

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2011/128258 A1

(43) Date de la publication internationale
20 octobre 2011 (20.10.2011)

(51) Classification internationale des brevets :
G21C 1/02 (2006.01) G21C 5/20 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2011/055497

(22) Date de dépôt international :
8 avril 2011 (08.04.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
10 52745 12 avril 2010 (12.04.2010) FR

(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :
Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives [FR/FR]; 25 rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR). **ELECTRICITE DE FRANCE** [FR/FR]; 22-30 Avenue de Wagram, F-75008 Paris (FR). **AREVA NP** [FR/FR]; Tour Areva, 1 place Jean Millier, F-92084 Paris La Defense (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **VARAINE, Frédéric** [FR/FR]; Villa 26, Le Petit Nice, 3 chemin du

Four, F-13100 Aix En Provence (FR). **SCIORA, Pierre** [FR/FR]; Appt 19, Résidence l'Espadon, 63 traverse F. Pelloutier, F-84120 Pertuis (FR). **BUIRON, Laurent** [FR/FR]; 9 rond Point Mermoz, F-13770 Venelles (FR).

(74) Mandataire : **ILGART, Jean-Christophe**; Brevaux, 95 rue d'Amsterdam, F-75378 Paris Cedex 8 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : LIQUID-METAL-COOLED FAST-NEUTRON REACTOR CORE HAVING A LOW DRAINING EFFECT

(54) Titre : COEUR DE RÉACTEUR A NEUTRONS RAPIDES, REFROIDI PAR UN MÉTAL LIQUIDE, A FAIBLE EFFET DE VIDANGE

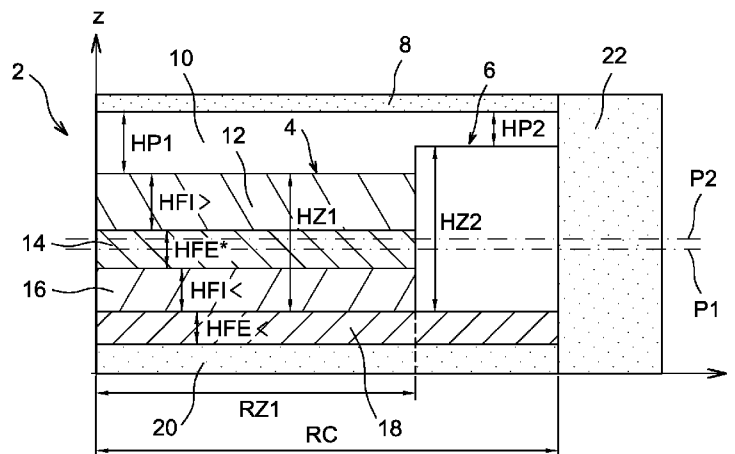


FIG. 1

(57) Abstract : The invention relates to a liquid-metal-cooled fast-neutron reactor core having a low draining effect. The core comprises, from top to bottom, a neutron-absorbing upper zone (8), a liquid-metal plenum zone (10), an upper fertile zone (12), an intermediate fertile zone (14) and a lower fissile zone (16). The horizontal mid-plane (P1) of the intermediate fertile zone, of height HFE*, lies beneath the horizontal mid-plane (P2) of the assembly formed by the lower and upper fissile zones and the intermediate fertile zone, the ratio of HFE* to the height of this assembly varying from 0.25 to 0.40.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



WO 2011/128258 A1



LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, **Publiée :**
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, — *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Coeur de réacteur à neutrons rapides, refroidi par un métal liquide, à faible effet de vidange. Il comprend de haut en bas une zone neutrophage supérieure (8), une zone de plénum de métal liquide(10), une zone fissile supérieure(12), une zone fertile intermédiaire(14), une zone fissile inférieure(16); le plan médian horizontal(P1) de la zone fertile intermédiaire, de hauteur HFE*, est situé au dessous du plan médian horizontal (P2) de l'ensemble formé par les zones fissiles inférieure et supérieure et la zone fertile intermédiaire; et le rapport de HFE* à la hauteur de cet ensemble va de 0,25 à 0,40.

**COEUR DE REACTEUR A NEUTRONS RAPIDES, REFROIDI PAR UN
METAL LIQUIDE, A FAIBLE EFFET DE VIDANGE**

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un cœur de
5 réacteur à neutrons rapides, refroidi par un métal
liquide, à faible effet de vidange.

Elle s'applique notamment à un tel réacteur
dans lequel le caloporteur (en anglais, *coolant*) est le
sodium liquide, mais n'est pas limitée à l'utilisation
10 de ce métal liquide en tant que fluide de
refroidissement du cœur : dans l'invention, le
caloporteur peut être un autre métal liquide.

La présente invention vise à améliorer la
sûreté du cœur d'un réacteur à neutrons rapides,
15 refroidi par un métal liquide, dans une gamme de
puissances allant de 50 à 5000 MWth, en adaptant la
conception du cœur.

La présente invention consiste à mettre en
œuvre une conception de cœur telle que les lois
20 physiques, qui régissent les réactions nucléaires lors
de transitoires accidentels conduisant à la perte du
caloporteur, tendent naturellement à étouffer tout
emballement potentiel du réacteur.

L'invention vise à obtenir un effet de
25 vidange (en anglais, *void effect*) négatif ou proche de
zéro dans un réacteur à neutrons rapides, en
particulier lorsque le caloporteur est le sodium.

Cet effet est positif dans les réacteurs à
neutrons rapides, refroidis par le sodium liquide, de

taille importante (typiquement, supérieure à 800MWe),
qui ont été conçus à ce jour. Lors de certains
transitoires accidentels, conduisant à la vidange du
sodium dans le cœur, il se produit une augmentation
5 significative de la réactivité du cœur. Cette
augmentation peut conduire à la destruction du cœur
par fusion locale ou généralisée des assemblages
combustibles.

Rappelons que l'effet de vidange agit sur
10 la réactivité du réacteur et s'exprime en dollars. Il
est imputable à la perte du caloporteur.

Plus précisément, on définit un coefficient
de vidange (en anglais, *void coefficient*) (exprimé en
dollars) qui traduit la variation du facteur de
15 multiplication du réacteur lorsque le caloporteur n'est
plus présent dans le cœur. Si ce coefficient est
positif, la vidange se traduira par une augmentation de
la réactivité et de la puissance. S'il est négatif, cet
effet tendra à arrêter la réaction en chaîne.

20 Rappelons aussi que le dollar est une unité
de réactivité. Un dollar (\$) correspond à une
augmentation de réactivité comptée par rapport à la
proportion de neutrons retardés (en anglais, *delayed
neutron fraction*).

25

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Le problème de la réduction de l'effet de
vidange n'est pas résolu actuellement pour les cœurs de
forte puissance unitaire (supérieure à 800MWe),
30 notamment ceux qui sont prévus pour les filières
industrielles.

La maîtrise de cet effet implique de mettre en place des systèmes actifs permettant d'assurer un comportement du réacteur acceptable lors de transitoires accidentels.

5 Diverses conceptions du cœur d'un réacteur à neutrons rapides ont déjà été proposées en vue de réduire l'effet de vidange.

On se reportera à l'article suivant:

A.N. Chebeskov, « Evaluation of Sodium Void Reactivity On the BN-800 Fast Reactor Design », Physor
10 1996, vol. 2, C-49.

La conception décrite dans cet article est associée au réacteur BN-800. Selon cette conception, une plaque fertile interne (entre deux zones de
15 matériau fissile) et un plénum sodium (en anglais, *sodium plenum*) associé sont prévus. Le but recherché est essentiellement le passage de l'effet de vidange sous la valeur de 0\$.

Cela conduit à des cœurs de type
20 « galette » ayant souvent des rayons très importants.

Une comparaison internationale de simulation d'un tel concept sous l'égide de l'AIEA («Evaluation of benchmark calculations on a fast power reactor core with near zero sodium void effect») a
25 montré une surestimation du gain annoncé sur l'effet de vidange. On se reportera au document **IAEA-TECDOC-731**, Janvier 1994

On se reportera aussi à l'article suivant :

30 **T. Takeda et al.**, « Optimization of Internal Blanket Configuration of Large Fast Reactor »,

Short Note, Journal of Nuclear Science and Technology, 30, pp. 481-484, 1983.

Il s'agit d'une étude paramétrique portant sur une plaque fertile interne dont la hauteur et le rayon varient. On cherche à avoir un faible effet de vidange, tout en conservant le couplage de deux zones axiales fissiles.

Les conclusions tirées dans cet article sont partielles car l'étude paramétrique est limitée : la géométrie de cœur étudiée est fixée à 1m, ce qui est différent de la présente invention.

De plus, la conception proposée ne comporte aucun « creuset », c'est-à-dire aucune différence de hauteur entre la partie interne et la partie externe du cœur, contrairement à ce qui est proposé dans un mode de réalisation préféré de la présente invention.

Enfin, la présence d'une zone de « gas plenum », à la partie supérieure des aiguilles dans le plenum, suggère une conception de plenum, avec une quantité d'acier importante. Cette conception est différente de celle qui est utilisée dans la présente invention.

On se reportera en outre à l'article suivant :

T. Yokoyama et al., « A study on reactivity insertion controlled LMR cores with metallic fuel », Progress in Nuclear Energy, vol. 47, pp. 251-259, 2005.

Il s'agit d'une étude portant sur un cœur à combustible métallique. La forme de creuset y est utilisée sans plaque fertile interne, et l'effet de vidange reste important.

On connaît aussi, par le document **FR 2 679 062**, un cœur de réacteur surgénérateur rapide et un assemblage combustible utilisé dans un tel cœur.

5 **EXPOSÉ DE L'INVENTION**

La présente invention propose une nouvelle conception du cœur d'un réacteur à neutrons rapides, refroidi par un métal liquide, permettant de réduire de façon très importante l'effet de vidange, voire de rendre ce dernier négatif.

Les effets des anciennes conceptions, comme celles de EFR (European Fast Reactor) ou SUPERPHENIX, conduisaient à des effets de vidange de l'ordre de 5 à 7 \$.

La présente invention permet d'obtenir un effet de vidange nul, voire de rendre cet effet négatif.

Pour ce faire, l'invention combine plusieurs caractéristiques ; et cette combinaison a des effets physiques sur la redistribution axiale du flux neutronique, effets qui amplifient les gains.

L'invention met en œuvre une zone fertile intermédiaire, par exemple en uranium naturel, appauvri ou issu du retraitement, qui est comprise entre deux zones fissiles et dont le plan médian est placé sous le plan médian de l'ensemble des trois zones.

Cette zone fertile intermédiaire peut ne concerner que la partie centrale du cœur ou l'ensemble de celui-ci. Et la hauteur de matériau fertile est comprise entre 25% à 40% de la hauteur totale (matériau fissile plus matériau fertile).

En outre, l'invention met en œuvre un plénum contenant le caloporteur, par exemple un plénum sodium dans le cas d'un réacteur refroidi par le sodium liquide. Au-dessus du plénum se trouve un matériau neutrophage (en anglais, *neutron absorbing*).

De plus, le cœur, objet de l'invention, peut éventuellement comporter une partie externe et une partie interne dont la hauteur peut être inférieure à celle de la partie externe, ce qui lui confère une forme de creuset.

L'invention permet une réduction de l'effet de vidange d'un réacteur à neutrons rapides, refroidi par un métal liquide, par exemple le sodium, y compris pour un réacteur de forte puissance unitaire.

Ceci améliore la sûreté du réacteur, et est susceptible de diminuer le nombre des systèmes actifs qui sont associés au réacteur, pour garantir la sûreté de son fonctionnement, et donc de réduire le coût du réacteur.

En outre, la présence de la zone intermédiaire en matériau fertile conduit à une amélioration du comportement des pastilles de combustible (en anglais, *fuel pellets*) vis-à-vis de la gaine (en anglais, *cladding*), et réciproquement, dans les assemblages combustibles que comporte le cœur, lors du fonctionnement nominal de ce dernier. En effet, cette zone intermédiaire est susceptible de limiter la corrosion à l'interface axiale fissile/fertile, et également de diminuer le facteur de forme axial.

Et la conception proposée dans l'invention autorise une teneur unique en matière fissile dans les

assemblages de combustible, alors que les conceptions connues nécessitent deux à trois teneurs différentes. Cela permet de simplifier le processus de fabrication de la matière fissile.

- 5 De plus, l'invention s'applique à tout cœur de réacteur à neutrons rapides, quels que soient
- le type de combustible (uranium, plutonium ou autre),
 - le type de matrice-support (matrice d'oxyde, matrice métallique, matrice de carbure, 10 matrice inerte, ou autre),
 - la géométrie des assemblages de combustible, et
 - le type de métal liquide de 15 refroidissement (sodium, plomb, ou autre).

De façon précise, la présente invention concerne un cœur de réacteur à neutrons rapides, refroidi par un métal liquide, comprenant, en allant de haut en bas du cœur :

- 20
- une zone supérieure de matériau fissile,
 - une zone intermédiaire de matériau fertile, et
 - une zone inférieure de matériau fissile,
- 25 zone intermédiaire de matériau fertile est au dessous du plan médian horizontal de l'ensemble formé par la zone supérieure de matériau fissile, la zone intermédiaire de matériau fertile et la zone inférieure de matériau fissile, et dans lequel le rapport R de la 30 hauteur de la zone intermédiaire de matériau fertile à la hauteur de l'ensemble formé par la zone supérieure

de matériau fissile, la zone intermédiaire de matériau fertile et la zone inférieure de matériau fissile est dans l'intervalle allant de 0,25 à 0,40 (les hauteurs étant comptées verticalement),

5 caractérisé en ce qu'il comprend en outre une zone absorbante supérieure, faite d'un matériau neutrophage, et, sous la zone absorbante supérieure, une zone de plénum de métal liquide, la zone supérieure de matériau fissile étant sous la zone de plénum de
10 | métal liquide.

De préférence, le rapport R est dans l'intervalle allant de 0,25 à 0,35.

Avantageusement, le cœur de réacteur à neutrons rapides, objet de l'invention, comprend en
15 | outre une zone inférieure de matériau fertile, située sous la zone inférieure de matériau fissile. Cette zone inférieure de matériau fertile permet de respecter les critères de régénération du cœur, c'est-à-dire d'avoir une production de matière fissile égale à la
20 | consommation de matière fissile (isogénération).

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, le cœur comprend, radialement, une zone interne, de hauteur HZ1 (hauteur de l'ensemble formé par la zone supérieure de matériau fissile, la zone
25 | intermédiaire de matériau fertile et la zone inférieure de matériau fissile), et une zone externe, de hauteur HZ2 (hauteur de l'ensemble formé par la zone supérieure de matériau fissile, la zone intermédiaire de matériau fertile et la zone inférieure de matériau fissile) ; et
30 | la zone intermédiaire de matériau fertile s'étend radialement au moins dans la zone interne, tandis que

la zone de plénum de métal liquide et la zone inférieure de matériau fertile s'étendent radialement dans la zone interne et la zone externe.

De préférence, le rapport $HZ1/HZ2$ est dans l'intervalle allant de 0,6 à 1. Ce rapport peut être égal à 1 ($HZ1=HZ2$). Mais il peut aussi être inférieur à 1 ($HZ1<HZ2$) auquel cas le cœur a une géométrie de type « creuset ».

De préférence, le rapport $HFI>/HZ1$ est dans l'intervalle allant de 0,3 à 0,5, où $HFI>$ représente la hauteur de la zone supérieure de matériau fissile de la zone interne (radialement).

Selon un mode de réalisation particulier du cœur, objet de l'invention, la zone interne du cœur forme un volume qui est délimité par un premier cylindre à base polygonale dont la génératrice est verticale, et la zone externe du cœur forme un autre volume qui est délimité, intérieurement, par ce premier cylindre et, extérieurement, par un deuxième cylindre à base polygonale dont la génératrice est parallèle à celle du premier cylindre.

De préférence, le rapport $RZ1/RC$ est supérieur ou égal à 0,75, où $RZ1$ représente le rayon moyen de la zone interne et RC le rayon externe moyen de la zone externe.

Le rayon moyen de la zone interne est le rayon du disque dont l'aire est égale à celle qui est délimitée par la base (également appelée directrice) du premier cylindre.

Le rayon externe moyen de la zone externe est le rayon du disque dont l'aire est égale à celle qui est délimitée par la base du deuxième cylindre.

De préférence, la hauteur de la zone de plénum de métal liquide dans la zone interne est au moins égale à 20 cm.

De préférence, la hauteur de la zone de plénum de métal liquide dans la zone externe est au moins égale à 20 cm.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la zone intermédiaire de matériau fertile s'étend en outre dans la zone externe.

Revenons sur les documents **Takeda et al.** et **FR 2 679 062** qui ont été mentionnés plus haut.

L'article de **T. TAKEDA et al.** ne divulgue ni ne suggère deux caractéristiques essentielles du cœur de réacteur, objet de la présente invention, à savoir la zone absorbante supérieure, faite d'un matériau neutrophage, et sous cette zone, la zone de plénum de métal liquide qui est au-dessus de la zone supérieure de matériau fissile et donc au dessous des éléments combustibles.

La présente invention satisfait donc à deux conditions, à savoir la présence d'un matériau neutrophage à la partie supérieure de l'assemblage et l'utilisation d'éléments combustibles qui ne traversent pas le plénum de métal liquide. Ces deux conditions sont nécessaires pour obtenir un cœur de réacteur à neutrons rapides, refroidi par un métal liquide, dans lequel on réduit de façon très importante l'effet de vidange, voire on rend ce dernier négatif.

Il convient de noter que la partie supérieure de la configuration proposée sur la figure 1 de l'article de Takeda et al. est constituée d'un « gas plenum » qui n'est en aucun cas un matériau neutrophage.

Un « gas plenum » est constitutif d'un élément combustible et a pour fonction de retenir les gaz de fission. Ceci se traduit par la présence de l'élément combustible jusqu'à la cote 270 indiquée sur la figure 1 de Takeda et al. Il en résulte donc que la zone appelée « Na region », située en dessous, est traversée par l'élément combustible qui doit être continu pour que la région appelée « gas plenum » puisse remplir son rôle.

Dans le document **FR 2 679 062** sont présentées des configurations géométriques de cœur qui diffèrent fondamentalement de la présente invention. En effet, en aucun cas, ces configurations ne comportent un matériau neutrophage à leur partie supérieure. Or, la présence d'un matériau neutrophage à la partie supérieure du cœur est une caractéristique essentielle de la présente invention et contribue à lui donner des performances uniques en termes de baisse de l'effet de vidange du caloporteur.

Il convient d'ailleurs de noter que les structures qui sont représentées sur les figures 3, 4 et 5 du document ne comportent aucun matériau au-dessus de la zone de réflecteur sodium, et que celles qui sont représentées sur les figures 11, 12, 13 et 14 du document comportent, à leur partie supérieure, un

matériau fertile qui n'est en aucun cas un matériau neutrophage.

Rappelons qu'un matériau neutrophage est un matériau dont les caractéristiques physiques lui confèrent la capacité de capturer les neutrons, et qu'un matériau fertile est un matériau dont les caractéristiques physiques lui confèrent la capacité de produire un matériau fissile sous flux neutronique. Bien qu'un matériau fertile capture des neutrons, il produit des éléments fissiles qui, eux, produisent des neutrons.

La présente invention ne pourrait fonctionner avec un tel matériau fertile.

15 **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe radiale schématique et partielle d'un mode de réalisation particulier du cœur de réacteur à neutrons rapides, objet de l'invention,

- la figure 2 est une vue en coupe radiale schématique et partielle d'un cœur de réacteur à neutrons rapides connu, et

- les figures 3 et 4 sont des vues en coupe radiale schématiques et partielles d'autres modes de

réalisation particuliers du cœur de réacteur à neutrons rapides, objet de l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

5 La figure 1 est une vue en coupe radiale schématique et partielle d'un exemple du cœur de réacteur à neutrons rapides, objet de l'invention. Le cœur 2 de la figure 1 est refroidi par un métal liquide qui est le sodium dans l'exemple.

10 Le cœur 2 forme un volume qui est délimité par un cylindre à base polygonale, ou cylindre externe, dont la génératrice est verticale et dont le rayon moyen est noté RC.

15 Pour la modélisation du cœur 2, on peut utiliser une géométrie simplifiée de type cylindrique, à base circulaire. Mais ce cœur est en fait constitué de couronnes, ou volumes, délimitées par des cylindres à bases polygonales avec, au centre du cœur, une partie cylindrique à base polygonale.

20 Les hauteurs dont il sera question par la suite sont comptées suivant un axe vertical z qui est parallèle à la génératrice mentionnée ci-dessus ; et les rayons, notamment le rayon RC, sont comptés suivant un axe horizontal r (qui est perpendiculaire à l'axe
25 z).

Le cœur 2 comprend une zone interne 4, de hauteur HZ1, et une zone externe 6, de hauteur HZ2.

La zone interne 4 forme un volume délimité par un cylindre à base polygonale, ou cylindre interne,

dont la génératrice est parallèle à la génératrice mentionnée ci-dessus et dont le rayon moyen est noté RZ1.

Et la zone externe 6 forme un autre volume, ou couronne, qui est délimité par les cylindres interne et externe, dont la génératrice est parallèle à la génératrice mentionnée ci-dessus et dont le rayon interne moyen et le rayon externe moyen valent respectivement RZ1 et RC.

10

On précise que les bases (également appelées directrices) polygonales, que l'on a mentionnées ci-dessus, peuvent être des polygones, par exemple des hexagones. Ces polygones, en particulier ces hexagones, peuvent être réguliers mais pas nécessairement.

Dans l'exemple de la figure 1, la base de chacun des cylindres considérés forme un hexagone régulier et l'on peut alors parler de l'axe commun à ces cylindres, à savoir l'axe z sur la figure 1.

Conformément à l'invention, le cœur 2 comprend, en allant de haut en bas du cœur :

- une zone absorbante supérieure 8, faite d'un matériau neutrophage,
- 25 - une zone de plénum de sodium 10,
- une zone supérieure de matériau fissile 12,
- une zone intermédiaire de matériau fertile 14,
- 30 - une zone inférieure de matériau fissile 16, et

- une zone inférieure de matériau fertile 18, qui est optionnelle.

De plus, le plan médian horizontal P1 de la zone intermédiaire de matériau fertile est situé au
5 dessous du plan médian horizontal P2 de l'ensemble formé par la zone supérieure de matériau fissile 12, la zone intermédiaire de matériau fertile 14 et la zone inférieure de matériau fissile 16.

Dans l'exemple représenté, la zone
10 supérieure de matériau fissile 12, la zone intermédiaire de matériau fertile 14 et la zone inférieure de matériau fissile 16 s'étendent uniquement dans la zone interne 4 du cœur 2 ; mais la zone inférieure de matériau fertile 18 et la zone de plénum
15 de sodium 10 s'étendent dans la zone interne 4 et la zone externe 6 ; et la zone externe 6 est faite uniquement de matériau fissile.

On peut utiliser des matériaux fissiles différents dans les zones 12, 16 et 6. Mais on peut
20 aussi utiliser le même matériau fissile (par exemple uranium ou oxyde mixte uranium-plutonium) pour ces trois zones, comme le permet l'invention.

Et, en tant que matériau fertile, on peut par exemple utiliser l'uranium 238.

25 De plus, le cœur 2 est pourvu

- d'une zone inférieure 20, faite d'un matériau réflecteur de neutrons, plus simplement appelé matériau réflecteur, sous la zone inférieure de matériau fertile 18, et

- d'une zone périphérique 22, également faite d'un matériau réflecteur, qui entoure le cœur 2 et se raccorde à la zone 8 en matériau neutrophage et à la zone 20 en matériau réflecteur, comme on le voit.

5 A titre d'exemple, la zone 8 est faite pour partie de carbure de bore constituant le matériau neutrophage, la zone 20 est faite de blocs d'acier, traversés par du sodium, et la zone 22 est faite d'assemblages en acier.

10 Sur la figure 1, on a seulement représenté les éléments du cœur 2 qui permettent la compréhension de l'invention. Par exemple, les emplacements des barres de contrôle du réacteur ne sont pas représentés.

De plus, comme on le sait, le cœur 2
15 résulte d'un ensemble d'éléments combustibles verticaux, à savoir les aiguilles de combustible (en anglais, *fuel pins*), qui ne sont pas représentés sur la figure 1.

La nature d'une aiguille dépend de
20 l'emplacement de celle-ci et donc de la coordonnée r. De plus, chaque aiguille comporte un empilement (vertical) d'éléments dans une gaine, et la nature d'un élément dépend de sa position, comptée suivant l'axe z.

Parmi ces éléments, on trouve des
25 pastilles ; et, suivant sa position (comptée suivant l'axe Z), une pastille peut être faite d'un matériau fissile ou d'un matériau fertile.

Seule la géométrie globale du cœur 2 est représentée sur la figure 1. Les zones de matériau
30 fissile ou de matériau fertile dont il a été question

plus haut résultent précisément des assemblages de pastilles que l'on a utilisés.

Les conditions suivantes sont respectées dans le cœur 2, quelle que soit la puissance de ce dernier :

- le rapport R de la hauteur HFE^* de la zone intermédiaire de matériau fertile 14 à la hauteur $HFI> + HFE^* + HFI<$ de l'ensemble formé par la zone supérieure de matériau fissile 12, de hauteur $HFI>$, la zone intermédiaire de matériau fertile 14 et la zone inférieure de matériau fissile 16, de hauteur $HFI<$, est dans l'intervalle allant de 0,25 à 0,40 (ainsi la hauteur de la « plaque fertile interne », c'est-à-dire la zone intermédiaire de matériau fertile 14, dépend-elle de la hauteur de la « zone fissile interne », c'est-à-dire l'ensemble des zones 12 et 16) ;

- le rapport $HZ1/HZ2$ est dans l'intervalle allant de 0,6 à 1 (ainsi la hauteur de la zone interne dépend-elle de la hauteur de la zone externe) ;

- le rapport $HFI>/HZ1$ est dans l'intervalle allant de 0,3 à 0,5 (ainsi impose-t-on une condition sur la position de la plaque fertile interne au sein de la zone interne) ;

- le rapport $RZ1/RC$ est supérieur ou égal à 0,75 (ainsi le rayon de la zone interne dépend-il du rayon total du coeur) ;

- la hauteur de la zone de plénum de sodium dans la zone interne 4 est supérieure à 20 cm ; et la hauteur de la zone de plénum de sodium dans la zone externe 6 est aussi supérieure à 20 cm (ainsi

impose-t-on des conditions sur la hauteur minimale de plénum au-dessus de la zone fissile).

Le cœur 2 est optimisé pour permettre un pilotage du réacteur satisfaisant. En effet, l'ajout
5 d'une plaque fertile interne (zone 14) tend à découpler les deux zones axiales de combustible (zones 12 et 16) lorsque son épaisseur devient trop importante.

Il a été vérifié que, dans les marges de conception proposées, la courbe d'efficacité des barres
10 de contrôle était compatible avec le pilotage du cœur. Les publications antérieures étudient ce point de conception de manière simplifiée.

L'intérêt du cœur, objet de l'invention, en particulier du cœur 2, repose avant tout sur un effet
15 amplificateur, résultant de l'association de caractéristiques individuelles qui réduisent l'effet de vidange, caractéristiques qui avaient été présentées de manière isolée dans l'art antérieur.

Le cœur, objet de l'invention, en particulier le cœur 2, les réunit dans un agencement
20 bien précis. Cela permet de corrélérer leurs avantages respectifs de façon conséquente et amplifiée.

L'effet obtenu (le gain sur l'effet de vidange) est près de deux fois supérieur à l'effet
25 escompté en sommant les différents effets pris individuellement.

En particulier, la géométrie de type « creuset » ($HZ1/HZ2 < 1$ c'est-à-dire $HZ1 < HZ2$) répond
30 bien aux objectifs visés, à savoir la réduction de l'effet de vidange, la possibilité de piloter le cœur et l'optimisation du diamètre du cœur.

Les gains obtenus ont été évalués pour la situation la plus pénalisante (fin de cycle). En plus du gain direct sur l'effet de vidange, à savoir un passage de 5\$ à -0,5\$, d'autres gains ont été mis en

5 évidence :

- des gains lors de transitoires accidentels :

- gains sur les températures du sodium lors d'accidents de perte de débit primaire,

10 • gains sur les températures d'étouffement du cœur, et

• marges sur les temps avant la perte de l'intégrité des structures, lors des transitoires de type perte de source froide (ULOHS pour Unprotected Loss of Heat Sink, ULOSSP pour Unprotected Loss of

15 Station Service Power),

- des gains sur le comportement du combustible, dus à un historique de puissance linéique maximale décroissant,

20 - des gains potentiels en ce qui concerne la corrosion des gaines des aiguilles, et

- la possibilité d'avoir une seule teneur en matière fissile pour l'ensemble du cœur, ce qui peut compenser la légère complexification du processus de fabrication, lié à la présence de la plaque fertile interne (zone 14).

25

Enfin, on peut noter qu'un cœur conforme à l'invention s'inscrit dans les critères que l'on vise pour la quatrième génération de réacteurs.

Afin de confirmer les résultats mentionnés

30 ci-dessus, plusieurs études ont été menées :

- Plusieurs calculs du cœur et de l'effet de vidange ont été menés de façon indépendante, avec le code de calcul ERANOS qui utilise des schémas de calcul différents, et ont confirmé les résultats (vérification croisée).
5
- Des calculs ont été réalisés afin de s'assurer que les effets géométriques étaient bien prédits par ERANOS, qui est un code déterministe : les écarts absolus sur l'effet de vidange sont de l'ordre de
10 0,3\$ et ne remettent pas en cause l'invention.
- En outre, plusieurs expériences intégrales avaient été réalisées, par le passé, sur les différentes caractéristiques individuelles, utilisables dans un coeur conforme à l'invention.

15 Deux de ces expériences portaient sur les cœurs hétérogènes axiaux (composition des aiguilles différentes selon l'axe z) alors qu'une autre expérience étudiait l'effet de vidange dans des assemblages comportant un plénum.

20 Et une expérience d'irradiation a montré que la plaque fertile interne (zone 14) limitait la corrosion des gaines, ce qui permet d'augmenter le taux de combustion.

25 L'optimisation géométrique des différents rapports de hauteurs et de rayons, mentionnés plus haut, permet de maximiser le niveau et le gradient de flux à l'interface du milieu fissile supérieur, de la zone interne et du plénum.

30 Grâce à cet agencement, le niveau du flux en cet interface est amplifié d'environ 30% par rapport à un cœur homogène de même puissance.

Les fuites, dans le cas d'une situation de vidange, sont donc augmentées de façon très conséquente.

Les fuites axiales vers le plénum, et donc
5 l'effet de vidange, sont directement dépendants de l'épaisseur de la plaque fertile, de sa position axiale, de sa longueur radiale, ainsi que de la hauteur du creuset.

Afin de quantifier les gains, on a réalisé
10 une comparaison entre un cœur de 2400 MWth, de configuration standard (cœur homogène), et un cœur de même puissance, conforme à l'invention.

Le cœur homogène 24, de configuration standard, est schématiquement et partiellement
15 représenté sur la figure 2. Il présente une symétrie cylindrique autour de l'axe z.

Il comporte des zones fissiles interne 26 et externe 28 entre deux zones fertiles 30 et 32. La zone 26 et la zone 28 sont faites de matériaux fissiles
20 différents l'un de l'autre.

En outre, comme on le voit, une zone 33 en matériau neutrophage est prévue au-dessus de la zone
30, une zone 34 en matériau réflecteur est prévue en dessous de la zone 32, et l'ensemble du cœur est
25 entouré d'un matériau réflecteur 35.

Une modélisation en trois dimensions a été effectuée ; dans celle-ci, chaque assemblage était fondé sur un réseau d'aiguilles hexagonal. Le caloporteur était du sodium, et le combustible utilisé
30 de l'oxyde de plutonium et d'uranium (dans des aiguilles pourvues d'une gaine métallique). Le code de

calcul utilisé était ERANOS, code de référence actuel pour les réacteurs rapides refroidis au sodium.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs de vidange pour les deux cœurs ; il utilise les paramètres suivants :

zone neutrophage 8 en B₄C de 70 cm d'épaisseur ; HFI> = 32,5 cm ; HFE* = 25 cm ; HFI< = 22,5 cm ; HFE< = 30 cm ; HZ1 = 80 cm ; RZ1 = 1,9 m ; RC = 2,3 m ; HZ2 = 1 m.

10

	Cœur homogène	Cœur de l'invention
<i>Puissance</i>		
Puissance thermique (MWth)	2400	2400
Puissance électrique (Mwe)	1000	1000
<i>Vidange</i>		
Effet de vidange (\$)	4,73	-0,60

Le gain sur cette configuration est supérieur à 5 \$ et entraîne, pour le cœur de l'invention, un effet de vidange global négatif, tout à fait conforme aux résultats escomptés.

L'ensemble des vérifications pour ce cas précis ont été réalisées par des calculs de neutronique, des calculs de transitoires et des calculs de thermique pour le combustible.

Ces calculs ont permis de vérifier le bon comportement du cœur et d'en évaluer les gains potentiels.

La figure 3 est une vue schématique et partielle d'un autre mode de réalisation particulier de l'invention.

25

Comme on le voit, l'exemple de la figure 3 diffère simplement de celui de la figure 1 par le fait que, dans le coeur de la figure 3, la zone intermédiaire de matériau fertile 14 s'étend aussi dans la zone externe 6 du coeur 2 et donc à travers un matériau fissile.

La figure 4 est une vue schématique et partielle d'un autre mode de réalisation particulier de l'invention.

Comme on le voit, l'exemple de la figure 4 diffère simplement de celui de la figure 3 par le fait que, dans le coeur de la figure 4, HZ1 et HZ2 sont égaux de sorte que HP1 et HP2 le sont également.

Selon un autre mode de réalisation particulier non représenté, HZ1 et HZ2 sont égaux mais la zone intermédiaire de matériau fertile ne s'étend que dans la zone interne 4 du cœur 2.

REVENDICATIONS

1. Cœur (2) de réacteur à neutrons rapides, refroidi par un métal liquide, comprenant, en allant de haut en bas du cœur (2) :

- une zone supérieure de matériau fissile (12),
- une zone intermédiaire de matériau fertile (14), et
- une zone inférieure de matériau fissile (16),

dans lequel le plan médian horizontal (P1) de la zone intermédiaire de matériau fertile (14) est situé au dessous du plan médian horizontal (P2) de l'ensemble formé par la zone supérieure de matériau fissile (12), la zone intermédiaire de matériau fertile (14) et la zone inférieure de matériau fissile (16), et dans lequel le rapport R de la hauteur de la zone intermédiaire de matériau fertile (14) à la hauteur de l'ensemble formé par la zone supérieure de matériau fissile (12), la zone intermédiaire de matériau fertile (14) et la zone inférieure de matériau fissile (16) est dans l'intervalle allant de 0,25 à 0,40,

caractérisé en ce qu'il comprend en outre une zone absorbante supérieure (8), faite d'un matériau neutrophage, et, sous la zone absorbante supérieure, une zone de plénum de métal liquide (10), la zone supérieure de matériau fissile étant sous la zone de plénum de métal liquide.

2. Cœur selon la revendication 1, dans lequel le rapport R est dans l'intervalle allant de 0,25 à 0,35.

3. Cœur selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, comprenant en outre une zone inférieure de matériau fertile (18), située sous la zone inférieure de matériau fissile (16).

4. Cœur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant, radialement, une zone interne (4), de hauteur $HZ1$, et une zone externe (6), de hauteur $HZ2$, dans lequel la zone intermédiaire de matériau fertile (14) s'étend radialement au moins dans la zone interne (4) tandis que la zone de plénum de métal liquide (10) et la zone inférieure de matériau fertile (18) s'étendent radialement dans la zone interne (4) et la zone externe (6).

5. Cœur selon la revendication 4, dans lequel le rapport $HZ1/HZ2$ est dans l'intervalle allant de 0,6 à 1.

6. Cœur selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, dans lequel le rapport $HZ1/HZ2$ est égal à 1.

7. Cœur selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, dans lequel le rapport $HZ1/HZ2$ est inférieur à 1.

8. Cœur selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, dans lequel le rapport $HFI>/HZ1$ est dans l'intervalle allant de 0,3 à 0,5, où $HFI>$ représente la hauteur de la zone supérieure de matériau fissile (12) de la zone interne.

9. Cœur selon l'une quelconque des revendications 4 à 8, dans lequel la zone interne (4) du cœur (2) forme un volume qui est délimité par un premier cylindre à base polygonale dont la génératrice est verticale, et la zone externe (6) du cœur (2) forme un autre volume qui est délimité, intérieurement, par ce premier cylindre et, extérieurement, par un deuxième cylindre à base polygonale dont la génératrice est parallèle à celle du premier cylindre.

10. Cœur selon la revendication 9, dans lequel le rapport $RZ1/RC$ est supérieur ou égal à 0,75, où $RZ1$ représente le rayon moyen de la zone interne (4) et RC le rayon externe moyen de la zone externe (6).

11. Cœur selon l'une quelconque des revendications 4 à 10, dans lequel la hauteur de la zone de plénum de métal liquide (10) dans la zone interne (4) est au moins égale à 20 cm.

12. Cœur selon l'une quelconque des revendications 4 à 10, dans lequel la hauteur de la zone de plénum de métal liquide (10) dans la zone externe (6) est au moins égale à 20 cm.

13. Cœur selon l'une quelconque des revendications 4 à 12, dans lequel la zone intermédiaire de matériau fertile (14) s'étend en outre dans la zone externe (6).

1 / 2

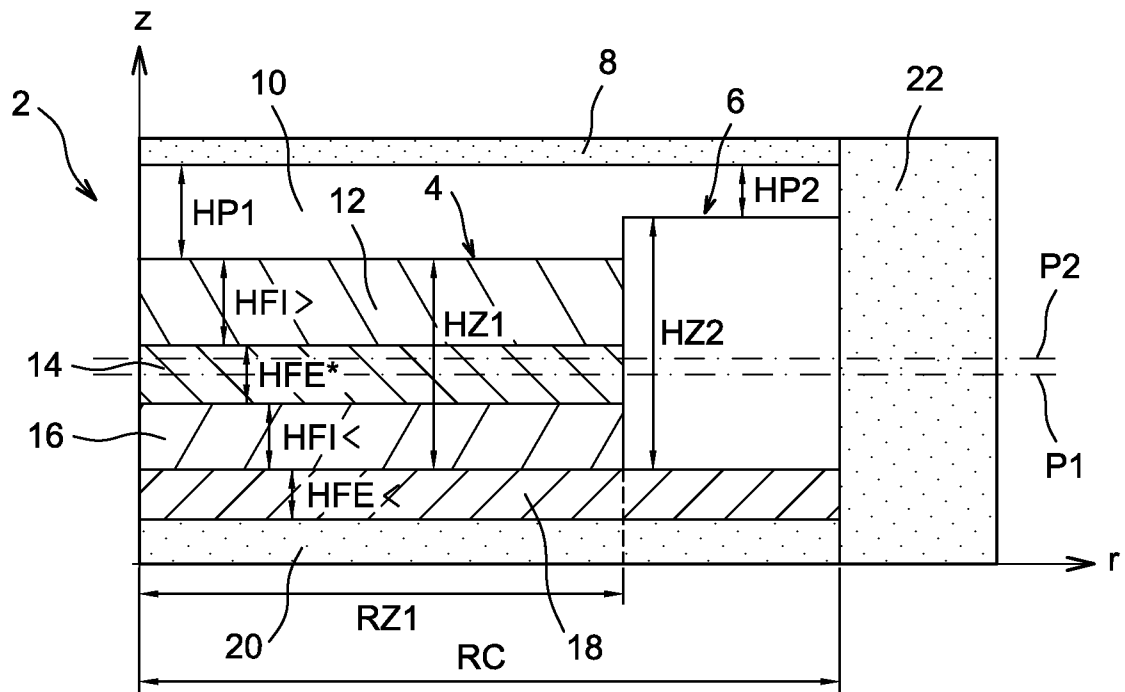


FIG. 1

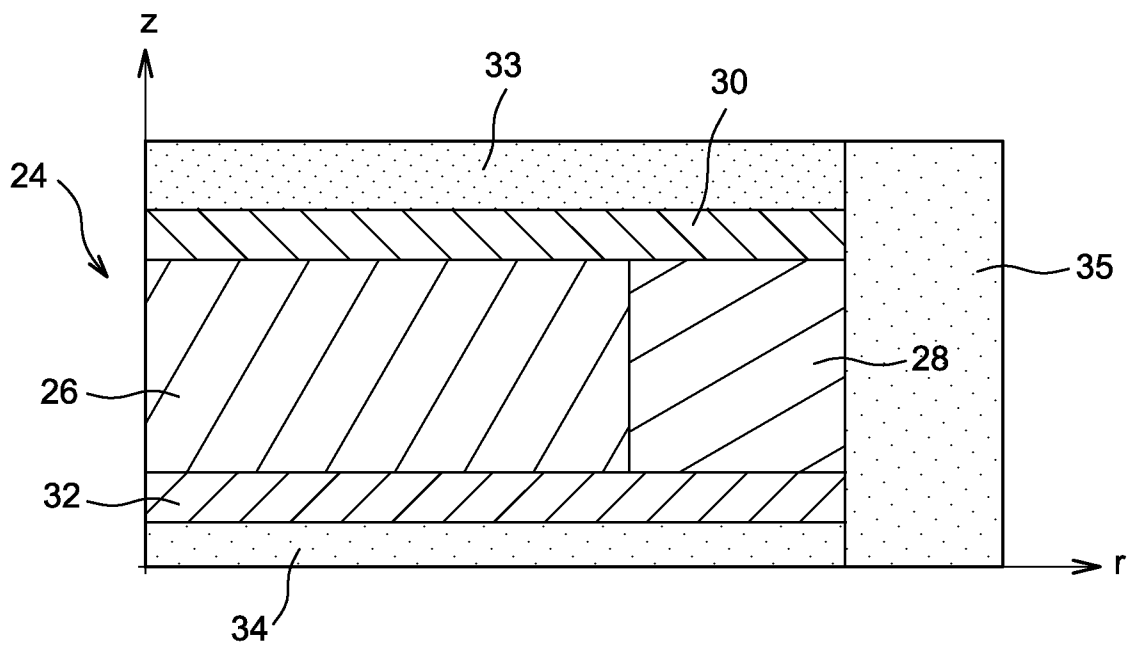


FIG. 2

2 / 2

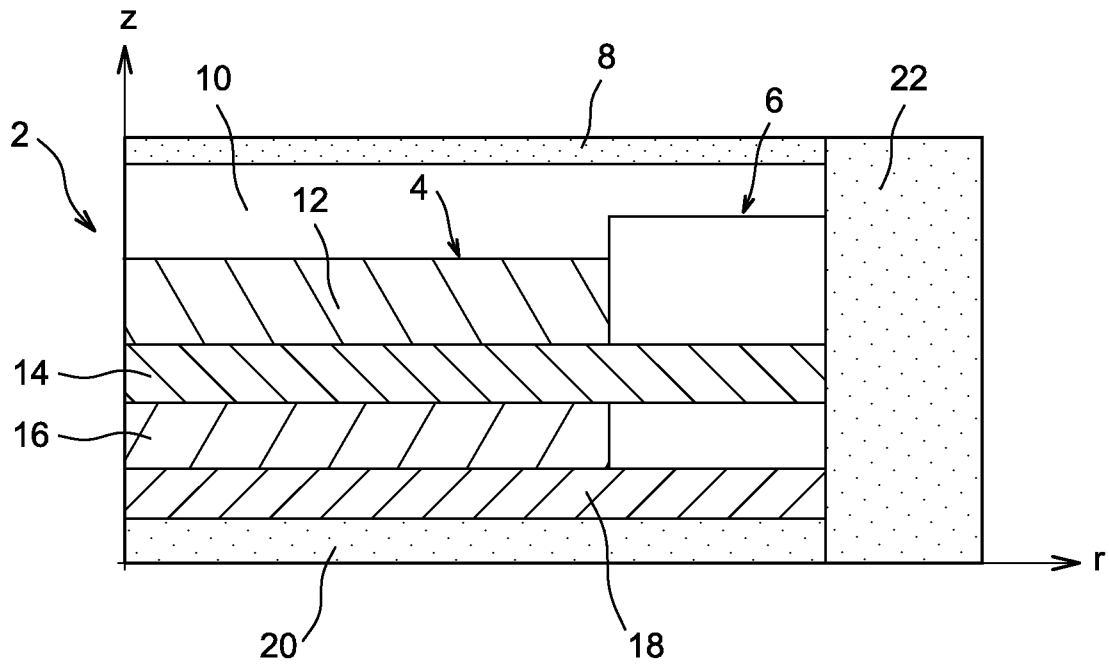


FIG. 3

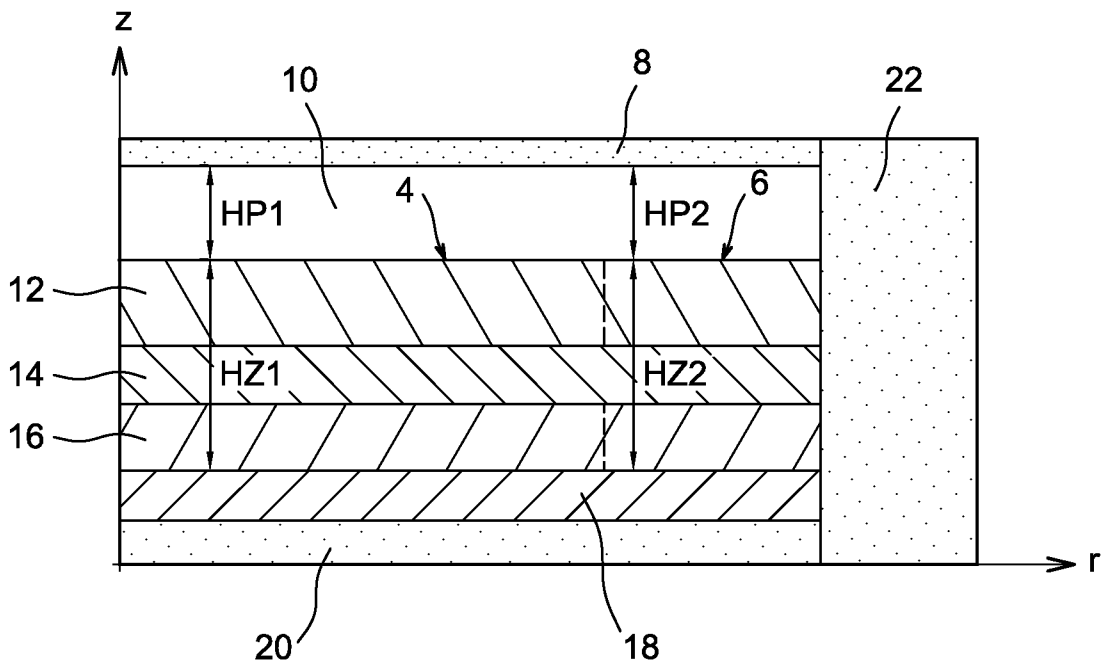


FIG. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/055497

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G21C1/02 G21C5/20
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G21C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	TAKEDA T ET AL: "Optimization of internal blanket configuration of large fast reactor", JOURNAL OF NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY, ATOMIC ENERGY SOCIETY OF JAPAN, JP, vol. 30, no. 5, 1 May 1993 (1993-05-01), pages 481-484, XP009140294, ISSN: 0022-3131 cited in the application figure 1 page 93, column 1, line 1 - column 2, line 11 ----- -/--	1-13

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 28 June 2011	Date of mailing of the international search report 05/07/2011
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Manini, Adriano
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/055497

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2 679 062 A1 (HITACHI LTD [JP]) 15 January 1993 (1993-01-15)	1-6
A	abstract; figures 1,2,3,5,8,10,11,13,15,17 page 10, line 21 - page 12, line 4 page 12, line 32 - page 14, line 3 page 15, line 28 - page 16, line 30 page 18, line 16 - page 19, line 32 -----	7-13
A	US 4 587 078 A (AZEKURA KAZUO [JP] ET AL) 6 May 1986 (1986-05-06) abstract; figures 1,4-8 column 1, lines 6-13 column 2, line 65 - column 3, line 47 column 5, lines 7-58 column 6, line 6 - column 7, line 2 -----	1-13
A	US 5 400 375 A (SUZUKI MASAO [JP] ET AL) 21 March 1995 (1995-03-21) abstract; figures 1-4,22-25 column 7, lines 26-36 column 13, line 52 - column 15, line 32 -----	1-13
A	Y. FUKUZAWA ET AL: "Safety Approach of DFBR Design Study in Japan", PROGRESS IN NUCLEAR ENERGY, vol. 32, no. 3/4, 1998, pages 613-620, XP009140381, abstract; figure 1 Partie "Reactor core" -----	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/055497

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2679062	A1	15-01-1993	NONE

US 4587078	A	06-05-1986	JP 1713996 C 27-11-1992
			JP 3078600 B 16-12-1991
			JP 58019592 A 04-02-1983

US 5400375	A	21-03-1995	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2011/055497

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G21C1/02 G21C5/20 ADD.				
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB				
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE				
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G21C				
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche				
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data				
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS				
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées		
X	TAKEDA T ET AL: "Optimization of internal blanket configuration of large fast reactor", JOURNAL OF NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY, ATOMIC ENERGY SOCIETY OF JAPAN, JP, vol. 30, no. 5, 1 mai 1993 (1993-05-01), pages 481-484, XP009140294, ISSN: 0022-3131 cité dans la demande figure 1 page 93, colonne 1, ligne 1 - colonne 2, ligne 11 ----- -/--	1-13		
<table border="0"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe </td> </tr> </table>			<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe			
* Catégories spéciales de documents cités:				
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets			
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 28 juin 2011		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 05/07/2011		
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Manini, Adriano		

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	FR 2 679 062 A1 (HITACHI LTD [JP]) 15 janvier 1993 (1993-01-15)	1-6
A	abrégé; figures 1,2,3,5,8,10,11,13,15,17 page 10, ligne 21 - page 12, ligne 4 page 12, ligne 32 - page 14, ligne 3 page 15, ligne 28 - page 16, ligne 30 page 18, ligne 16 - page 19, ligne 32 -----	7-13
A	US 4 587 078 A (AZEKURA KAZUO [JP] ET AL) 6 mai 1986 (1986-05-06) abrégé; figures 1,4-8 colonne 1, ligne 6-13 colonne 2, ligne 65 - colonne 3, ligne 47 colonne 5, ligne 7-58 colonne 6, ligne 6 - colonne 7, ligne 2 -----	1-13
A	US 5 400 375 A (SUZUKI MASAO [JP] ET AL) 21 mars 1995 (1995-03-21) abrégé; figures 1-4,22-25 colonne 7, ligne 26-36 colonne 13, ligne 52 - colonne 15, ligne 32 -----	1-13
A	Y. FUKUZAWA ET AL: "Safety Approach of DFBR Design Study in Japan", PROGRESS IN NUCLEAR ENERGY, vol. 32, no. 3/4, 1998, pages 613-620, XP009140381, abrégé; figure 1 Partie "Reactor core" -----	1-13

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2011/055497

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2679062	A1	15-01-1993	AUCUN	

US 4587078	A	06-05-1986	JP 1713996 C	27-11-1992
			JP 3078600 B	16-12-1991
			JP 5801952 A	04-02-1983

US 5400375	A	21-03-1995	AUCUN	
