ ~ $\frac{10}{24}$	$\frac{10}{24}$ ~ $\frac{20}{24}$	$\frac{20}{24}$ ~ $\frac{23}{24}$	$\frac{23}{24}$ ~ $\frac{24}{24}$
11	0.71				
	8.0				
	0.0				
12	0.71				
	6.5				
	0.0				
13	0.71				
	5.0				
	0.0				
14	0.71				
	2.3				
	0.0				
15	0.71				
	1.0				
	0.0				
16	0.71	4.3	4.3	3.8	0.71
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0
17	0.71	4.3	4.3	3.8	0.71
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	2.0	2.0	1.0	0.0
18	0.71	4.3	4.3	3.8	0.71
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)
 Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)
 Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)
 enrichissement de U-235 à raison de 0,71% en poids =
 uranium naturel

Dans les formes de réalisation précédentes, étant donné que la répartition de matière fossile concerne les barres de combustible d'uranium, c'est-à-dire les barres de combustible 16, 17, 18, 35 et 36, 5 on peut escompter obtenir essentiellement le même effet que celui décrit ci-dessus, en remplaçant une partie ou la totalité de ces dernières par les barres de combustible MOX. Cette forme de réalisation est représentée dans le tableau 11 ci-après, dans lequel 10 l'agencement des barres de combustible est essentiellement égal à celui de la figure 1.

Tableau 11

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)	0 ~ $\frac{1}{24}$		$\frac{1}{24}$ ~ $\frac{10}{24}$		$\frac{10}{24}$ ~ $\frac{20}{24}$		$\frac{20}{24}$ ~ $\frac{23}{24}$		$\frac{23}{24}$ ~ $\frac{24}{24}$	
	11					0.71	8.0			
12	0.71				0.71		0.71			
	6.3				6.5		6.3			
	0.0				0.0		0.0			
13					0.71					
					5.0					
					0.0					
14					0.71					
					2.3					
					0.0					
15					0.71					
					1.0					
					0.0					
16	0.71	4.3	4.3	3.8	0.71					
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0					
17	0.71	4.3	4.3	4.3	0.71					
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
	0.0	2.0	2.0	1.0	0.0					
18	0.71	4.3	4.3	4.3	0.71					
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
	0.0	2.0	2.0	1.0	0.0					

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)
 Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)
 Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)

Dans cette forme de réalisation, chaque barre de combustible 12 englobe : une région s'étendant depuis l'extrémité inférieure à la région 10/24 de la portion effective, dans laquelle on mélange du plutonium à raison de 6,3% en poids par rapport à l'uranium naturel ; une région s'étendant au sein de la région 10/24 à 20/24, dans laquelle on mélange du plutonium à raison de 6,8% en poids par rapport à l'uranium naturel ; ainsi qu'une région s'étendant entre la région 20/24 et l'extrémité supérieure, dans laquelle on mélange du plutonium à raison de 6,3% en poids par rapport à l'uranium naturel. En considérant les barres de combustible 16, 17 et 18, la répartition de l'enrichissement consiste en uranium naturel dans les régions s'étendant entre les extrémités supérieure et inférieure et les régions 1/24 à 23/24, et il est de 4,3% en poids dans la région s'étendant entre 1/24 et 23/24. La répartition du poison consommable est essentiellement la même que celle représentée dans les figures 1 et 2 et dans le tableau 1. Les réactivités des sections transversales respectives de l'assemblage de combustibles, dues aux barres de combustible 12, sont essentiellement identiques à celles indiquées dans les figures 1 et 2 et dans le tableau 1 et on obtient essentiellement les mêmes effets que ceux décrits ci-dessus.

En considérant la répartition du poison consommable comme représenté dans les figures 1 et 2 et dans le tableau 1, le poison consommable n'existe pas dans les régions allant de l'extrémité inférieure à la région 1/24 et de la portion supérieure 23/24 à la région 24/24 des barres de combustible 16, 17 et 18 et on diminue la répartition du poison consommable dans les régions de 20/24 à 23/24, par rapport à celle présente dans la région constituée par la portion

centrale et la portion inférieure, à savoir la région 1/24 à 20/24, ceci ayant pour but de réduire la portion non consommée du poison consommable et de diminuer la perte de réactivité.

5 En outre, dans les régions inférieures de 1/24 à 10/24 des barres de combustible 16, 18, 35 et 36, on augmente la concentration du poison consommable de 1% par rapport aux régions centrales de 10/24 à 20/24 des barres de combustible, ceci ayant pour but
10 de supprimer la distorsion quant à la sortie à la portion inférieure du noyau. En se référant à la forme de réalisation de la figure 2, les barres de combustible 16 et 18 présentent une même répartition de poison consommable, mais des répartitions
15 différentes quant à la concentration, ce qui résulte du fait que, étant donné la disposition de la barre de combustible 18 à proximité de l'espace libre pour l'eau muni d'une grande largeur, la sortie étant ainsi susceptible d'augmenter, on diminue la concentration
20 afin de supprimer ainsi l'augmentation quant à la sortie. Dans le cas où la même barre de combustible comprend des régions ayant différentes concentrations quant au poison consommable, il est souhaitable, du point de vue de la fabrication, de faire en sorte que
25 la différence quant à la concentration, soit supérieure de plus de 1% à la portion limite, mais, du point de vue de la suppression de la distorsion quant à la sortie à la portion inférieure du noyau, il peut être souhaitable que la différence quant à la
30 concentration, soit d'environ 0,5%. C'est ainsi que, dans cette forme de réalisation, on dispose de trois types de barres de combustible 16, 17 et 18, dans laquelle on met en oeuvre une différence quant à leur concentration de poison consommable d'environ 0,5% en
35 moyenne.

Dans les formes de réalisation précédentes, étant donné que l'on mélange le poison consommable avec les barres de combustible d'uranium, il peut être possible de mélanger le poison consommable avec les
5 barres de combustible MOX. Une telle forme de réalisation est représentée par les figures 5 et 6 et dans le tableau 12 ci-après, dans lequel la section transversale de la barre 10 pour l'eau correspond essentiellement à celle de neuf barres de combustible.

Tableau 12

Position axiale
(à partir de
l'extrémité inférieure)

	0 ~ $\frac{1}{24}$	$\frac{1}{24}$ ~ $\frac{12}{24}$	$\frac{13}{24}$ ~ $\frac{23}{24}$	$\frac{23}{24}$ ~ $\frac{24}{24}$
41	0.71 0.0 0.0	0.71 9.0 0.0		0.71 0.0 0.0
42	0.71 0.0 0.0	0.71 7.5 0.0		0.71 0.0 0.0
43	0.71 0.0 0.0	0.71 5.3 0.0		0.71 0.0 0.0
44	0.71 0.0 0.0	0.71 2.0 0.0		0.71 0.0 0.0
45	0.71 0.0 0.0	0.71 5.3 3.5	0.71 5.3 2.5	0.71 0.0 0.0
46	0.71 0.0 0.0	4.3 5.3 3.5	0.71 5.3 0.0	0.71 0.0 0.0

Numéro de la
barre de
combustible

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)
Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)
Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)
enrichissement de U-235 à raison de 0,71% en poids =
uranium naturel

En se référant à la figure 6, la barre de combustible 45 comprend des régions axiales parmi lesquelles : les régions 1/24 des extrémités supérieure et inférieure constituées d'uranium naturel, la région 1/24 à 12/24 constituée du mélange de combustible d'uranium naturel, de plutonium à raison de 5,3% en poids et d'un composé de gadolinium à raison de 3,5% en poids comme poison consommable, ainsi que la région 13/24 à 23/24 constituée du mélange de combustible d'uranium naturel, de plutonium à raison de 5,3% et d'un composé de gadolinium à raison de 2,5% en poids, comme poison consommable. La barre de combustible 46 comprend des régions axiales parmi lesquelles : les régions 1/24 des extrémités supérieure et inférieure contenant de l'uranium naturel, la région 1/24 à 12/24 contenant un mélange de combustible d'uranium naturel et de plutonium à raison de 5,3% en poids, ainsi que la région 13/24 à 23/24 contenant le mélange de combustible d'uranium naturel, de plutonium à raison de 5,3% en poids et de composé de gadolinium à raison de 3,5% en poids, comme poison consommable.

En outre, dans les figures 7 et 8, ainsi que dans le tableau 13 et dans les figures 9 et 10, ainsi que dans le tableau 14, on représente d'autres formes de réalisation dans lesquelles on mélange le poison consommable avec la barre de combustible MOX. Dans la première forme de réalisation, les barres de combustible mélangées avec le poison consommable et les barres de combustible ayant des répartitions différentes de la quantité mélangée de plutonium, à l'exception de la région de couverture, sont disposées séparément et, dans la dernière forme de réalisation, une portion des barres de combustible dans laquelle le

poison consommable est mélangé, présente une répartition différente de quantité de plutonium.

Tableau 13

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)	0 ~ $\frac{1}{24}$		$\frac{1}{24}$ ~ $\frac{10}{24}$		$\frac{10}{24}$ ~ $\frac{15}{24}$		$\frac{15}{24}$ ~ $\frac{19}{24}$		$\frac{19}{24}$ ~ $\frac{23}{24}$		$\frac{23}{24}$ ~ $\frac{24}{24}$	
51	0.71				0.71						0.71	
	0.0				9.9						0.0	
	0.0				0.0						0.0	
52	0.71	0.71			0.71						0.71	
	0.0	8.3			9.9						0.0	
	0.0	0.0			0.0						0.0	
53	0.71				0.71						0.71	
	0.0				8.3						0.0	
	0.0				0.0						0.0	
54	0.71				0.71						0.71	
	0.0				5.8						0.0	
	0.0				0.0						0.0	
55	0.71				0.71						0.71	
	0.0				2.2						0.0	
	0.0				0.0						0.0	
56	0.71	0.71			0.71				0.71		0.71	
	0.0	5.8			5.8				5.8		0.0	
	0.0	3.0			2.0				1.0		0.0	
57	0.71				0.71				0.71		0.71	
	0.0				5.8				5.8		0.0	
	0.0				2.0				1.0		0.0	
58	-				0.71				-			
					9.9							
					0.0							

Niveau supérieur : enrichissement de U-235

Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)

Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)

Tableau 14

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)	Position axiale					
	0 ~ $\frac{1}{24}$	$\frac{1}{24}$ ~ $\frac{10}{24}$	$\frac{10}{24}$ ~ $\frac{15}{24}$	$\frac{15}{24}$ ~ $\frac{19}{24}$	$\frac{19}{24}$ ~ $\frac{23}{24}$	$\frac{23}{24}$ ~ $\frac{24}{24}$
61	0.71		0.71			0.71
	0.0		10.3			0.0
	0.0		0.0			0.0
62	0.71		0.71			0.71
	0.0		8.6			0.0
	0.0		0.0			0.0
63	0.71		0.71			0.71
	0.0		6.1			0.0
	0.0		0.0			0.0
64	0.71		0.71			0.71
	0.0		2.3			0.0
	0.0		0.0			0.0
65	0.71	0.71	0.71		0.71	0.71
	0.0	8.6	10.3		8.6	0.0
	0.0	3.5	2.5		1.5	0.0
66	0.71		0.71		0.71	0.71
	0.0		10.3		8.6	0.0
	0.0		2.5		1.5	0.0
67	-	0.71 10.3 0.0			-	

Numéro de
la barre de
combustible

Niveau supérieur : enrichissement de U-235

Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)

Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)

enrichissement de U-235 à raison de 0,71% en poids =
uranium naturel

Dans les formes de réalisation précédentes, on améliore le rapport de l'eau au combustible, c'est-à-dire le rapport eau-combustible, par rapport à des combustibles conventionnels. Par exemple, dans la
5 forme de réalisation de la figure 1, une barre pour l'eau occupant une superficie correspondant à celle de quatre barres de combustible, c'est-à-dire environ 6% des barres de combustible, remplace les barres de combustible. Les rapports dans les formes de
10 réalisation des figures 3 et 5, sont d'environ 9% et 11%, respectivement. Comme décrit ci-avant, conformément aux formes de réalisation de la présente invention, on peut effectivement supprimer la dégradation de la marge d'arrêt d'urgence du noyau due
15 au chargement du combustible MOX dans le noyau.

Le nombre des barres de combustible mélangées avec le poison consommable va de 7 à 9 des barres conventionnelles remplaçables de combustible pour BWR, ce qui représente à peu près moins de 15% du
20 nombre total des barres de combustible. Par ailleurs, par rapport à la forme de réalisation représentée en figure 1, le nombre des barres de combustible MOX est de 46, ce qui correspond à environ 77% du nombre total des barres de combustible et le nombre des barres de
25 combustible mélangées avec le poison consommable est de 14, ce qui représente environ 23% du nombre total de ces dernières. Par rapport à la forme de réalisation de la figure 3, le nombre des barres de combustible MOX est de 58, ce qui représente environ
30 76% du nombre total des barres de combustible et le nombre des barres de combustible mélangées avec le poison consommable est de 18, ce qui représente environ 24% du nombre total de ces dernières. Par rapport à la forme de réalisation de la figure 5, le
35 rapport d'occupation des barres de combustible MOX est

de 100% et celui des barres de combustible mélangées avec le poison consommable est d'environ 24%.

La concentration du composé de gadolinium va de 1 à 3,5% en poids. On peut rendre les caractéristiques de réactivité identiques à celles du combustible d'uranium, en rendant la quantité de mélange du poison consommable la plus appropriée possible, garantissant ainsi suffisamment la marge d'arrêt d'urgence du réacteur et la marge thermique.

10 Dans les formes de réalisation précédentes, l'uranium auquel on mélange le plutonium est l'uranium naturel.

Ci-dessous, on décrira des formes de réalisation dans lesquelles on utilise de l'uranium appauvri ou de l'uranium recyclé à la place d'uranium naturel.

Le tableau 15 représente une forme de réalisation dans laquelle on mélange le plutonium avec de l'uranium appauvri (U-235 enrichi à raison de 0,25% en poids) et l'agencement des barres de combustible est essentiellement le même que celui de la figure 1. On augmente la concentration du plutonium de 0,4% par rapport aux barres de combustible 11 à 15, étant donné que l'augmentation quant à la concentration de plutonium compense, quant à la réactivité, la diminution de la concentration de U-235 de 0,71% en poids à 0,25% en poids.

Tableau 15

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)					
	$0 \sim \frac{1}{24}$	$\frac{1}{24} \sim \frac{10}{24}$	$\frac{10}{24} \sim \frac{20}{24}$	$\frac{20}{24} \sim \frac{23}{24}$	$\frac{23}{24} \sim \frac{24}{24}$
11	0.25				
	8.4				
	0.0				
12	0.25				
	6.9				
	0.0				
13	0.25				
	5.4				
	0.0				
14	0.25				
	2.7				
	0.0				
15	0.25				
	1.4				
	0.0				
16	0.71	3.8	4.8	3.8	0.71
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0
17	0.71	3.8	4.8	3.8	0.71
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	2.0	2.0	1.0	0.0
18	0.71	3.8	4.8	3.8	0.71
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0

Numéro de la barre de combustible

Niveau sup. : enrichissement de U-235 (% en poids)
 Niveau interm. : plutonium (% en poids)
 Niveau inf. : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)
 enrichissement de U-235 à raison de 0,71% en poids = uranium naturel
 enrichissement de U-235 à raison de 0,25% en poids = uranium appauvri

Conformément à cette forme de réalisation, on peut réduire la quantité d'uranium naturel. En outre, on peut augmenter la quantité de plutonium par assemblage de combustibles et partant, on peut
5 diminuer la quantité totale des assemblage de combustible MOX, de telle sorte que l'on peut également diminuer le coût de l'alimentation.

Le tableau 16 représente une forme de réalisation dans laquelle on utilise l'uranium recyclé
10 (U-235 enrichi à raison de 0,8% en poids) et dans laquelle on utilise de l'uranium recyclé pour les portions de couverture des barres de combustible MOX et des barres de combustible d'uranium, ainsi que pour
15 la région de mélange avec le plutonium des barres de combustible MOX, ce qui permet d'économiser la quantité d'uranium naturel, cette forme de réalisation étant ainsi économique.

Tableau 16

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)	0 ~ $\frac{1}{24}$		$\frac{1}{24}$ ~ $\frac{10}{24}$		$\frac{10}{24}$ ~ $\frac{20}{24}$		$\frac{20}{24}$ ~ $\frac{23}{24}$		$\frac{23}{24}$ ~ $\frac{24}{24}$	
11	0.8			0.8					0.8	
	0.0			8.7					0.0	
	0.0			0.0					0.0	
12	0.8			0.8					0.8	
	0.0			7.1					0.0	
	0.0			0.0					0.0	
13	0.8			0.8					0.8	
	0.0			5.5					0.0	
	0.0			0.0					0.0	
14	0.8			0.8					0.8	
	0.0			2.5					0.0	
	0.0			0.0					0.0	
15	0.8			0.8					0.8	
	0.0			1.1					0.0	
	0.0			0.0					0.0	
16	0.8		3.8	4.8		3.8		0.8		
	0.0		0.0	0.0		0.0		0.0		
	0.0		3.0	2.0		1.0		0.0		
17	0.8		3.8	4.8		3.8		0.8		
	0.0		0.0	0.0		0.0		0.0		
	0.0		2.0	2.0		1.0		0.0		
18	0.8		3.8	4.8		3.8		0.8		
	0.0		0.0	0.0		0.0		0.0		
	0.0		3.0	2.0		1.0		0.0		

Niveau supérieur : enrichissement en U-235 (% en poids)

Niveau interm. : plutonium (% en poids)

Niveau inférieur : poison consommable (% en poids) Gd_2O_3
 enrichissement de U-235 à raison de 0,80% en poids =
 uranium recyclé

Dans ces formes de réalisation, on utilise tout l'uranium mélangé avec du plutonium, avec de l'uranium appauvri ou de l'uranium recyclé, mais, en variante, il peut être partiellement remplacé par ce
5 dernier. Dans un tel cas, on peut obtenir essentiellement le même effet.

Dans les formes de réalisation décrites, la longueur de la portion de la barre de combustible, où règne une surpression, est égale à celle de la barre
10 de combustible d'uranium, à l'exception de certaines formes de réalisation.

En outre, le tableau 17 représente une forme de réalisation, à savoir une forme de réalisation modifiée des figures 1 et 2, dans laquelle la longue
15 portion de combustible où règne une surpression, de la barre de combustible MOX, peut être allongée de $1/48$ par rapport à la longueur de la barre de combustible d'uranium. Dans un tel cas, étant donné qu'on allonge la portion de combustible où règne une surpression, de
20 $1/48$ dans la portion supérieure de la barre de combustible, on raccourcit la longueur de la portion effective de combustible de $1/48$, par rapport à la barre de combustible d'uranium. En conséquence, on peut rendre la pression interne régnant dans la barre
25 de combustible égale à celle régnant dans la barre de combustible d'uranium, lorsqu'on procède à la combustion, garantissant ainsi la bonne qualité du combustible.

Tableau 17

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)	0 ~ $\frac{2}{24}$		$\frac{2}{24}$ ~ $\frac{10}{24}$		$\frac{10}{24}$ ~ $\frac{20}{24}$		$\frac{20}{24}$ ~ $\frac{23}{24}$		$\frac{23}{24}$ ~ $\frac{47}{24}$		$\frac{47}{24}$ ~ $\frac{48}{24}$	
	11	0.71										
	8.0											
	0.0											
12	0.71											*
	6.5											
	0.0											
13	0.71											*
	5.0											
	0.0											
14	0.71											*
	2.3											
	0.0											
15	0.71											*
	1.0											
	0.0											
16	0.71	3.8	4.8	3.8	0.71							
	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0							
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0							
17	0.71	3.8	4.8	3.8	0.71							
	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0							
	0.0	2.0	2.0	1.0	0.0							
18	0.71	3.8	4.8	3.8	0.71							
	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0							
	0.0	3.0	2.0	1.0	0.0							

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)
 Niveau intermédiaire : plutonium % en poids
 Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)
 enrichissement de U-235 à raison de 0,71% en poids = uranium naturel
 * espace de combustible où règne une surpression exempt de pastilles de combustible

Dans la forme de réalisation décrite ci-dessus, on allonge la portion supérieure de la barre de combustible, où règne une surpression pour le combustible, mais on peut également allonger la portion inférieure pour le combustible, où règne une surpression et, dans ce cas, on obtiendra essentiellement le même effet.

On peut diminuer la pression interne régnant dans la barre de combustible en allongeant la portion de combustible où règne une surpression, selon une valeur correspondant à la longueur augmentée, mais partant, on diminue la longueur de la portion effective de combustible, ce qui donne lieu à une diminution de la quantité de combustible que l'on doit charger dans le noyau, ce qui diminue l'économie de combustible et tend à diminuer la marge thermique. En évaluant ces faits, il est souhaitable de maintenir l'augmentation de la longueur de la portion de combustible où règne une surpression, de la barre de combustible MOX, dans une longueur correspondant à environ $1/24$ de la longueur effective de combustible de la barre de combustible d'uranium.

Dans la description précédente, on a mentionné les formes des réalisations correspondant au BWR ; des formes de réalisations correspondant à l'assemblage de combustibles du PWR seront décrites ci-après en se référant aux figures 11 et 12, ainsi qu'au tableau 18.

Tableau 18

Position axiale (à partir de l'extrémité inférieure)			
	$0 \sim \frac{2}{24}$	$\frac{2}{24} \sim \frac{22}{24}$	$\frac{22}{24} \sim \frac{24}{24}$
Numéro de la barre de combustible	71	0.71	
		7.0	
		0.0	
	72	0.71	
5.0			
0.0			
73	0.71		
	3.0		
	0.0		
74	0.71	0.71	0.71
	7.0	7.0	7.0
	0.0	3.0	0.0

Niveau supérieur : enrichissement de U-235 (% en poids)
 Niveau intermédiaire : plutonium (% en poids)
 Niveau inférieur : poison consommable Gd_2O_3 (% en poids)

L'assemblage de combustibles 22 de cette forme de réalisation est du type de combustible remplaçable pour le PWR, qui comprend des barres de combustible 19, une chaussette 78 servant de guide
5 pour les instruments de mesure, des chaussettes 79 servant de guides pour les barres de réglage, des barres 10 pour l'eau, des tuyères supérieure et inférieure, ainsi que des grilles de support, non représentées. L'assemblage de combustibles 22 est
10 muni d'une structure de support constituée par vingt-quatre chaussettes 79 servant de guides pour les barres de réglage, une chaussette 78 servant de guide pour les instruments de mesure et neuf grilles de support raccordées à cette dernière. Les barres de
15 combustible 19 et les barres 10 pour l'eau sont insérées dans la structure de support. La chaussette 78 servant de guide pour les instruments de mesure et les chaussettes 79 servant de guides pour les barres de réglage sont fixées aux tuyères supérieure et
20 inférieure, non représentées. La figure 11 représente un agencement de l'assemblage de combustibles 22 sur une portion d'un quart et les agencements des autres portions d'un quart sont spéculairement symétriques par rapport aux axes de symétrie. Les répartitions en
25 direction axiale des barres de combustible 71, 72, 73 et 74 sont représentées en figure 12 et dans le tableau 18. Dans la forme de réalisation de la figure 11, la barre 10 pour l'eau est constituée d'un tube en alliage de zirconium dont les extrémités supérieure et
30 inférieure sont les mêmes que celles de la barre de combustible, tout en étant pourvues de trous supérieur et inférieur à travers lesquels passe un réfrigérant. La figure 13 représente une forme de réalisation modifiée de celle de la figure 12 et, en se référant à
35 la figure 13, on ne dispose pas de barres pour l'eau

et les barres de combustible sont également éliminées. Avec ces formes de réalisation, on peut également obtenir essentiellement les mêmes effets que ceux décrits ci-dessus. Chacune des barres de combustible
5 74 est mélangée avec un composé de gadolinium comme poison consommable et la concentration du composé de gadolinium est nulle aux portions terminales supérieure et inférieure de la barre de combustible
10 74. En conséquence, on peut réduire la portion non consommée du composé de gadolinium aux portions supérieure et inférieure. Dans la forme de réalisation modifiée de la figure 13, les portions terminales supérieure et inférieure sont réalisées en portions de couverture, permettant ainsi d'améliorer
15 la réactivité de l'assemblage de combustibles et, en outre, on peut également améliorer le rapport eau/combustible en diminuant le nombre des barres de combustible ou en remplaçant les barres de combustible avec les barres pour l'eau.

20 La figure 24 représente une forme de réalisation de l'assemblage de combustibles du noyau du réacteur et, en détail, l'assemblage de combustible MOX 22 que l'on doit charger dans le noyau à grille D du BWR, comme pour le réacteur à eau légère.
25 L'assemblage de combustibles 22 est constitué par des barres de combustible 19 agencées en n lignes et en n rangées ($n = 8$ dans cette forme de réalisation), en forme de grille carrée dans un caisson 20 tubulaire carré et muni de voies.

30 L'assemblage de combustible MOX 22 destiné au noyau à grille D est muni d'espaces libres pour l'eau afin de guider de l'eau nucléée non bouillie à température élevée (eau hors voies), entre les caissons 20 munis de voies et la largeur de l'espace
35 libre pour l'eau du côté opposé aux côtés d'insertion

des barres de réglage disposées en croix est supérieure à celle de l'espace vide pour l'eau disposé du côté non opposé aux barres de réglage. Pour cet agencement, le flux de neutrons thermiques, c'est-à-dire la répartition de sortie de chacune des barres de combustible 19, est relativement important à la portion opposée à l'espace libre de grande dimension pour l'eau, par rapport aux autres portions. En particulier, en supposant que la portion de coin du côté insertion de la barre de réglage 21 est occupée par la barre de combustible à coordonnées (1, 1) (dans le caisson muni de voies) et en supposant que la portion diagonalement opposée du caisson muni de voies est occupée par la barre de combustible à coordonnées (n, n), le flux de neutrons thermiques provenant de la barre de combustible (1, 1) est extrêmement élevé et, par conséquent, les flux de neutrons thermiques des barres de combustible (1, 2), (2, 1), (1, n) et (n, 1) augmentent.

La sortie P de la barre de combustible de l'assemblage de combustibles 20 est exprimée comme suit, conformément à la répartition d'un tel flux de neutrons thermiques ϕ_{th} .

$$P \propto \phi_{th} \times \Sigma_f \dots (1)$$

dans laquelle Σ_f représente une section transversale macroscopique d'une matière fissile (uranium, plutonium). A partir de l'équation (1), on règle la sortie P de telle sorte que les sorties relatives entre les barres de combustible respectives 19 ne soient pas extrêmement différentes, en réglant l'enrichissement du plutonium qui est proportionnel à la section transversale macroscopique δ_f .

Dans l'assemblage de combustible MOX 22 destiné au noyau à grille D, on dispose les barres de combustible d'uranium B qui correspondent aux barres de combustible à coordonnées (1, 1), (1, 2), (2, 1), (1, n) et (n, 1) et les barres de combustible MOX correspondent aux autres barres de combustible 19, à l'exception des barres de combustible contenant le poison consommable tel qu'un composé de gadolinium. Dans un tel assemblage de combustibles 22, on utilise trois types de barres de combustible (décrits ci-après) ayant différents enrichissements de Pu pour les barres de combustible MOX et on réduit l'enrichissement de Pu des barres de combustible MOX au nombre de deux types, par rapport à la forme de réalisation des figures 1 et 2, et on utilise une barre de combustible B d'uranium équivalente pour cette réduction. On diminue la réduction de la quantité de plutonium chargée dans un assemblage de combustible MOX 22, par exemple, d'une valeur inférieure à 5%. Cette diminution est mise en oeuvre parce qu'on remplace un plus petit nombre de barres de combustible MOX A par les barres de combustible d'uranium B et partant, on réduit l'enrichissement de Pu dans ces portions.

Bien que cela ne soit pas représenté en figure 24, il peut être possible de faire en sorte que la barre de combustible à coordonnées (1, 1) soit constituée de la barre de combustible d'uranium et de construire les autres barres de combustible, à l'exception de celles contenant le poison consommable, à l'intervention des barres de combustible MOX. Dans un tel cas, il est possible de réduire un type des enrichissements de Pu par rapport à ceux de l'assemblage conventionnel de combustible MOX 1B et,

en conséquence, la quantité réduite de plutonium est extrêmement faible et presque égale à zéro.

Les figures 25 et 26 représentent une forme de réalisation, donnée à titre d'exemple, de l'assemblage de combustible MOX 22 A pour le noyau à grille D, qui constitue un exemple des barres de combustible remplaçables et destinées à être chargées dans le noyau à grille D du BRW, comme pour un réacteur d'eau légère.

L'assemblage de combustibles 22A comprend un faisceau de barres de combustible 19 agencées dans le caisson 20 munie de voies en n lignes et en n rangées (n = 8 à 10), sous forme d'un carré, les barres étant supportées par des écarteurs non représentés. La barre 10 pour l'eau est également disposée essentiellement à la portion centrale du caisson 20 muni de voies. Les extrémités supérieure et inférieure de la barre 10 pour l'eau, ainsi que les barres de combustible 19, sont supportées par les plaques supérieure et inférieure de raccordement, aucune des deux n'étant représentée. Plusieurs écarteurs sont disposés en direction axiale des barres de combustible 19 avec des espaces, afin de maintenir, de manière appropriée, les espaces entre la barre 10 pour l'eau et les barres de combustible 19. Dans l'assemblage de combustibles 22A, les barres de réglage 21 sont également disposées selon un agencement en croix.

Chacune des barres de combustible 19, bien que cela ne soit pas représenté, est composée d'une gaine de combustible que l'on garnit de plusieurs pastilles de combustible et qui présente des extrémités supérieure et inférieure fermées par des bouchons terminaux. On obtient la pastille de combustible en agglomérant la matière de combustible

avec des oxydes, et elle englobe une matière fossile. On pousse les pastilles de combustible vers le bas à l'aide d'un moyen à ressort disposé dans l'espace de la gaine, où règne du gaz en surpression.

5 La barre 10 pour l'eau est constituée d'une gaine ayant la même substance de constitution que celle de la barre de combustible 19, mais on ne charge pas de matière de combustible dans la barre 10 pour l'eau. La barre 10 pour l'eau est munie de portions
10 supérieure et inférieure à surfaces latérales dans lesquelles sont pratiqués des trous, non représentés, à travers lesquels passent le réfrigérant non bouilli, à l'intérieur de la barre 10 pour l'eau.

L'assemblage de combustible MOX 22A destiné
15 à être chargé dans le noyau à grille D est la combinaison des barres de combustible MOX A et des barres de combustible d'uranium B, et les barres de combustible MOX A englobent des barres de combustible
20 A₁ dans lesquelles le plutonium, comme matière de combustible, est mélangé, à raison de 9,5% en poids, par exemple, avec l'uranium naturel (U-235, 0,71% en poids) et comprend également des barres de combustible MOX A₂ et A₃ dans lesquelles les plutoniums sont
25 mélangés, à raison de 3,9% en poids et de 3,0% en poids, par exemple, avec l'uranium naturel, respectivement. Les barres de combustible d'uranium englobent des barres de combustible B1 et B2 contenant U-235 comme matière de combustible ayant des enrichissements à raison de 3,5% en poids et de 2,5%
30 en poids, respectivement. Les barres de combustible C sont des barres de combustible d'uranium contenant le poison consommable du composé de gadolinium par exemple, et elles sont composées de U-235 ayant des enrichissements à raison de 4,9% en poids et de 4,4%

en poids, tout en étant mélangé avec un composé de gadolinium (Gd_2O_3).

La répartition relative de sortie de la section transversale de chaque barre de combustible 19 à la région 1/24 à 20/24 de l'assemblage de combustible MOX 22A représenté en figure 6, est représentée par la figure 27. D'après la figure 27, on peut voir que cette répartition de sortie est à peu près identique à celle de la barre de combustible MOX représentée dans les figures 1 et 2.

La barre de combustible MOX A de l'assemblage de combustible MOX 22A représenté dans les figures 25 et 26, comprend trois types d'enrichissement de Pu et on utilise cinq barres de combustible B1 et B2 de deux types ayant différents enrichissements, comme barres de combustible d'uranium B. Dans l'assemblage de combustible MOX 22A, on réduit le type des enrichissements de Pu au nombre de deux, par rapport à la forme de réalisation représentée dans les figures 1 et 2.

La figure 28 représente une coupe transversale de l'assemblage de combustible 2 du noyau à grille C.

En se référant à la figure 28, dans l'assemblage de combustible MOX 22 destiné à être chargé dans le noyau à grille C d'un réacteur, on prévoit des espaces libres pour l'eau ayant la même largeur entre les caissons 20 respectifs munis de voies, de telle sorte que les barres de combustible positionnées aux quatre coins des coordonnées (1, 1), (1, n), (n, 1) et (n, n), présentent des flux de neutrons thermiques à augmentation relative. Le chiffre de référence 10 désigne une barre pour l'eau.

En conséquence, dans l'assemblage de combustible MOX 22, les barres de combustible

positionnées aux quatre coins des coordonnées (1, 1),
(1, n), (n, 1) et (n, n) sont constituées par les
barres de combustible d'uranium B et les autres barres
de combustible 19 sont constituées des barres de
5 combustible MOX A, à l'exception des barres de
combustible contenant le poison consommable. Dans
cette forme de réalisation, les enrichissements de Pu
des barres de combustible MOX A sont de trois types et
on réduit un de ces types en comparaison avec
10 l'assemblage conventionnel de combustible MOX, ce qui
donne lieu à une réduction de plutonium inférieure à
environ 5% pour un assemblage de combustible MOX 22.
Au cas où le degré de réduction de plutonium dépasse
environ 5%, il est requis d'augmenter le nombre des
15 assemblages de combustible MOX destinés à être chargés
dans le noyau à grille C, ce qui peut avoir un effet
néfaste sur l'économie de combustible.

Un exemple d'un tel assemblage de
combustible MOX du noyau à grille C est représenté par
20 les figures 29 et 30. La figure 29 représente
l'assemblage de combustible MOX 22A disposé dans le
caisson 20 muni de voies, dans lequel les barres de
combustible 19 sont disposées en neuf lignes et en
neuf rangées dans une grille de forme carrée et deux
25 barres 10 pour l'eau sont disposées essentiellement à
la portion centrale du caisson.

Les barres de combustible 19 disposées dans
le caisson 20 muni de voies englobent les barres de
combustible d'uranium B positionnées aux portions de
30 coins respectives du caisson 20 muni de voies et des
autres barres de combustible MOX A, à l'exception des
barres de combustible C englobant le poison
consommable. Les barres de combustible MOX A
englobent des barres de combustible A₁ et A₄ dans
35 lesquelles le plutonium, comme matière de combustible,

est mélangé, à raison de 9,0% en poids, par exemple, avec de l'uranium naturel (U-235, 0,71% en poids) et comprend également des barres de combustible MOX A₂ et A₃ dans lesquelles les plutoniums sont mélangés, à 5 raison de 7,5% en poids et de 5,3% en poids, par exemple, avec l'uranium naturel, respectivement. Les barres de combustible d'uranium englobent des barres de combustible B contenant U-235 comme matière de combustible ayant des enrichissements à raison de 4,5% 10 en poids. Les barres de combustible C sont des barres de combustible d'uranium contenant le poison consommable du composé de gadolinium par exemple, et elles sont composées de U-235 ayant des enrichissements à raison de 4,9% en poids et de 4,4% 15 en poids, tout en étant mélangé avec un composé de gadolinium (Gd₂O₃).

La répartition relative de sortie de la section transversale de chaque barre de combustible 19 à la région 1/24 à 20/24 de l'assemblage de combustible MOX 22A est représentée par la figure 31. 20 D'après la figure 31, on peut voir que cette répartition de sortie est à peu près identique à celle de la barre de combustible MOX représentée par les figures 3 et 4.

25 La barre de combustible MOX A de l'assemblage de combustible MOX 22A représenté dans les figures 29 et 30, comprend trois types d'enrichissements de barres de combustible MOX A et on utilise, comme barres de combustible d'uranium B, un 30 type ou deux types ayant différents enrichissements de barres de combustible. On réduit le type des enrichissements de Pu au nombre de 1 ou de 2, par rapport à la forme de réalisation de barres de combustible conventionnelles.

Dans l'assemblage de combustibles des formes de réalisation de la présente invention décrites ci-dessus, dans le cas d'un assemblage de combustibles de noyau à grille D, les barres de combustible positionnées aux coordonnées (1, 1) ou aux coordonnées (1, 1), (1, 2) (2, 1), (1, n), (n, 1) et (n, n) sont constituées par les barres de combustible d'uranium, les autres barres de combustible étant constituées par les barres de combustible MOX, à l'exception de celles contenant le poison consommable. En conséquence, on peut réduire le type des enrichissements de Pu sans pratiquement modifier la quantité chargée de plutonium pour un assemblage de combustibles, par rapport à l'assemblage conventionnel de combustible MOX. En outre, étant donné qu'il n'est pas nécessaire de préparer un grand nombre de type d'assemblages de combustible MOX différents quant à leur enrichissement de Pu, on peut aisément fabriquer l'assemblage de combustible MOX difficile à manipuler, améliorant ainsi l'économie de combustible et la manipulation aisée des barres de combustible MOX.

REVENDEICATIONS

1. Assemblage de combustibles pour réacteur nucléaire comprenant :

5 un caisson muni de voies, et
plusieurs barres de combustible disposées dans le caisson muni de voies, au moins une partie des barres de combustible étant garnies d'un combustible de mélange uranium-plutonium et de U-235 enrichi ou
10 d'une concentration de plutonium, ou encore les deux, répartis en direction axiale des barres de combustible.

2. Assemblage de combustibles selon la
15 revendication 1, dans lequel au moins une partie des barres de combustible est garnie d'un poison consommable, la concentration du poison consommable étant répartie en direction axiale des barres de combustible.

20 3. Assemblage de combustibles selon la revendication 2, dans lequel les barres de combustible présentent un enrichissement de U-235 réparti en direction axiale, les barres de combustible présentant
25 une concentration de poison consommable répartie en direction axiale, étant exemptes de plutonium.

4. Assemblage de combustibles selon la revendication 1, dans lequel les barres de combustible
30 présentant une répartition d'enrichissement de U-235 en direction axiale de ces dernières sont exemptes de plutonium.

5. Assemblage de combustibles selon la
35 revendication 1, dans lequel les barres de combustible

comprennent des barres de combustible garnies d'un combustible de mélange uranium-plutonium, ainsi que des barres de combustible d'uranium exemptes de poison consommable, chacune des barres de combustible d'uranium étant munie de portions supérieure et inférieure dont la longueur correspond, chaque fois, à 1/24 de la longueur de la portion effective de la barre de combustible, les portions supérieure et inférieure étant garnies d'uranium naturel, au moins une partie des barres de combustible comprenant une région enrichie, à l'exception des portions supérieure et inférieure des régions subdivisées en régions supérieure, inférieure et centrale, les régions supérieure et inférieure présentant des enrichissements inférieurs à ceux de la région centrale, la concentration en poison consommable se réduisant graduellement dans les régions supérieure, centrale et inférieure, et dans cet ordre.

6. Assemblage de combustibles selon la revendication 1, dans lequel chacune des barres de combustible garnies du combustible de mélange uranium-plutonium est munie d'une zone où règne une surpression, dont la longueur est supérieure à la longueur d'une barre de combustible d'uranium, sur une distance maximale de 15 cm.

7. Assemblage de combustibles selon la revendication 1, dans lequel on remplace certaines des barres de combustible dont la superficie de section est supérieure de 6% de la superficie de section de l'ensemble des barres de combustible disposées dans le caisson à voies, par une barre pour l'eau, à travers laquelle s'écoule de l'eau non bouillie, ou bien on

les retire pour obtenir une région exempte de combustible, à travers laquelle l'eau s'écoule.

8. Assemblage de combustibles selon la
5 revendication 1, dans lequel le rapport du nombre de
barres de combustible dans lesquelles on mélange le
poison consommable au nombre total de barres de
combustible, se situe dans l'intervalle de 0,15 à 0,22
dans le cas d'un rapport du nombre des barres de
10 combustible garnies à l'aide du combustible de mélange
uranium-plutonium au nombre total des barres de
combustible compris dans l'intervalle de 0,2 à 0,5 ;
il se situe dans l'intervalle de 0,18 à 0,25 dans le
cas de 0,5 à 0,8 ; et il se situe dans l'intervalle de
15 0,2 à 0,3 dans le cas de 0,8 à 1,0 ; la concentration
du poison consommable dont est garnie une portion dont
la longueur axiale n'est pas supérieure à environ 80%,
est comprise dans l'intervalle de 1,0 à 4,0% en poids.

20 9. Assemblage de combustibles selon la
revendication 1, dans lequel les barres de combustible
garnies du combustible de mélange uranium-plutonium
comprennent des barres de combustible contenant
chacune de l'uranium à mélanger avec le plutonium,
25 dans lesquelles l'uranium est de l'uranium appauvri de
U-235 ayant un pourcentage en poids inférieur à celui
de l'uranium naturel, ou bien des barres de
combustible comprenant de l'uranium naturel, de
l'uranium retraité-recyclé ou de l'uranium enrichi, ou
30 encore des barres de combustible comprenant une
combinaison des barres de combustible susmentionnées.

10. Assemblage de combustibles pour réacteur
nucléaire comprenant :
35 un caisson muni de voies, et

plusieurs barres de combustible disposées dans le caisson muni de voies, au moins une partie des barres de combustible étant garnie d'un combustible de mélange uranium-plutonium et au moins une partie des
5 barres de combustible contenant un poison consommable dont la concentration est répartie en direction axiale des barres de combustible.

11. Assemblage de combustibles selon la
10 revendication 10, dans lequel les barres de combustible garnies du poison consommable réparti en direction axiale sont exemptes de plutonium.

12. Assemblage de combustibles pour un
15 réacteur nucléaire comprenant :

plusieurs caissons munis de voies, que l'on sépare en disposant des barres de réglage entre eux, les écartements ayant des largeurs telles qu'une
20 largeur d'un écartement opposé à la barre de réglage est supérieure à celle d'un écartement qui ne s'oppose pas à la barre de réglage ; ainsi que

plusieurs barres de combustible agencées dans les caissons respectifs munis de voies, dans une structure de grille ayant n lignes et n rangées (n :
25 nombre naturel), les barres de combustible comprenant des barres de combustible d'uranium positionnées à des portions à coordonnées $(1, 1)$, $(1, 2)$, $(2, 1)$, $(1, n)$ et $(n, 1)$ et d'autres barres de combustible, à l'exception des barres de combustible contenant un
30 poison consommable, étant garnies à l'aide du combustible du mélange uranium-plutonium, une barre de combustible positionnée à une portion de coin opposée à la barre de réglage étant désignée par une barre de combustible à coordonnées $(1, 1)$ et une barre de
35 combustible positionnée à une portion de coin

diagonalement opposée à la portion de coin mentionnée en premier lieu, étant désignée comme étant une barre de combustible à coordonnées (n, n) .

- 5 13. Assemblage de combustibles pour un réacteur nucléaire comprenant :
- plusieurs caissons munis de voies, que l'on sépare en disposant des barres de réglage entre eux, les écartements ayant des largeurs telles qu'une
- 10 largeur d'un écartement opposé à la barre de réglage est supérieure à celle d'un écartement qui ne s'oppose pas à la barre de réglage ; ainsi que
- plusieurs barres de combustible arrangées dans les caissons munis de voies, dans une structure
- 15 de grille ayant n lignes et n rangées (n : nombre naturel), les barres de combustible comprenant des barres de combustible d'uranium positionnées à des portions à coordonnées $(1, 1)$, $(1, n)$, $(n, 1)$ et
- (n, n) et d'autres barres de combustible, à
- 20 l'exception des barres de combustible contenant un poison consommable, étant garnies à l'aide du combustible de mélange uranium-plutonium, une barre de combustible positionnée à une portion de coin opposée à la barre de réglage étant désignée par une barre de
- 25 combustible à coordonnées $(1, 1)$ et une barre de combustible positionnée à une portion de coin diagonalement opposée à la portion de coin mentionnée en premier lieu, étant désignée comme étant une barre
- 30 de combustible à coordonnées (n, n) .

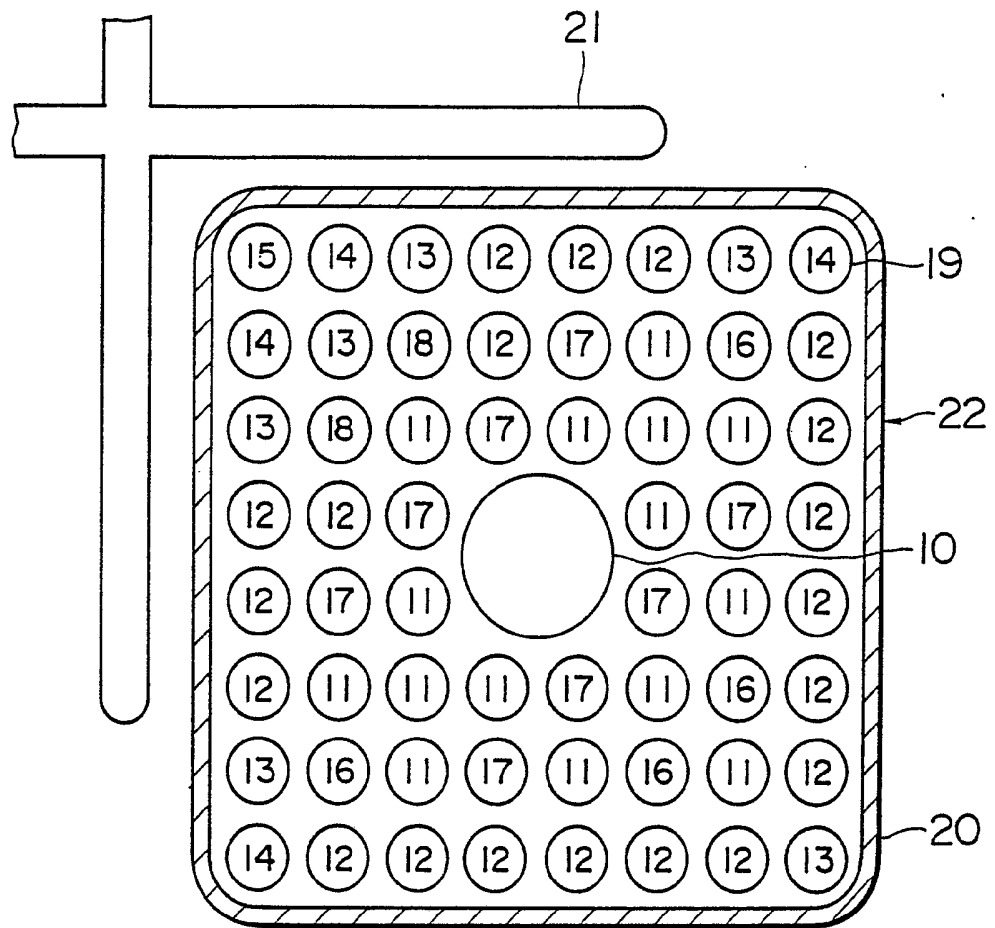


FIG. 1

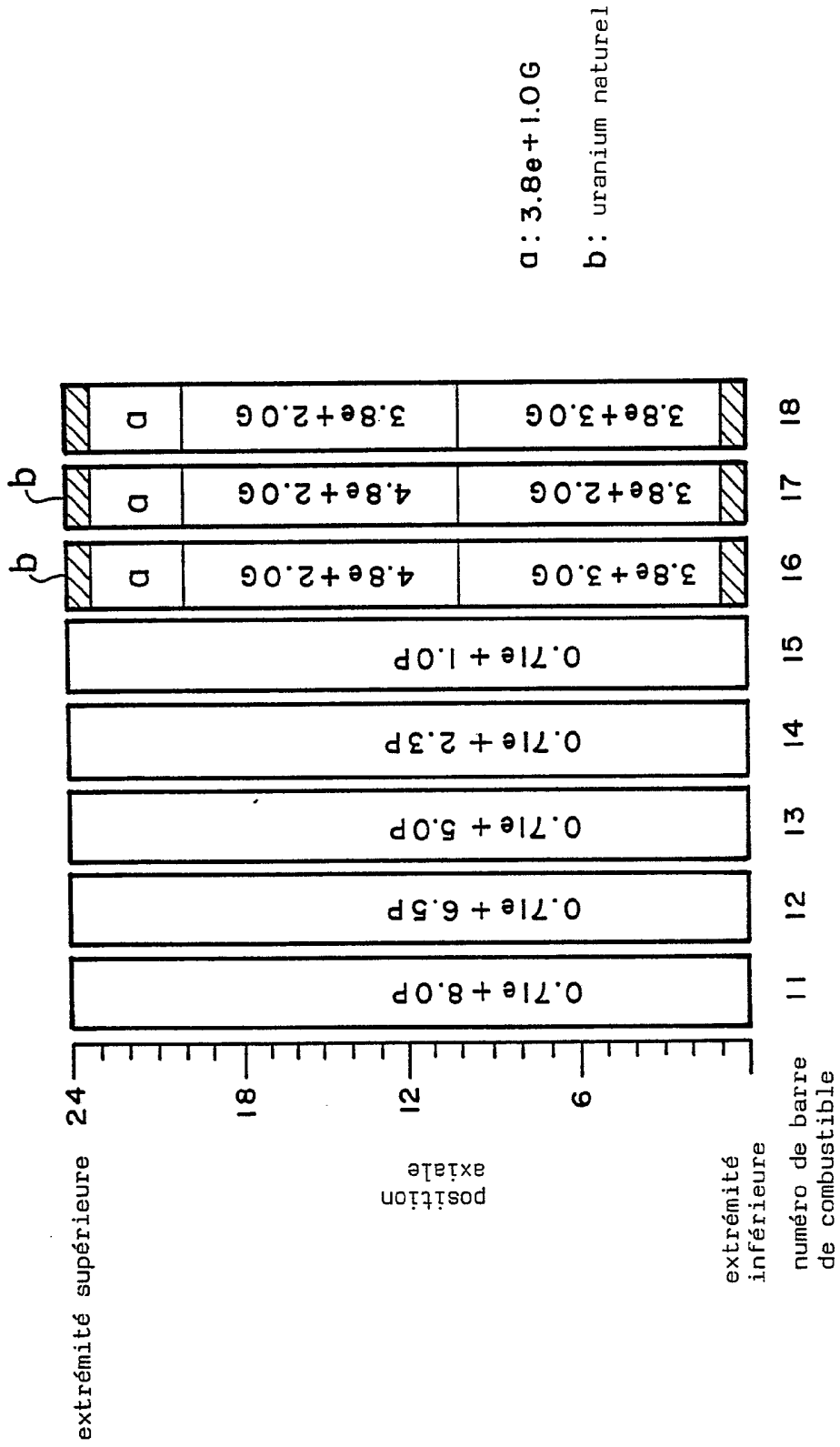


FIG. 2

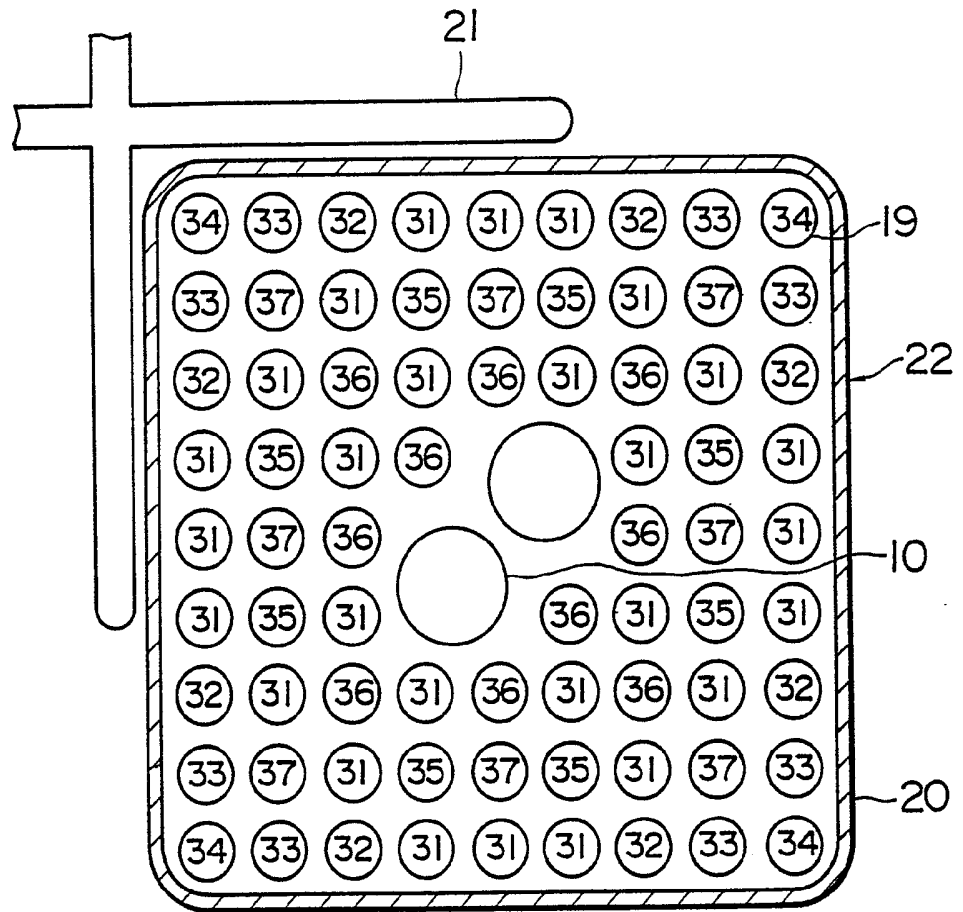


FIG. 3

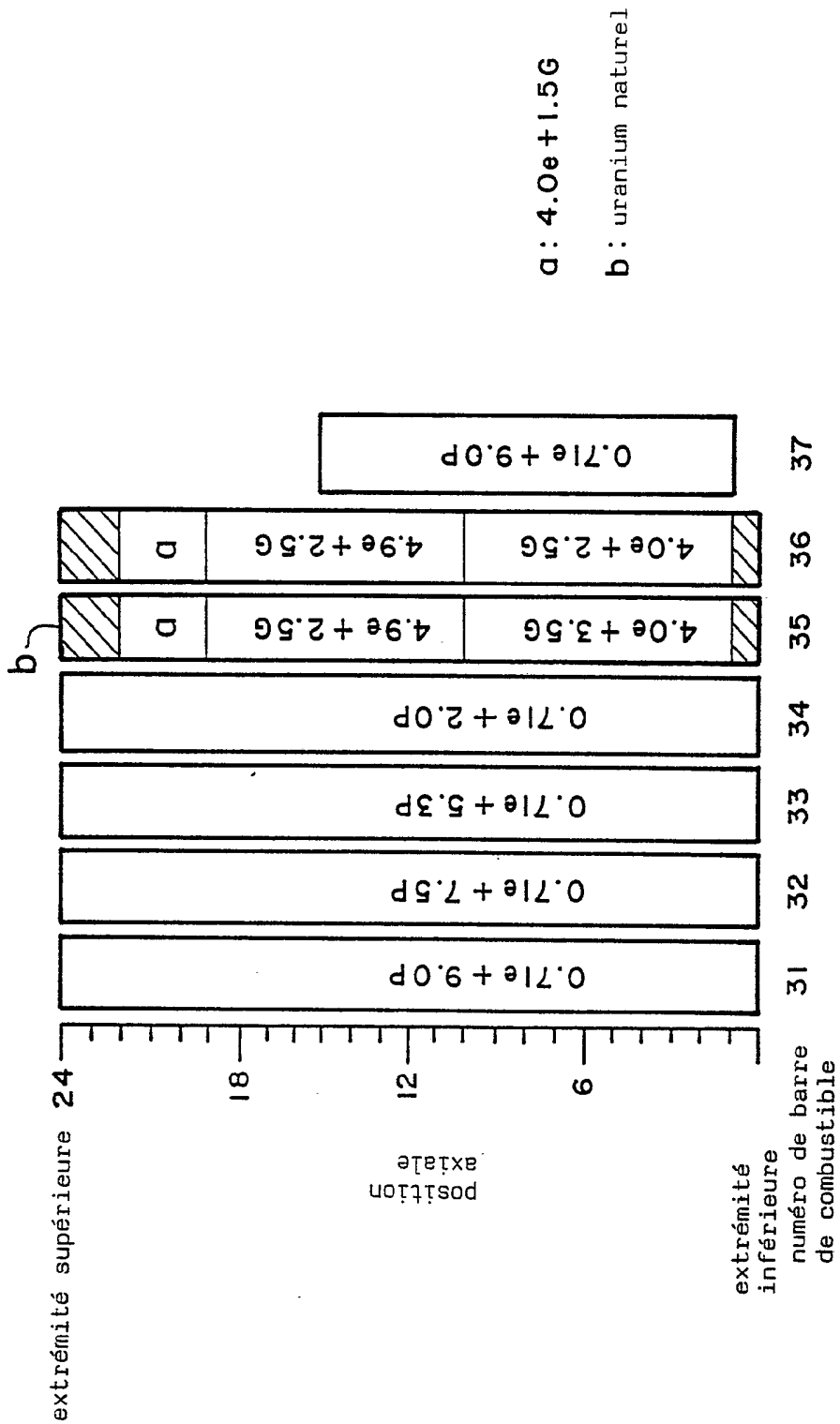


FIG. 4

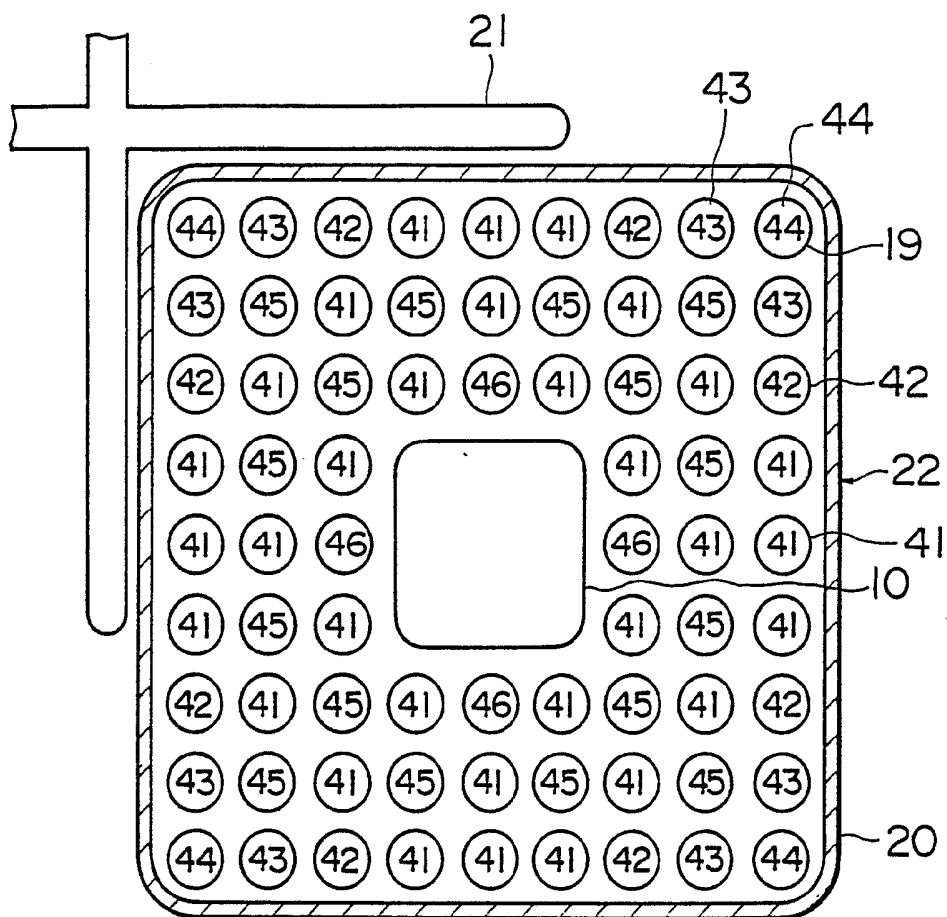


FIG. 5

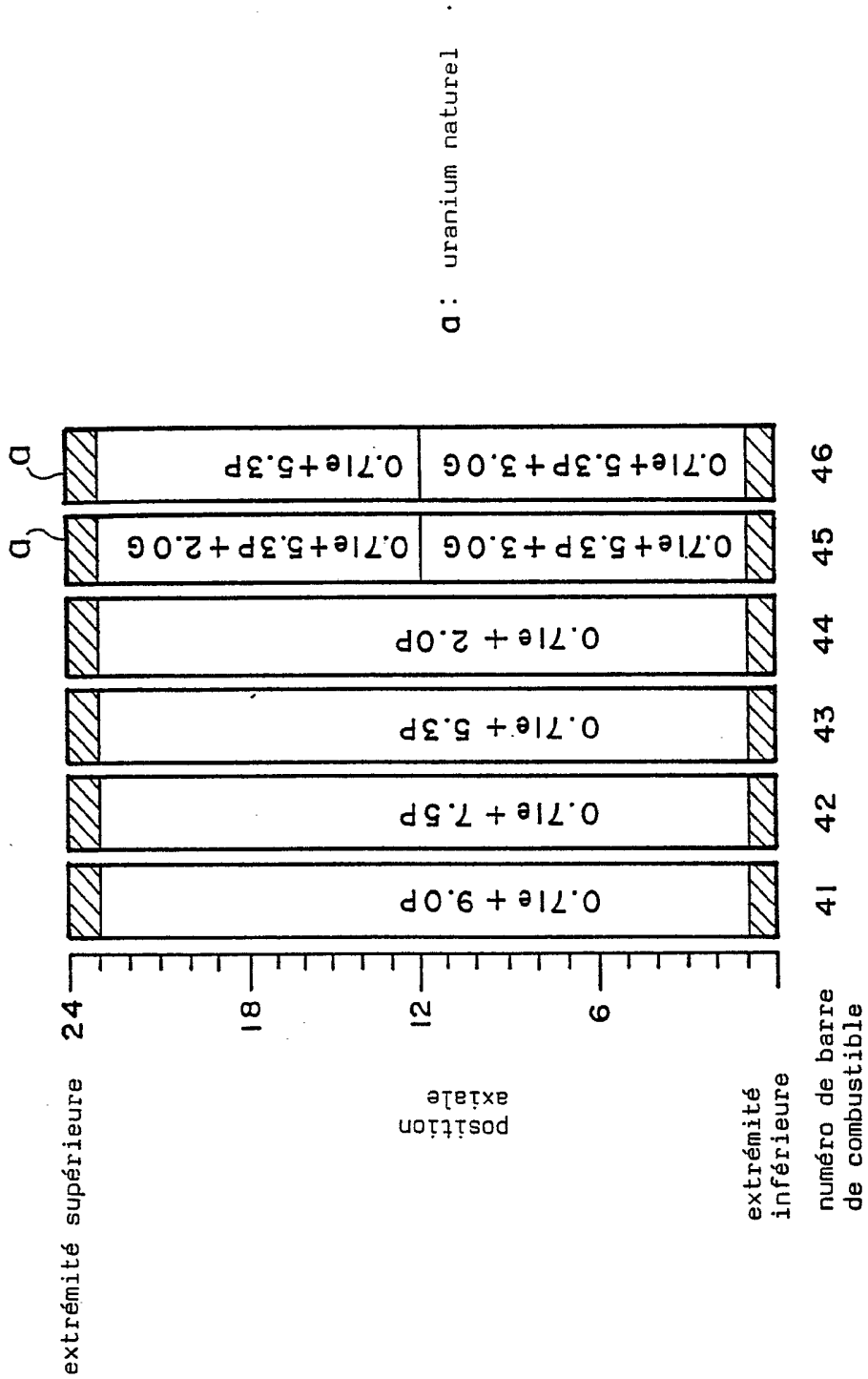


FIG. 6

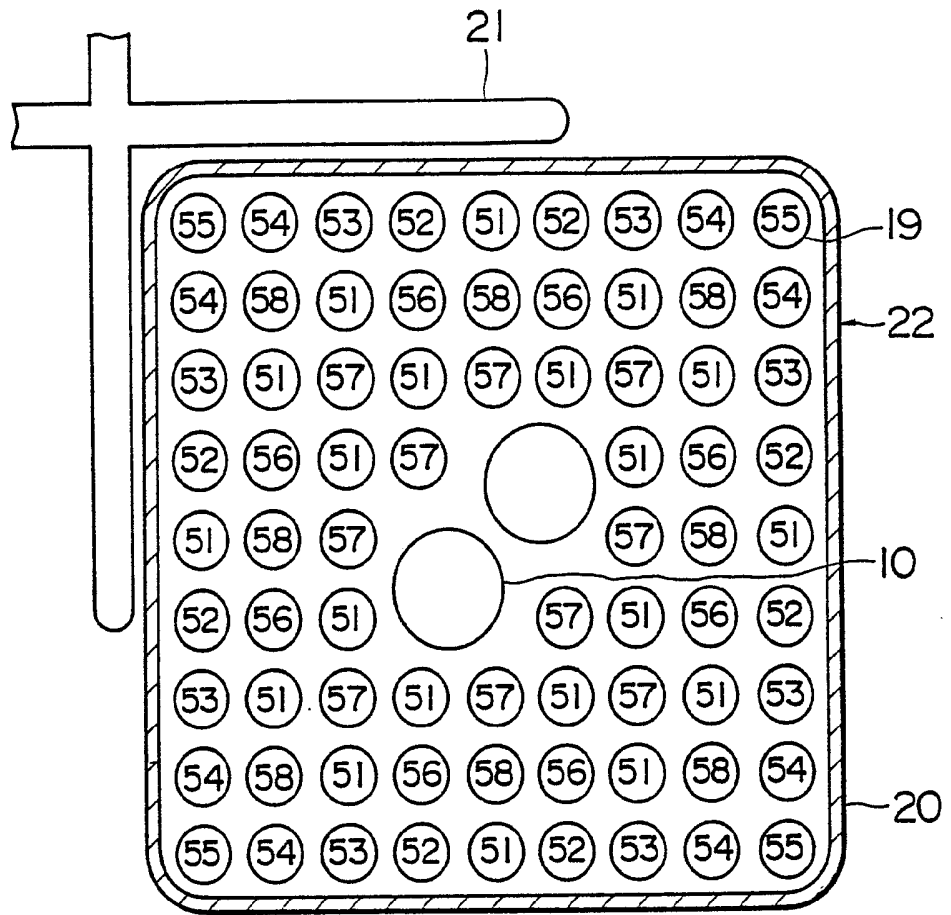


FIG. 7

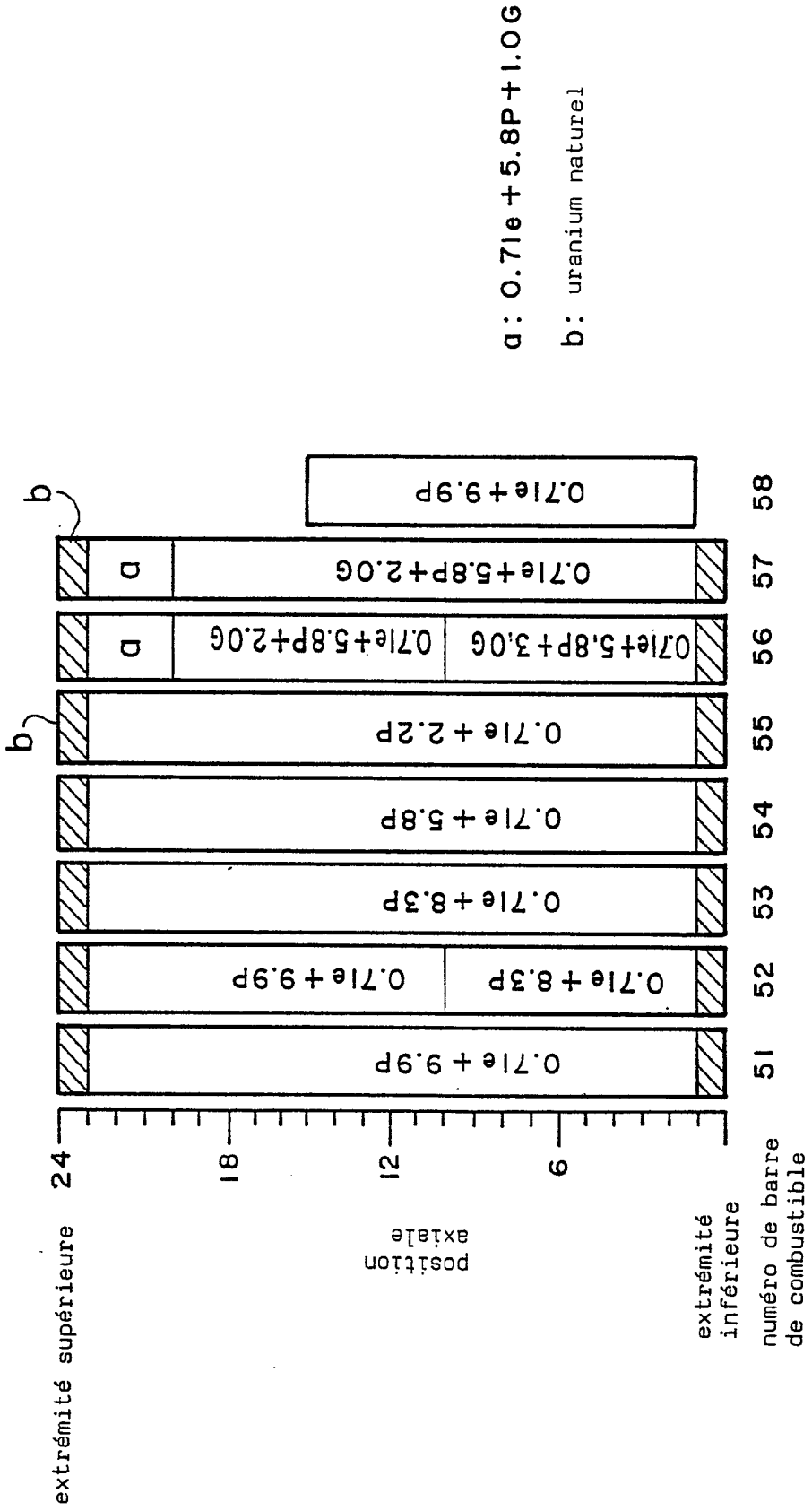


FIG. 8

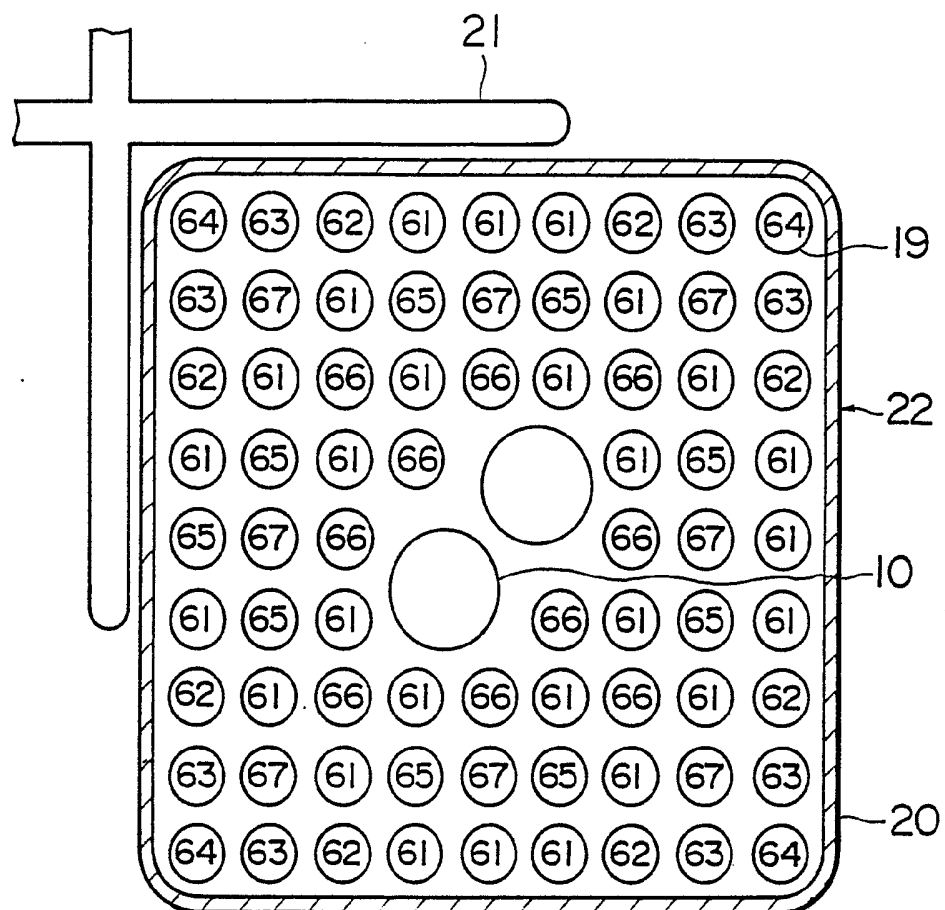


FIG. 9

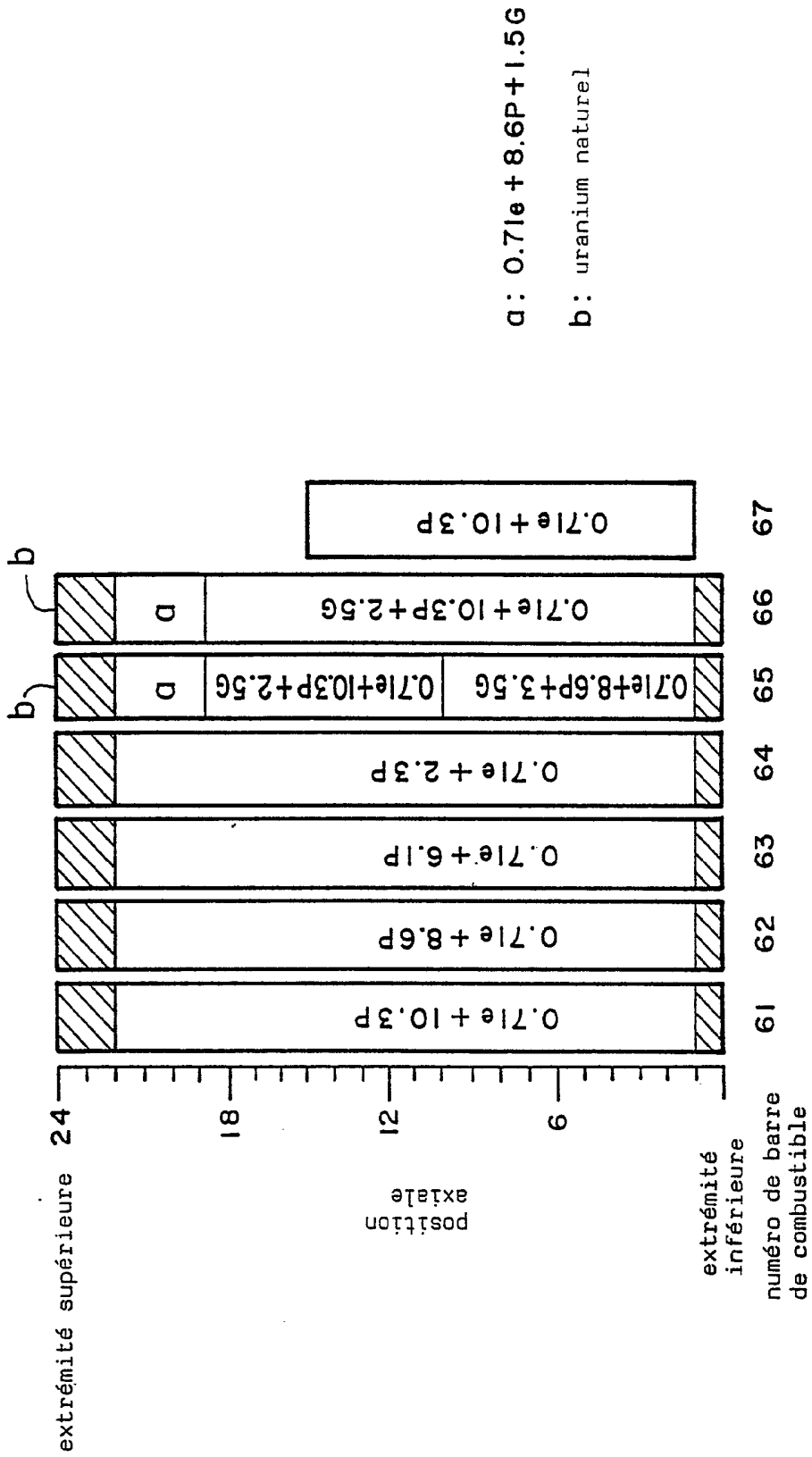


FIG. 10

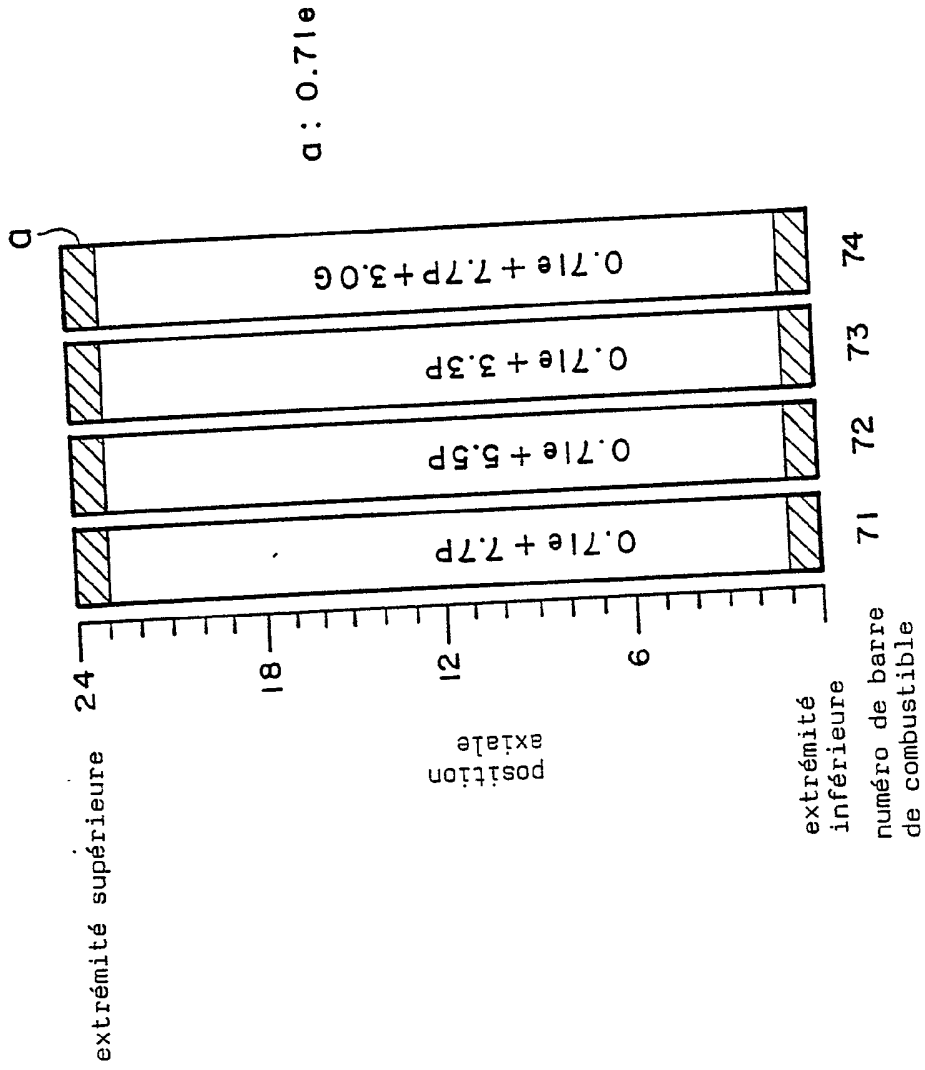


FIG. 12

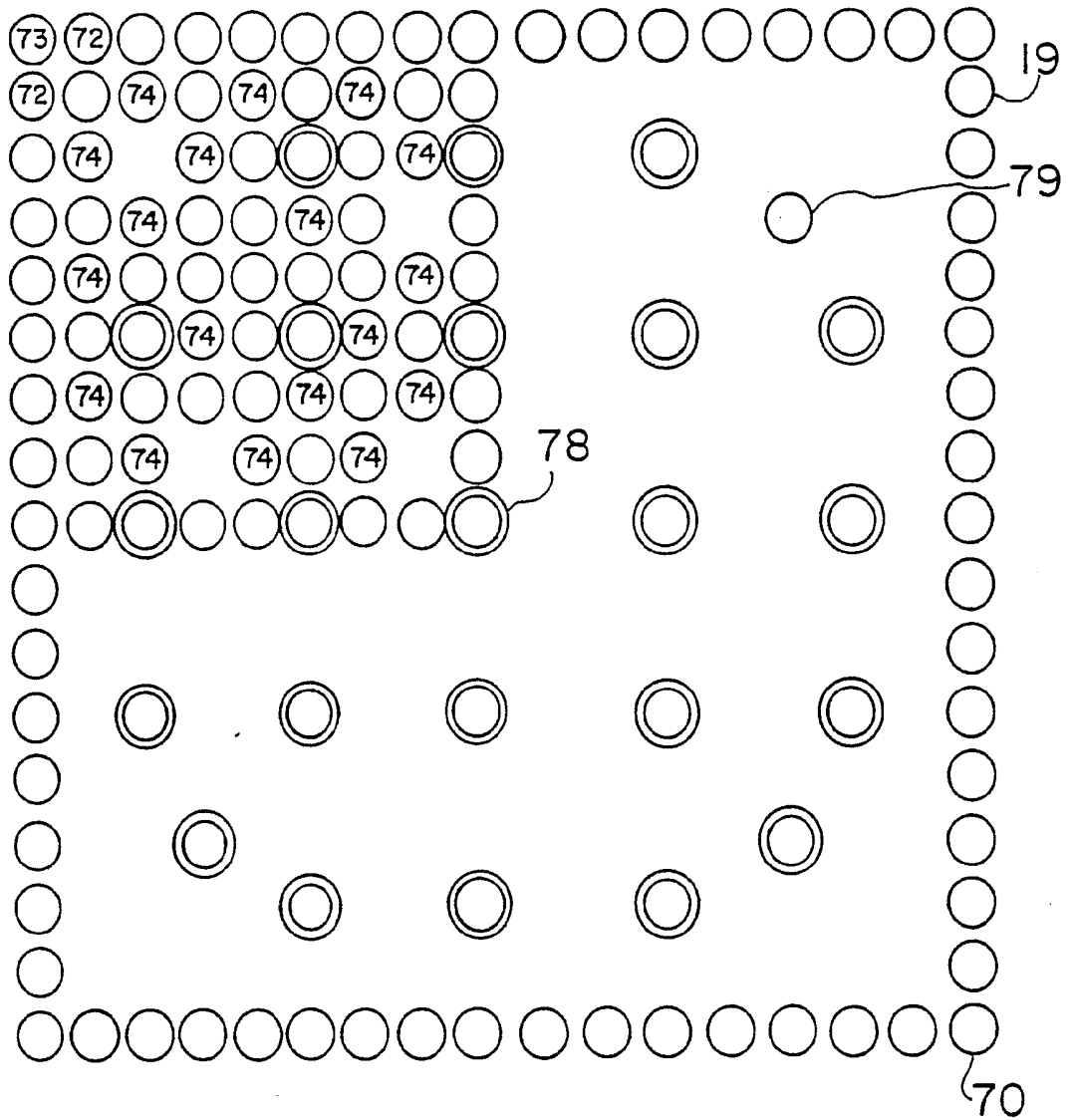
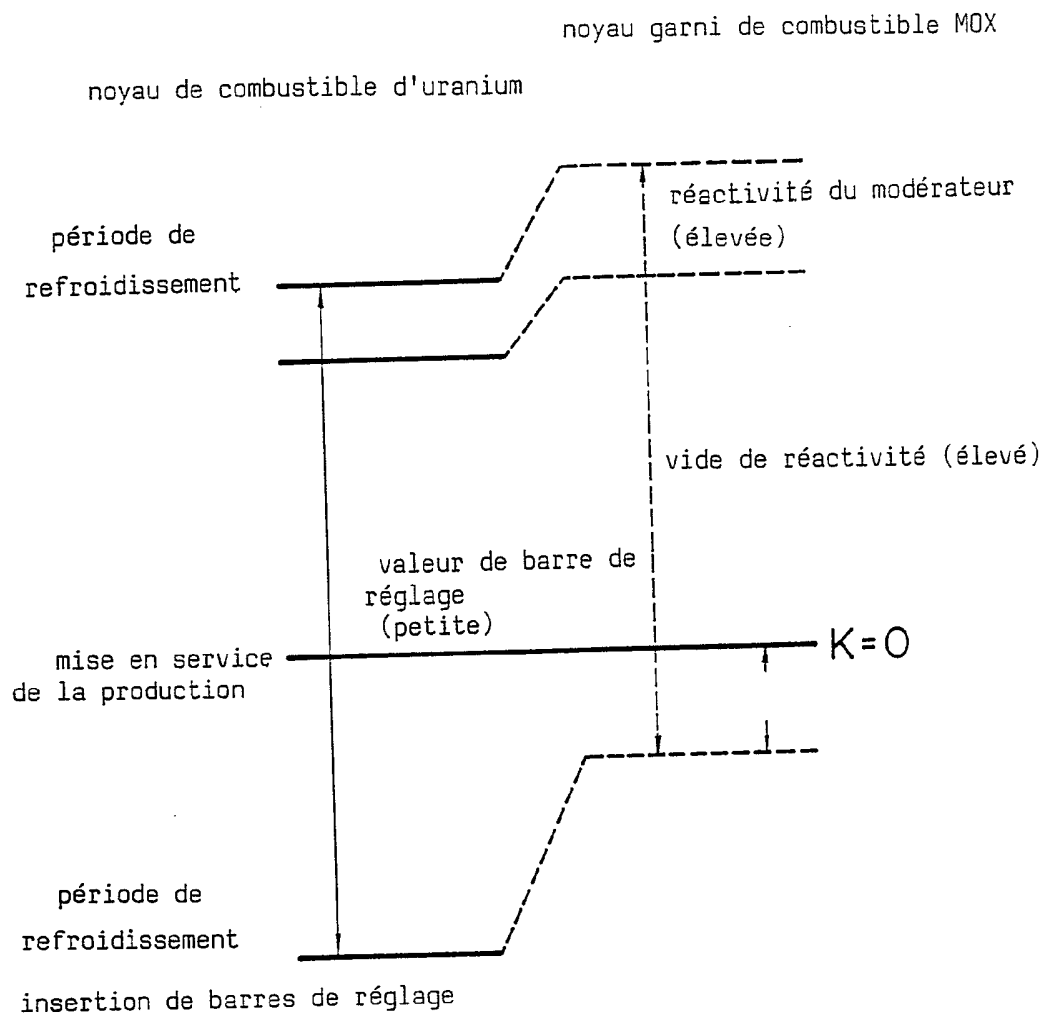


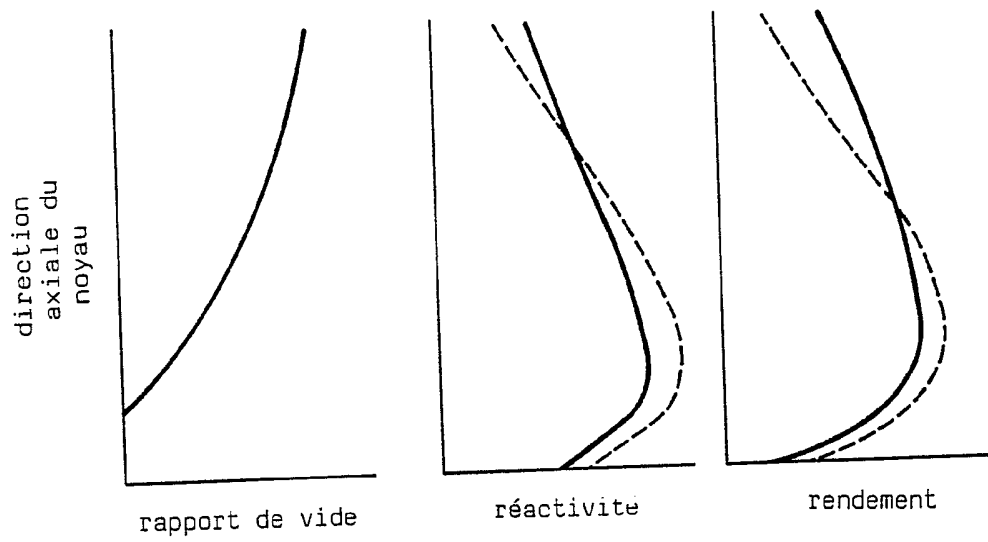
FIG. 13

- 91 -



motif de la réduction quant à la marge d'arrêt d'urgence du noyau dans un noyau chargé de combustible MOX (BWR)

FIG. 14

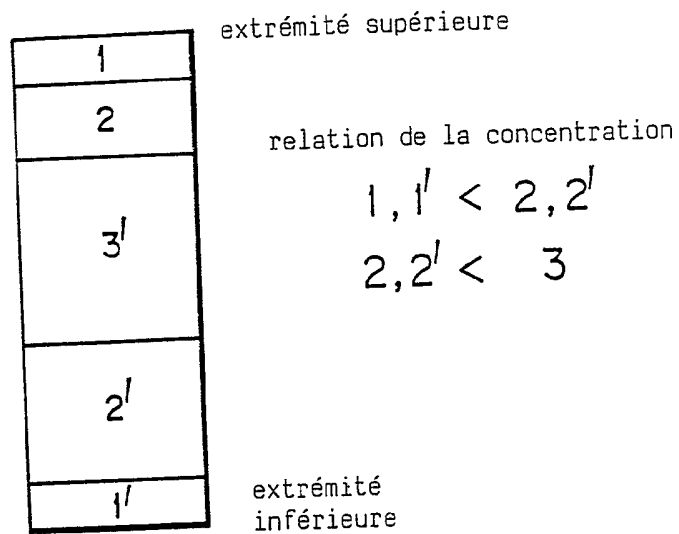


— noyau chargé uniquement de combustible d'uranium

- - - noyau chargé de combustible MOX

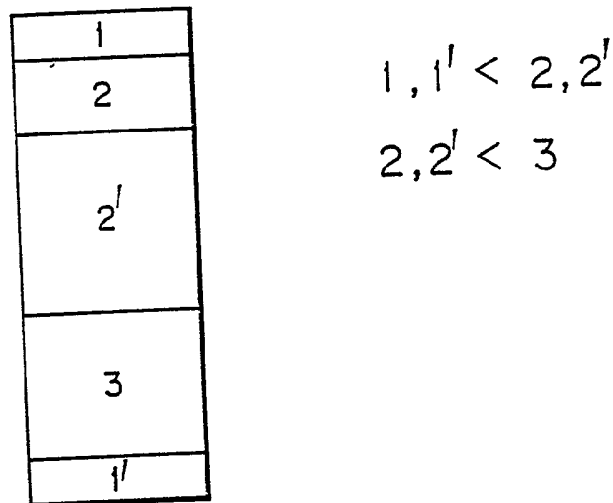
motif quant à l'augmentation de la répartition de
sortie axiale dans un noyau chargé de combustible MOX
(BWR)

FIG. 15



théorie de base de la répartition
quant à la concentration de matière
fossile de l'assemblage de
combustible MOX

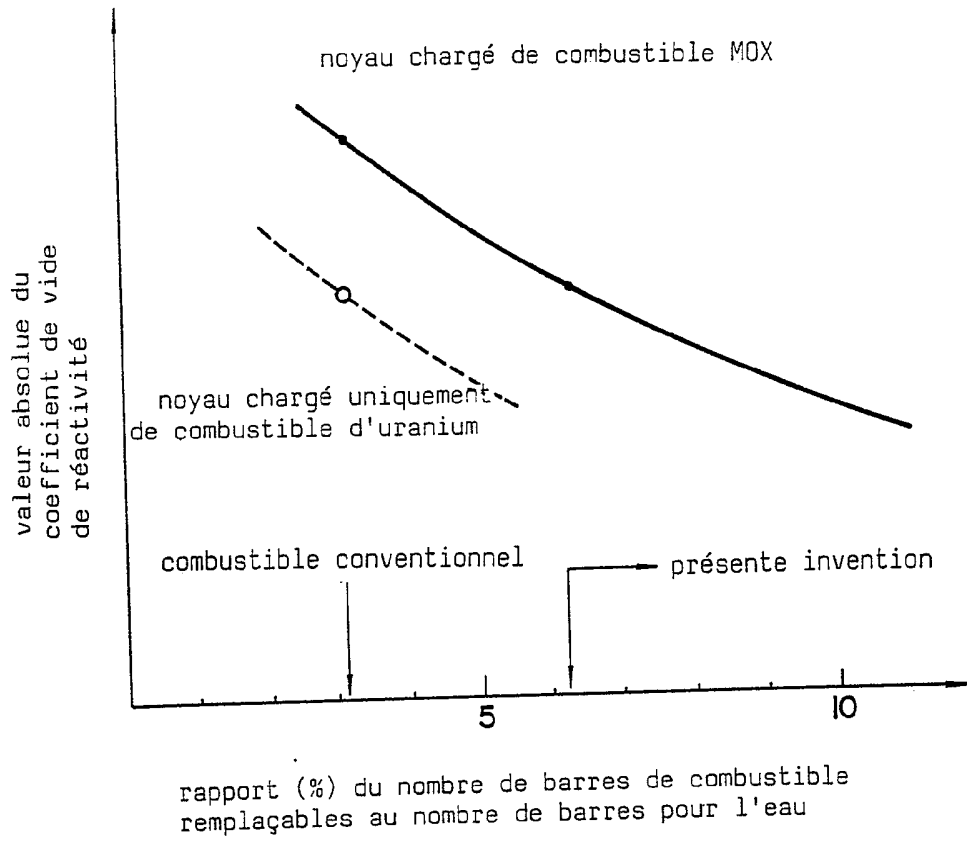
FIG. 16



théorie de base de la concentration
axiale du poison consommable de
l'assemblage de combustible MOX

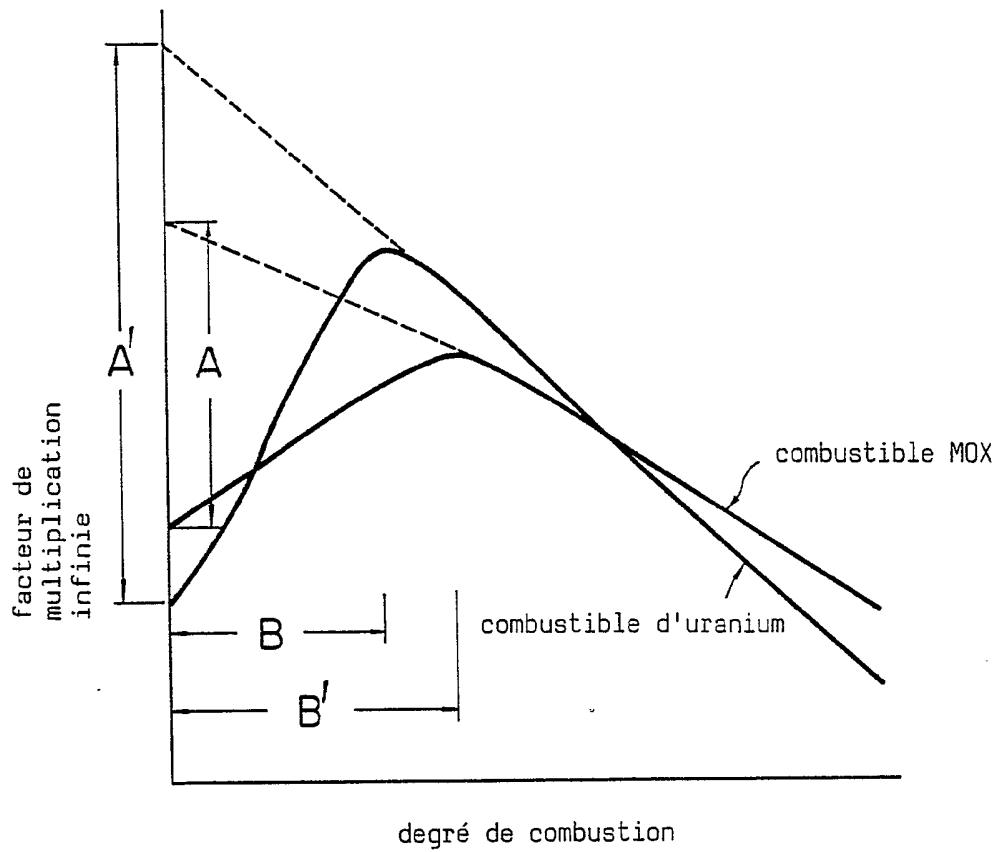
FIG. 17

- 94 -



relation entre le rapport du nombre de barres de combustible remplaçables au nombre de barres pour l'eau et la valeur absolue du coefficient de vide de réactivité

FIG. 18



variation quant à la combustion du combustible MOX
et du combustible d'uranium (mode opérationnel)

FIG. 19

- 96 -

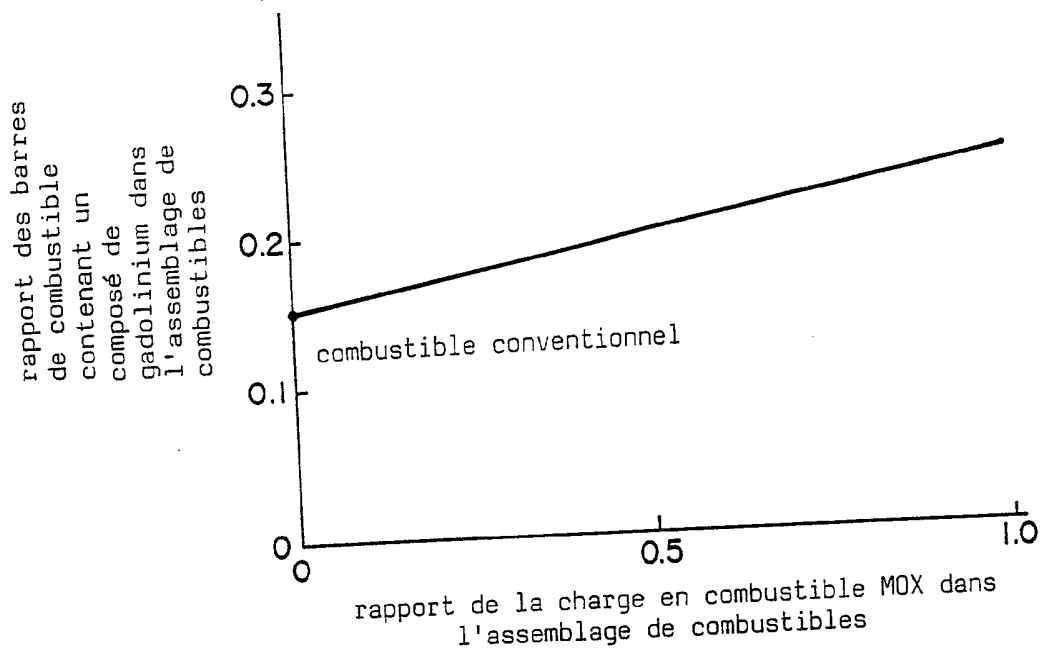


FIG. 20A

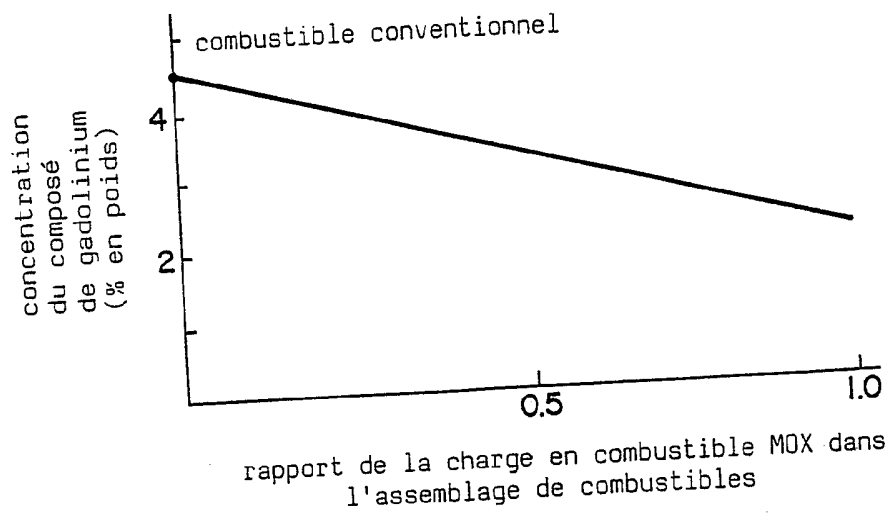
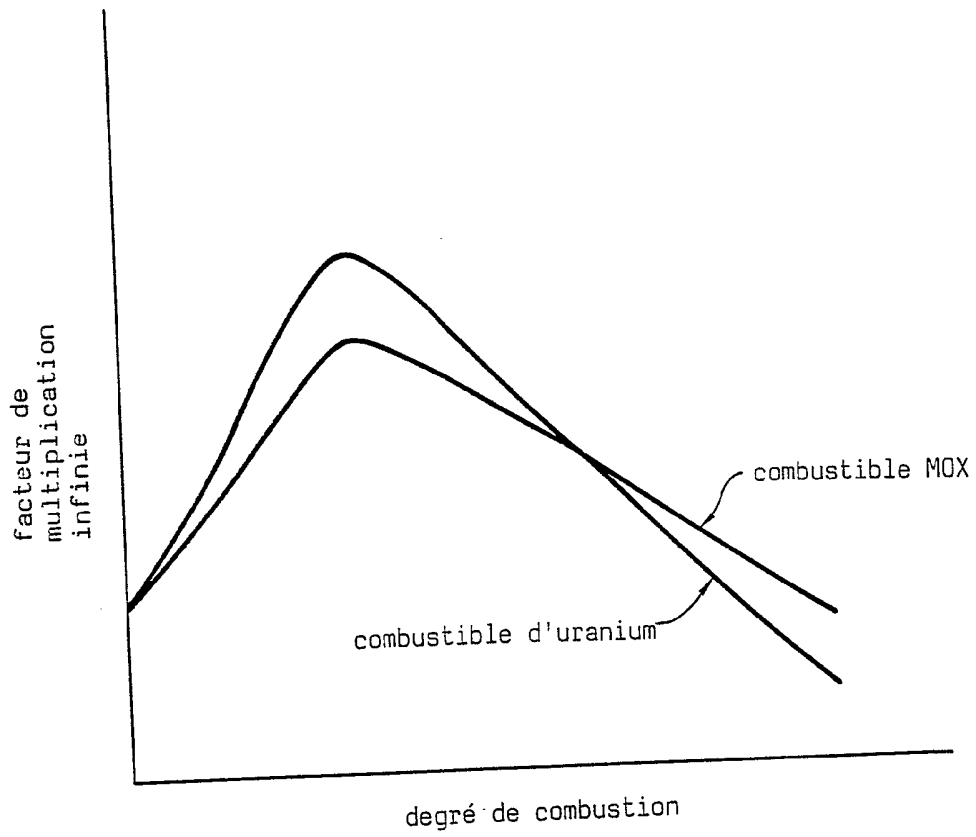


FIG. 20B



variation quant à la combustion du combustible MOX
et du combustible d'uranium (mode opérationnel)

FIG. 21

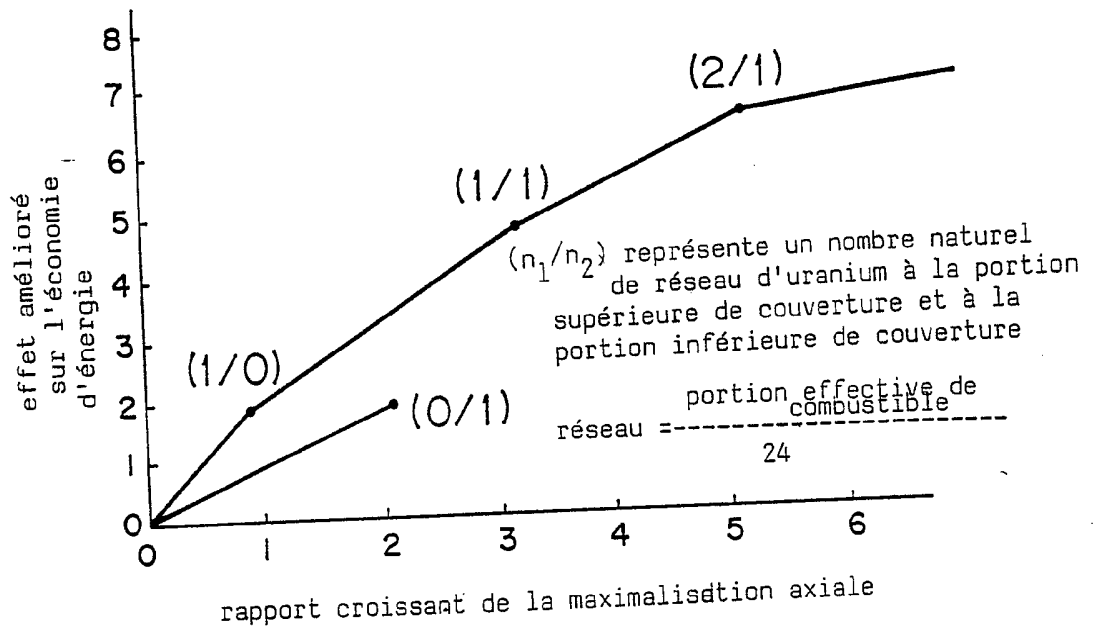


FIG. 22

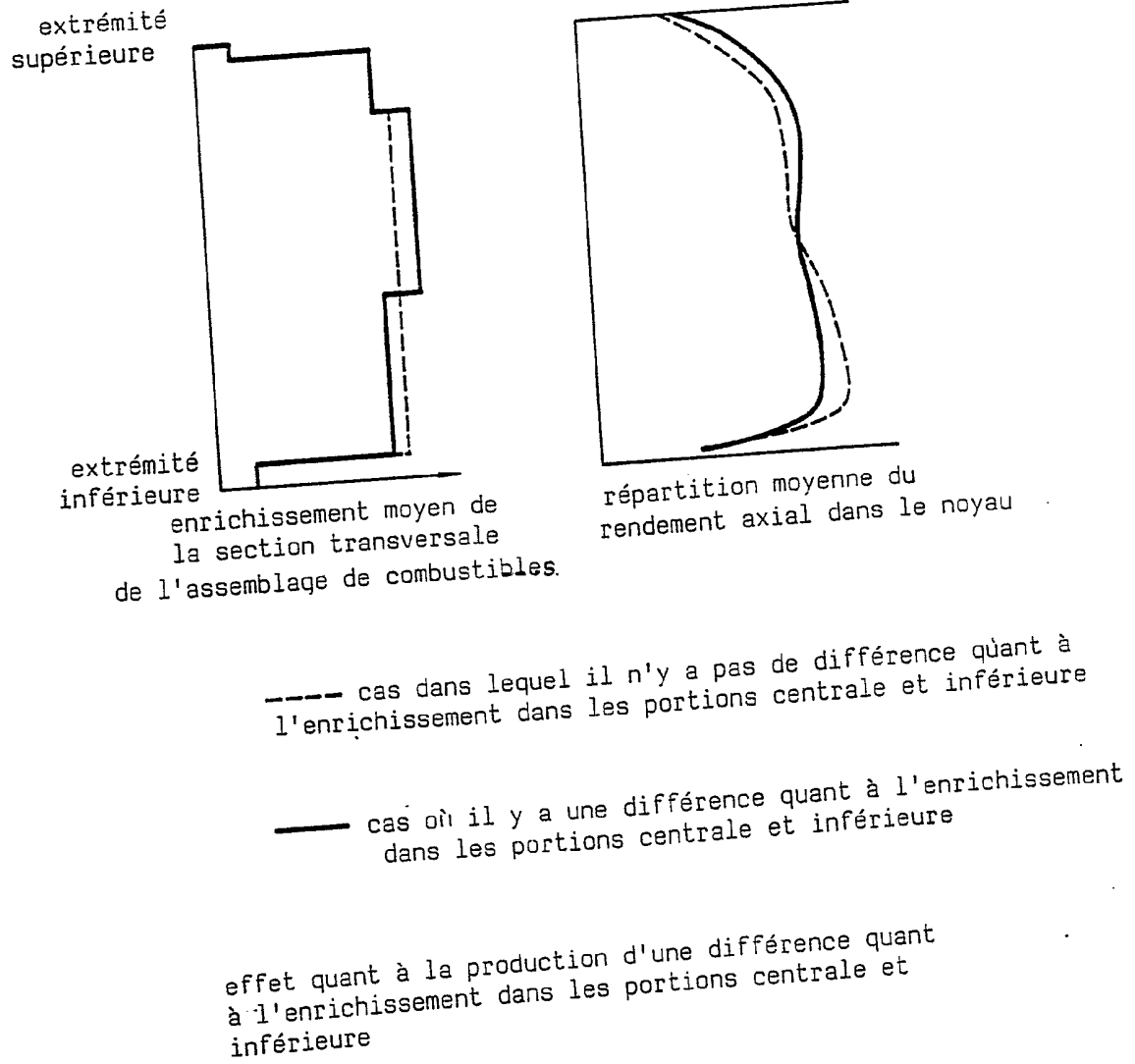


FIG. 23

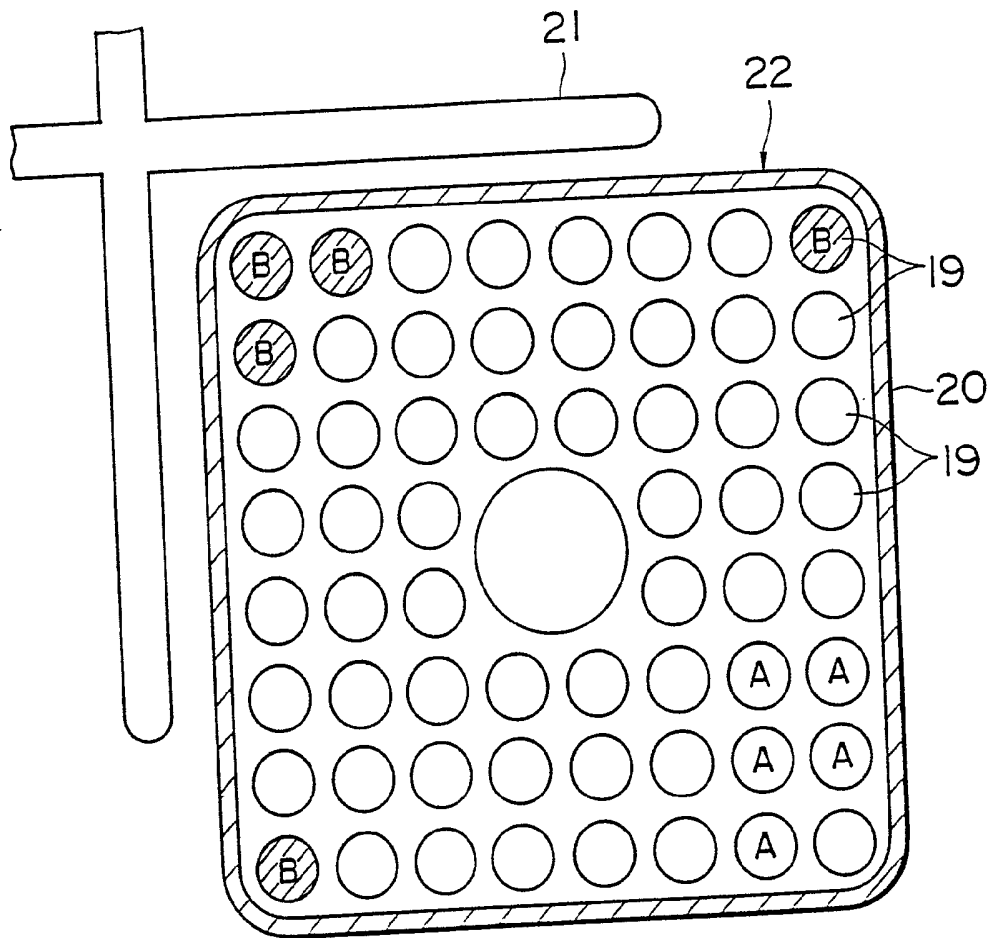


FIG. 24

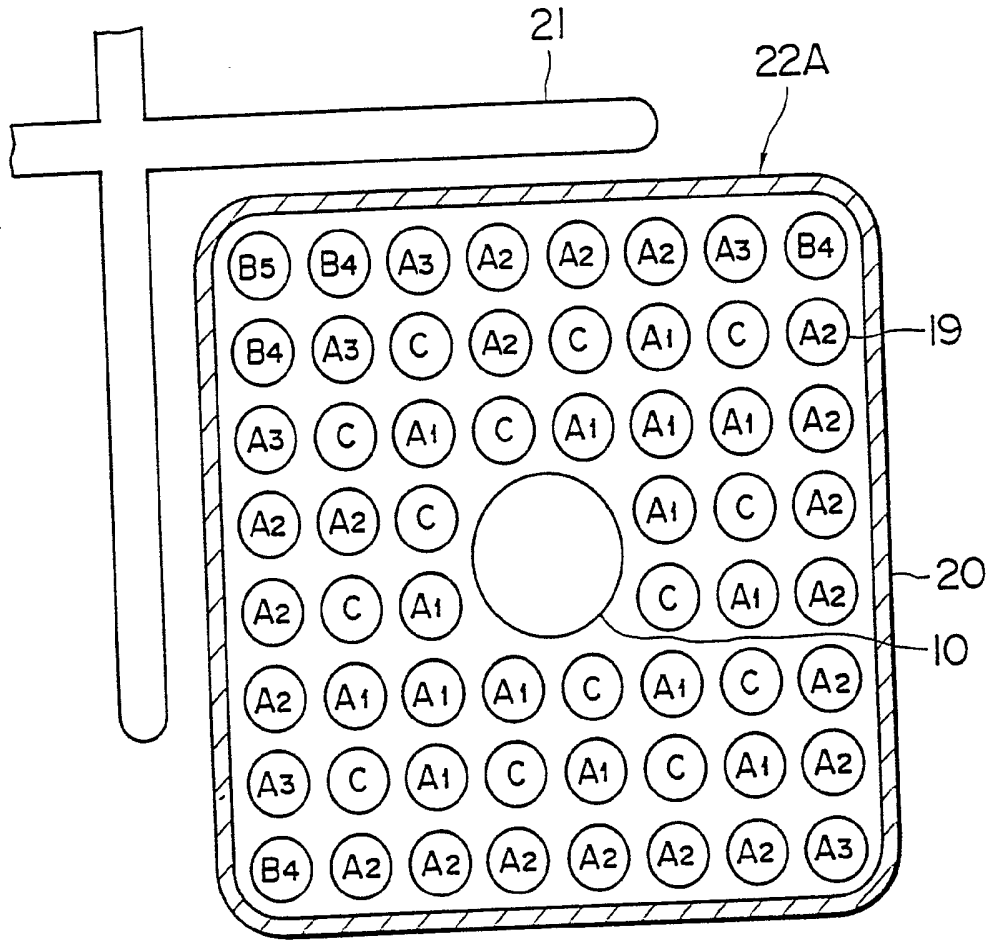


FIG. 25

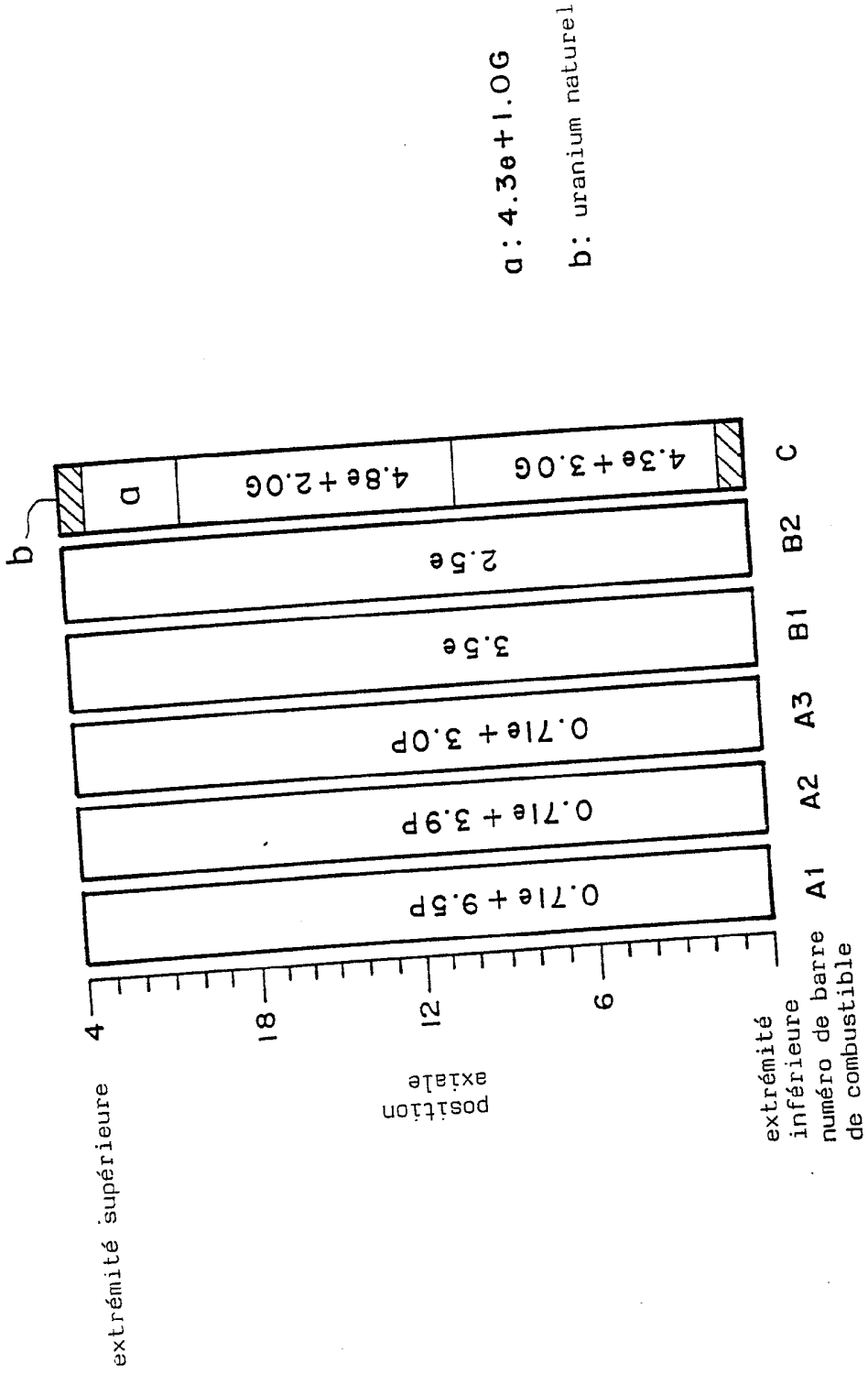


FIG. 26

1.34	1.23	1.35	1.35	1.27	1.32	1.30	1.25
	1.17	0.49	0.87	0.46	1.22	0.48	1.31
		1.16	0.47	1.24	1.04	1.12	1.05
					1.20	0.44	0.96
					0.45	1.07	0.95
					1.01	0.43	0.97
						1.20	1.08
							1.18

10

FIG. 27

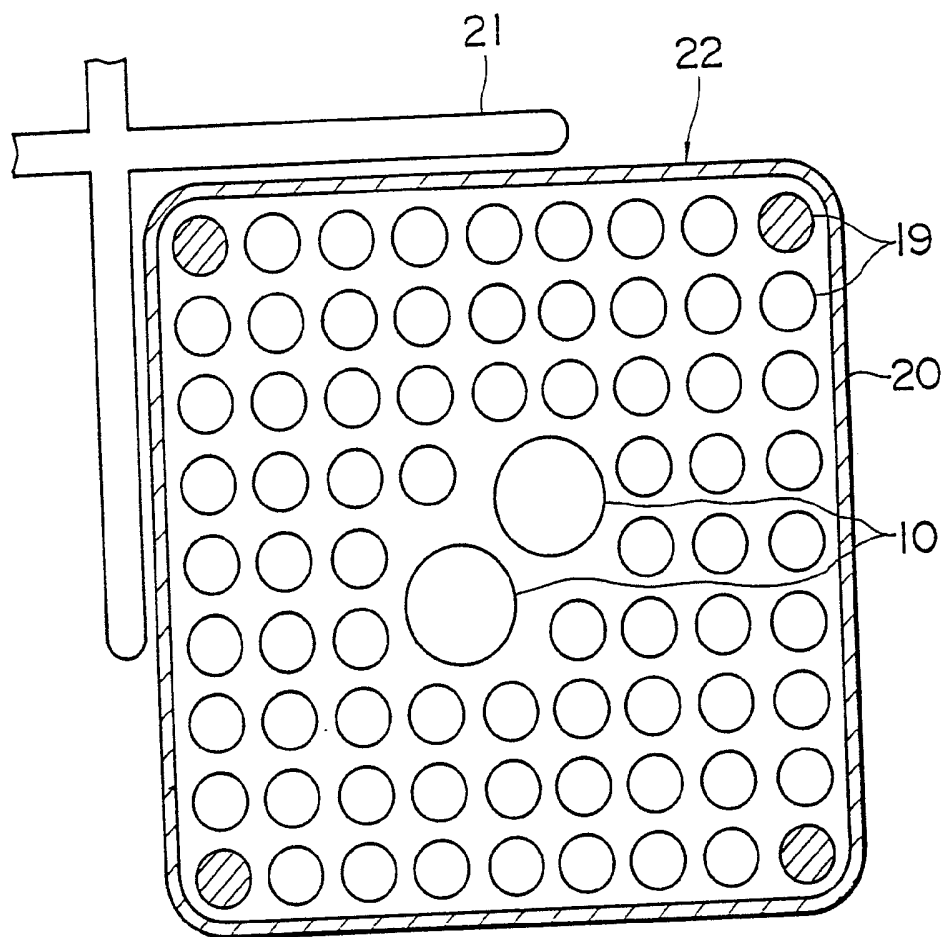


FIG. 28

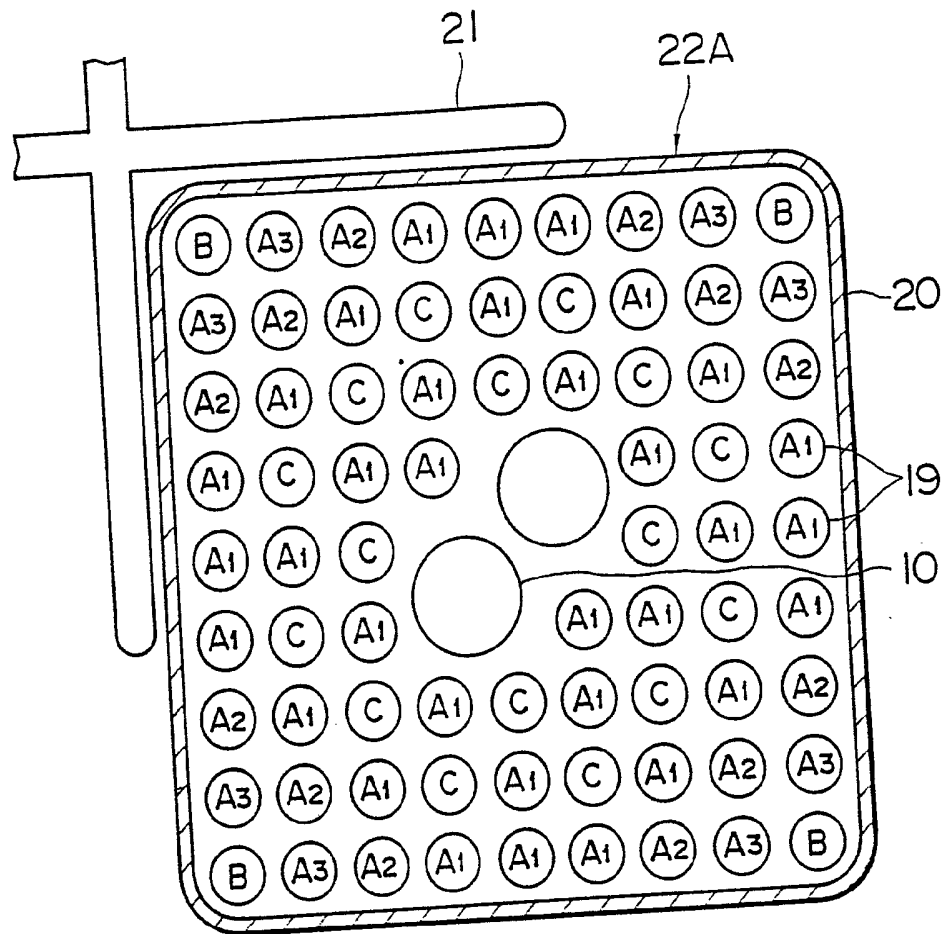


FIG. 29

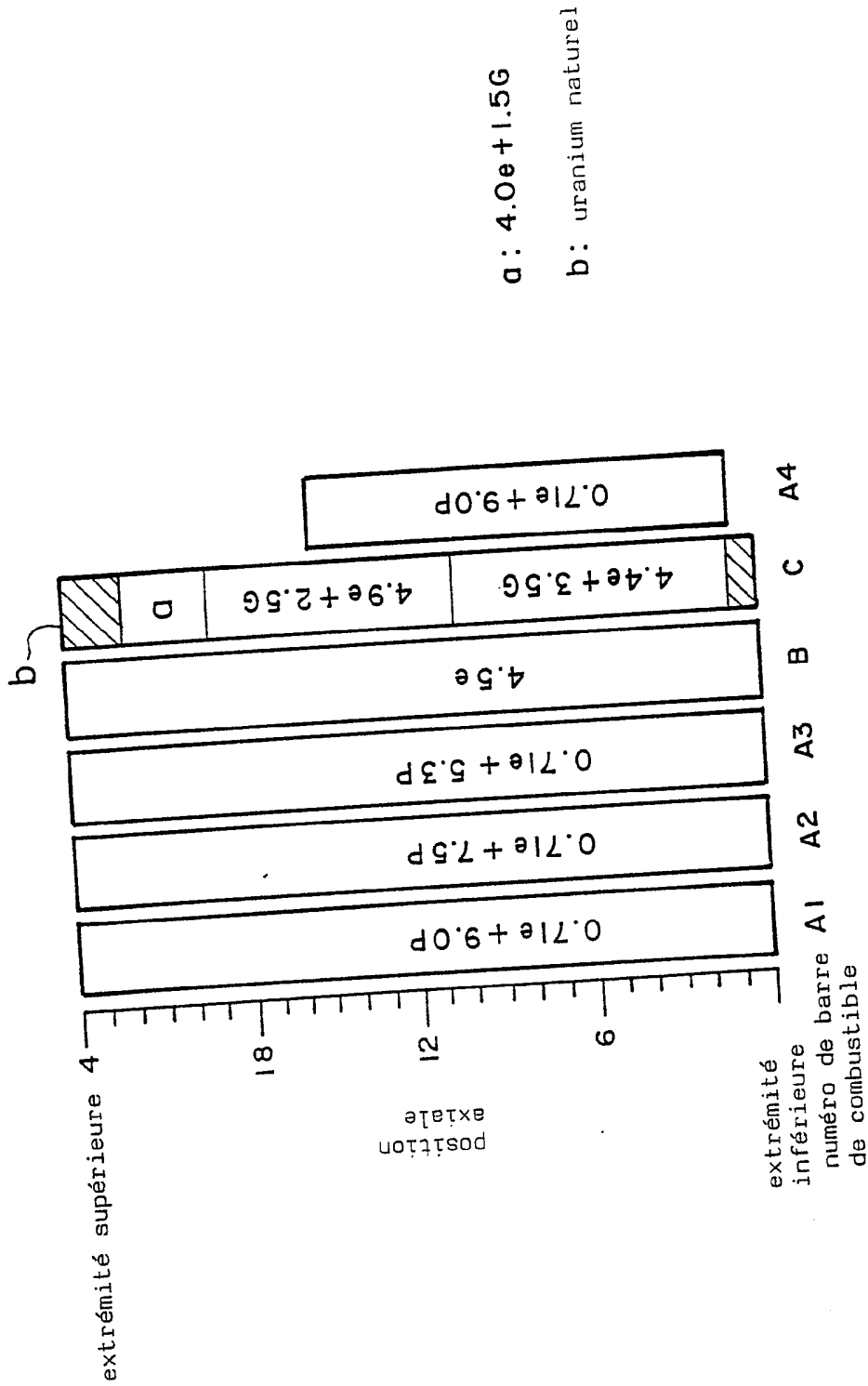


FIG. 30

1.25	1.34	1.29	1.27	1.25	1.28	1.29	1.35	1.26
1.06	0.95	0.41	0.92	0.42	0.97	1.07	1.35	
0.40	0.92	0.44	1.05	0.41	0.97	1.29		
1.27				1.05	0.41	1.28		
				0.44	0.92	1.25		
			1.27	0.92	0.41	1.27		
			0.40	0.95	1.29			
			1.06	1.34				
			1.25					

FIG. 31



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE
établi en vertu de l'article 21 § 1 et 2
de la loi belge sur les brevets d'invention
du 28 mars 1984

Numero de la demande
nationale

BE 9100387
BO 2915

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes			
X	US-A-3 933 582 (MACNABB) * colonne 3, ligne 33 - ligne 37; figures 1,2,5 * * colonne 4, ligne 22 - ligne 35 *	1-3, 10, 11, 12	G21C3/326	
X	US-A-3 745 069 (SOFER ET AL.) * colonne 3, ligne 37 - ligne 63; figures 2-6 * * colonne 4, ligne 27 - ligne 51 *	1, 9, 12, 13		
E	EP-A-0 456 969 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) * page 12, ligne 39 - page 13, ligne 17; figures 4,6 *	1-5, 7-10, 12, 13		
A	DE-A-3 308 956 (GENERAL ELECTRIC CO.) * page 15 - page 21; figures 4-6H *	1-3, 5, 7, 10, 11		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)	
			G21C	
Date d'achèvement de la recherche 04 MARS 1993			Examineur JANDL	
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 03.82 (P0448)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET BELGE NO.**

BE 9100387
BO 2915

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

04/03/93

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US-A-3933582	20-01-76	Aucun	
US-A-3745069	10-07-73	Aucun	
EP-A-0456969	21-11-91	US-A- 5089210 JP-A- 4220596	18-02-92 11-08-92
DE-A-3308956	29-09-83	JP-C- 1713230 JP-B- 3078599 JP-A- 58179392 SE-A- 8300979 US-A- 4629599	27-11-92 16-12-91 20-10-83 23-09-83 16-12-86

EPO FORM P0463

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82