

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 26.08.08.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.03.10 Bulletin 10/09.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : AREVA NP Société par actions simpli-
fiée — FR.

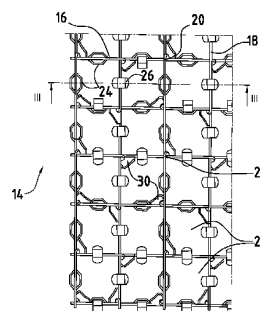
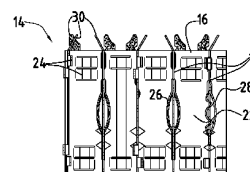
⑦2 Inventeur(s) : ROBIN JEAN PIERRE.

⑦3 Titulaire(s) : AREVA NP Société par actions simplifiée.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET LAVOIX.

⑤4 GRILLE D'ESPACEMENT POUR ASSEMBLAGE DE COMBUSTIBLE ET ASSEMBLAGE DE COMBUSTIBLE ASSOCIE.

⑤7 Cette grille d'espacement (14) définit une pluralité de cellules (22) de réception de crayons de combustible (6) s'étendant selon une direction longitudinale (L), la grille (14) comprenant des ailettes de mélange (30) de l'écoulement (E) du liquide de refroidissement. Au moins une ailette (30) de mélange comprend au moins une face présentant une pluralité d'irrégularités (32).



Grille d'espacement pour assemblage de combustible et assemblage de combustible associé

La présente invention concerne une grille d'espacement pour un assemblage de combustible pour réacteur nucléaire destiné à être traversé par un fluide de refroidissement, du type définissant une pluralité de cellules de réception de crayons de combustible s'étendant selon une direction longitudinale, la grille comprenant des ailettes de mélange de l'écoulement du liquide de refroidissement.

L'invention s'applique en particulier aux réacteurs à eau légère (REL) ou Light Water Reactor (LWR) en anglais, qu'ils soient à eau pressurisée (REP ou PWR - Pressurized Water Reactor) ou à eau bouillante (REB ou BWR -Boiling Water Reactor).

Dans les assemblages de combustible pour des réacteurs nucléaires à eau pressurisée, les crayons de combustible sont maintenus en place par un squelette comprenant généralement deux embouts d'extrémités reliés par des éléments allongés, tels que des tubes-guides, et plusieurs grilles d'espacement. Les grilles sont réparties le long des tubes-guides et forment des cellules de maintien des crayons de combustible agencés selon un réseau régulier et maintenus espacés les uns des autres.

Une fois placés dans le cœur d'un réacteur nucléaire, les assemblages sont traversés verticalement par de l'eau qui enrobe les crayons de combustible afin de les refroidir.

Il est souhaitable d'éviter l'apparition de points chauds sur les gaines des crayons de combustible. En effet, de tels points chauds pourraient favoriser l'apparition d'un régime d'ébullition locale qui pourrait entraîner une rupture de la gaine.

Pour éviter l'apparition de tels points chauds, les grilles sont conçues pour créer des turbulences dans l'écoulement du liquide de refroidissement. Ces turbulences sont créées au moyen d'ailettes de mélange qui permettent d'homogénéiser l'écoulement de l'eau et de réduire les écarts de température entre les différents points des gaines en provoquant une redistribution transversale de l'eau de refroidissement au sein des assemblages. Ces ailettes

sont prévues au voisinage des coins des cellules formées par les grilles et sont pliées en travers de l'écoulement de l'eau de refroidissement.

Le document EP-0 181 264 décrit par exemple de telles ailettes de mélange.

5 En fonctionnement, la paroi des crayons de combustible transmet de la chaleur à l'eau de refroidissement par convection forcée. Dans les parties les plus chaudes de l'assemblage de combustible, la température des gaines des crayons de combustible est supérieure à la température de saturation et de petites bulles de vapeur se forment sur la paroi externe des gaines puis sont décollées et
10 entraînées par l'eau de refroidissement. Le transfert de chaleur s'effectue dans ces zones par ébullition nucléée et l'efficacité de ce régime de transfert thermique permet la stabilisation de la température de la paroi. Cependant, dans certaines conditions de fonctionnement des réacteurs nucléaires, malgré la présence des ailettes de mélange, les bulles peuvent devenir trop nombreuses, coalescer et
15 provoquer un début de crise d'ébullition. Les paramètres de fonctionnement des réacteurs sont définis pour éviter toute crise d'ébullition. Ce phénomène de crise d'ébullition, appelé généralement DNB pour Departure of Nuclear Boiling puisqu'il correspond à la fin du régime d'ébullition nucléée, réduit le transfert thermique entre le crayon de combustible et l'eau de refroidissement et peut aboutir à
20 l'apparition d'une couche de vapeur sur la gaine du crayon de combustible, ce qui arrête pratiquement complètement l'évacuation de la chaleur par l'eau de refroidissement, et peut ainsi conduire à un endommagement de la gaine par élévation excessive de sa température.

L'invention vise à améliorer les performances thermo-hydrauliques des
25 assemblages de combustible en proposant une grille d'espacement permettant de retarder les risques d'apparition du phénomène de crise d'ébullition.

A cet effet, l'invention concerne une grille d'espacement du type précité, dans laquelle au moins une ailette de mélange comprend au moins une face présentant une pluralité d'irrégularités.

30 Les irrégularités sur la surface des ailettes permettent de perturber encore plus l'écoulement du liquide de refroidissement, ce qui empêche l'instauration de régimes stables dans cet écoulement et ainsi retarde l'apparition du phénomène de début de crise d'ébullition. En effet, la demanderesse a constaté que le

phénomène de début de crise d'ébullition était favorisé par l'instauration de régimes stables dans l'écoulement du liquide de refroidissement.

Le transfert thermique entre les crayons de combustible et le liquide de refroidissement est ainsi amélioré, les performances de l'assemblage de combustible optimisées et les risques d'endommagement des crayons de combustible réduits.

Selon d'autres aspects facultatifs de la grille d'espacement :

- ladite pluralité d'irrégularités est agencée selon un réseau sensiblement régulier ;

- la pluralité d'irrégularités comprend des passages traversant l'ailette ;

- les passages comprennent des trous circulaires ;

- les trous présentent un diamètre sensiblement compris entre 0,1 mm et 0,8 mm ;

- les passages comprennent des fentes ;

- les fentes présentent une largeur sensiblement comprise entre 0,1 mm et 0,8 mm ;

- l'ailette comprend au moins dix irrégularités ;

- la face de l'ailette présentant une pluralité d'irrégularités est la face qui fait face à l'écoulement du liquide de refroidissement ; et

- au moins une cellule définie par la grille comprend des moyens de maintien d'un crayon de combustible.

L'invention concerne également un assemblage de combustible pour réacteur nucléaire comprenant un squelette et un ensemble de crayons de combustible maintenus par le squelette, dans lequel le squelette comprend au moins une grille d'espacement telle que décrite ci-dessus.

D'autres aspects et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description qui suit, donnée à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés, parmi lesquels :

- la Fig. 1 est une vue schématique d'un assemblage de combustible selon l'invention,

- la Fig. 2 est une vue schématique de dessus d'une grille d'espacement de l'assemblage de la Fig. 1,

- la Fig. 3 est une vue schématique en coupe selon la ligne III-III de la Fig. 2,

- la Fig. 4 est une vue schématique de côté d'une ailette de mélange de la grille de mélange des Fig. 2 et 3,

5 - la Fig. 5 est une vue schématique de côté d'une ailette de mélange selon un autre mode de réalisation de l'invention.

Dans la description, le terme « longitudinal » est défini selon la direction d'écoulement E du liquide de refroidissement, c'est-à-dire selon une direction sensiblement verticale lorsque l'assemblage de combustible est placé dans le cœur d'un réacteur nucléaire. Le terme « transversal » est défini selon une direction sensiblement perpendiculaire à la direction longitudinale.

La Fig. 1 montre un assemblage de combustible 1 pour réacteur nucléaire à eau pressurisée.

De façon classique, l'assemblage de combustible 1 comprend un squelette 2 et un ensemble 4 de crayons de combustible 6 maintenus par le squelette 2. Les crayons 6 sont espacés les uns des autres et agencés selon un réseau régulier. Le squelette 2 comprend un embout inférieur 8 et un embout supérieur 10, reliés par des éléments allongés, tels que des tubes-guides 12 s'étendant sensiblement verticalement, le long de la direction longitudinale L de l'assemblage 1. Le squelette 2 comprend une pluralité de grilles d'espacement 14 réparties le long des tubes-guides 12 et fixées à ces derniers. Classiquement, les grilles d'espacement 14 assurent le maintien des crayons de combustible 6.

Chaque crayon de combustible 6 comprend un empilement de pastilles de combustible nucléaire (non représentées) disposé dans une gaine formant la surface extérieure du crayon 6. De tels crayons de combustible sont connus et ne seront pas décrits plus en détail.

Afin d'assurer le refroidissement de l'assemblage de combustible 1 lorsqu'il est placé dans un cœur de réacteur nucléaire, un fluide de refroidissement, en l'occurrence de l'eau, circule dans l'assemblage selon une direction sensiblement verticale, de l'embout inférieur 8 vers l'embout supérieur 10, comme matérialisé par la flèche E de la Fig. 1.

De façon classique, chaque grille 14 comprend deux jeux entrecroisés de plaquettes 16 et 18 s'étendant sensiblement perpendiculairement les unes par

rapport aux autres et s'entrecroisant à des points d'intersection 20 de sorte à définir des cellules 22, comme représenté sur la Fig. 2.

Les cellules 22 reçoivent les crayons de combustible 6 et les tubes-guides 12.

5 Les plaquettes 16 et 18 sont par exemple réalisées de façon classique en un alliage à base de zirconium et sont assemblées à mi-fer et soudées les unes aux autres en leurs points d'intersection 20.

Chaque cellule 22 comprend des moyens de maintien des crayons de combustible 6. Ces moyens de maintien sont par exemple formés par des
10 bossages 24 et des ressorts 26 et 28 (Fig. 3) destinés à s'appuyer sur les crayons de combustible 6.

La grille d'espacement 14 comprend des ailettes de mélange 30 au voisinage d'au moins certains des points d'intersection 20. Ces ailettes 30 s'étendent en général à partir du bord supérieur des plaquettes 16 et 18 et sont
15 inclinées transversalement par rapport à ces plaquettes vers l'intérieur des cellules 22 de sorte à se trouver dans le passage de l'écoulement E du liquide de refroidissement. Ainsi, le liquide de refroidissement est dévié par les ailettes 30 vers les crayons de combustible 6, ce qui permet une redistribution transversale du liquide de refroidissement et une répartition homogène de ce liquide sur les
20 crayons 6.

Les ailettes 30 sont par exemple réalisées par simple pliage de pattes découpées, solidaires des plaquettes 16 et 18.

La disposition et le nombre d'ailettes 30 sont variables en fonction de l'importance relative que l'on attache à une homogénéisation de la répartition du
25 liquide de refroidissement et à la nécessité de ne pas accroître les pertes de charge, dans le liquide de refroidissement, qu'entraînent de telles ailettes 30. Ainsi, plus le nombre d'ailettes 30 est important, plus la répartition du liquide sera homogène mais plus les pertes de charge dans le liquide de refroidissement seront importantes.

30 Le document EP-0 181 264 décrit plusieurs configurations de grille d'espacement et de dispositions d'ailettes. On pourra par exemple se référer à ce document pour choisir la position des ailettes 30.

On décrit à présent plus en détail une ailette 30 selon l'invention en référence aux Fig. 4 et 5.

L'ailette 30 comprend un réseau d'irrégularités 32 sur au moins sa face inférieure, c'est-à-dire celle qui fait face à l'écoulement E. Par irrégularité, on entend une modification locale de la face inférieure de l'ailette 30, telle que la formation d'une discontinuité ou d'un relief (saillie ou creux), alors que les ailettes de l'art antérieur ont des faces lisses et continues. Ces irrégularités 32 permettent de perturber l'écoulement E du liquide de refroidissement dévié par l'ailette 30 et limitent ainsi l'instauration d'un régime stable dans cet écoulement E.

L'instauration d'un régime stable favoriserait l'apparition du phénomène de DNB. En effet, lors d'un régime stable, les bulles de vapeur créées par le transfert thermique entre les crayons de combustible 6 et le liquide de refroidissement, et qui se forment sur la paroi des gaines des crayons 6, ne sont pas toujours évacuées de façon efficace. Les bulles, en s'accumulant, forment des bulles de plus grandes dimensions qui peuvent finir par former une couche de vapeur sur la gaine, ce qui peut entraîner un arrêt complet de l'évacuation de la chaleur.

En perturbant le flux dévié par les ailettes 30, la turbulence de l'écoulement du liquide de refroidissement est augmentée, ce qui permet une évacuation plus efficace des bulles formées sur la gaine. Les irrégularités 32 permettent ainsi de retarder l'apparition du phénomène de DNB et d'améliorer le transfert thermique entre les crayons de combustible 6 et le liquide de refroidissement, ce qui améliore les performances de l'assemblage de combustible 1 et permet de gérer le réacteur de façon plus sûre en ayant une marge plus importante avant l'apparition du phénomène de DNB qui est un facteur limitant pour le fonctionnement du réacteur.

Selon le mode de réalisation représenté sur les Fig. 4 et 5, les irrégularités 32 sont des passages traversant l'ailette 30 de sa face inférieure à sa face supérieure. L'écoulement E dévié par l'ailette 30 est perturbé lorsqu'une partie de celui-ci traverse lesdits passages.

Les passages sont répartis sur toute l'ailette 30 de sorte à former un réseau d'irrégularités 32. Ces passages sont particulièrement simples à réaliser par le perçage de l'ailette 30.

Selon le mode de réalisation représenté sur la Fig. 4, les passages sont des trous sensiblement circulaires et présentent un diamètre par exemple compris entre 0,1 mm et 0,8 mm. Ces dimensions correspondent sensiblement à la taille des bulles formées sur la paroi des gaines des crayons de combustible et permettent de disposer un nombre important d'irrégularités 32 sur chaque ailette 30. Ainsi, le nombre d'irrégularités 32 est par exemple supérieur ou égal à 10, ce qui permet de perturber le flux de manière très satisfaisante.

Selon le mode de réalisation représenté sur la Fig. 5, les passages sont des fentes transversales ayant par exemple une largeur l sensiblement comprise entre 0,1 mm et 0,8 mm. Les fentes sont sensiblement rectilignes, parallèles les unes par rapport aux autres et sont réparties sur la hauteur de l'ailette 30.

D'autres formes d'irrégularités sont envisageables, telles que des saillies ou des creux formés sur au moins la surface de la face inférieure de l'ailette 30 et déviant l'écoulement E de liquide, même si, de préférence, les irrégularités 32 sont des passages traversant l'ailette 30.

Plusieurs formes différentes d'irrégularités 32 peuvent être utilisées sur les ailettes 30 voire sur une même ailette 30. Les irrégularités 32 peuvent être disposées de façon aléatoire ou selon un réseau plus ou moins régulier comme représenté sur les Fig. 4 et 5.

L'invention est susceptible de nombreuses variantes et elle s'applique à des grilles de constitutions très variées. En particulier, l'invention peut être mise en œuvre pour des grilles dont les cellules sont constituées par des manchons fixés les uns aux autres pour former un réseau de cellules. D'autres formes de grilles peuvent également être envisagées.

Seules certaines des ailettes 30 d'une grille d'espacement 14 peuvent avoir la structure décrite ci-dessus.

De même, l'invention peut ne s'appliquer qu'à certaines, voir même une seule, grilles d'espacement 14 d'un assemblage de combustible 1.

L'invention a été décrite en référence à un assemblage de combustible pour réacteur à eau pressurisée pour lequel elle est particulièrement avantageuse pour réduire les risques de crise d'ébullition par formation intensive de bulles et DNB typique des réacteurs à eau pressurisée. Elle est également applicable à des grilles d'espacement d'assemblages de combustible pour réacteur à eau

8

bouillante afin d'améliorer le transfert thermique entre les crayons de combustible et le fluide de refroidissement pour réduire les risques de crise d'ébullition par échauffement critique par assèchement (en anglais dry-out) typique des réacteurs à eau bouillante.

5

REVENDEICATIONS

1.- Grille d'espacement (14) pour un assemblage de combustible (1) pour réacteur nucléaire destiné à être traversé par un liquide de refroidissement, la grille (14) définissant une pluralité de cellules (22) de réception de crayons de combustible (6) s'étendant selon une direction longitudinale (L), la grille (14) comprenant des ailettes de mélange (30) de l'écoulement (E) du liquide de refroidissement, caractérisée en ce que au moins une ailette (30) de mélange comprend au moins une face présentant une pluralité d'irrégularités (32).

2.- Grille d'espacement selon la revendication 1, caractérisée en ce que ladite pluralité d'irrégularités (32) est agencée selon un réseau sensiblement régulier.

3.- Grille d'espacement selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que la pluralité d'irrégularités (32) comprend des passages traversant l'ailette (30).

4.- Grille d'espacement selon la revendication 3, caractérisée en ce que les passages comprennent des trous circulaires.

5.- Grille d'espacement selon la revendication 4, caractérisée en ce que les trous présentent un diamètre sensiblement compris entre 0,1 mm et 0,8 mm.

6.- Grille d'espacement selon la revendication 3, caractérisée en ce que les passages comprennent des fentes.

7.- Grille d'espacement selon la revendication 6, caractérisée en ce que les fentes présentent une largeur (l) sensiblement comprise entre 0,1 mm et 0,8 mm.

8.- Grille d'espacement selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que l'ailette (30) comprend au moins dix irrégularités (32).

9.- Grille d'espacement selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que la face de l'ailette (30) présentant une pluralité d'irrégularités (32) est la face qui fait face à l'écoulement (E) du liquide de refroidissement.

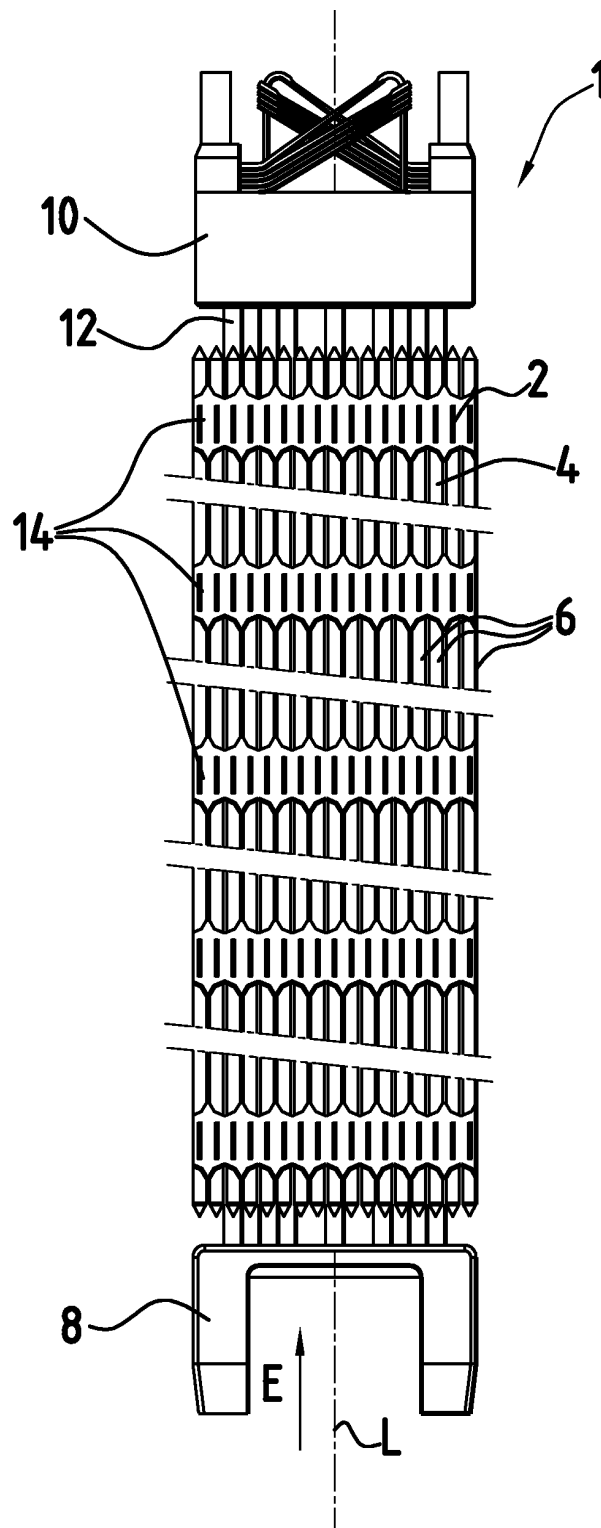
10.- Grille d'espacement selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que au moins une cellule (22) définie par la grille (14) comprend des moyens de maintien (24, 26, 28) d'un crayon de combustible (6).

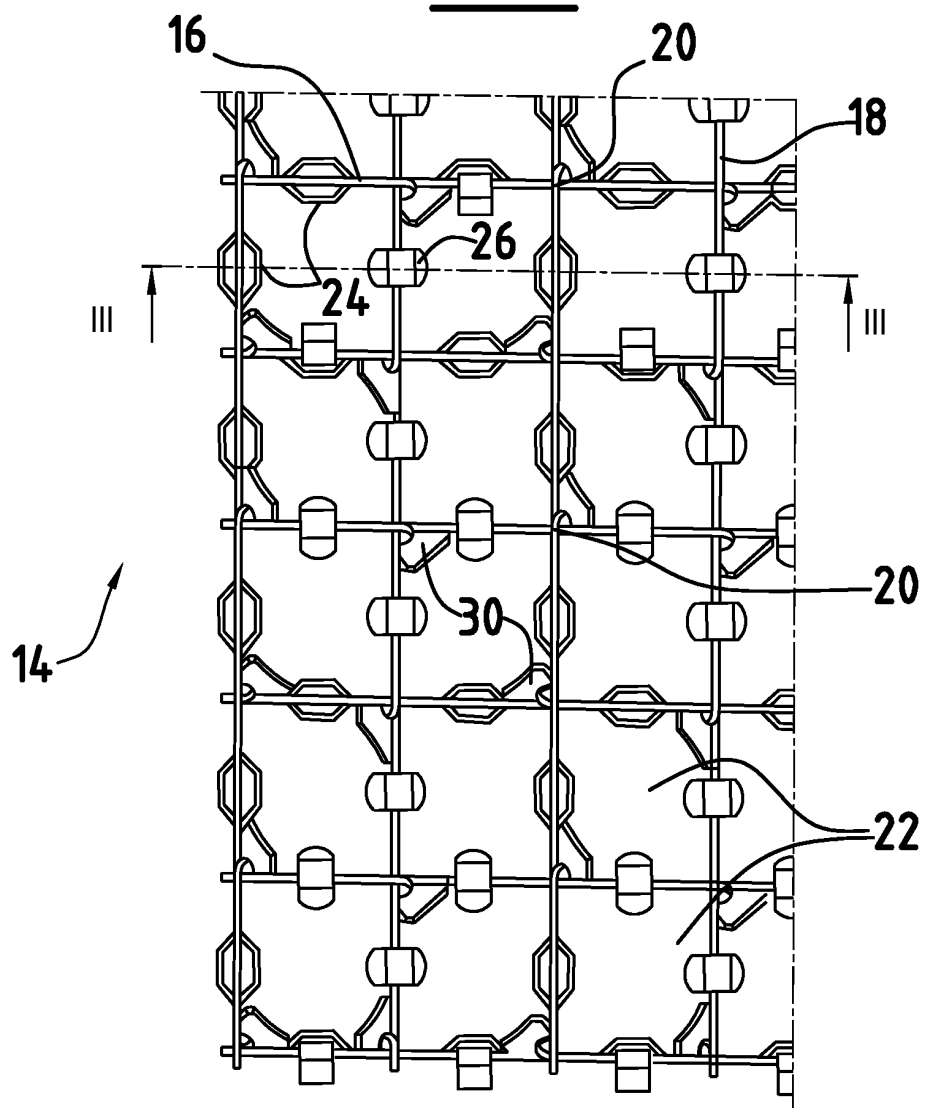
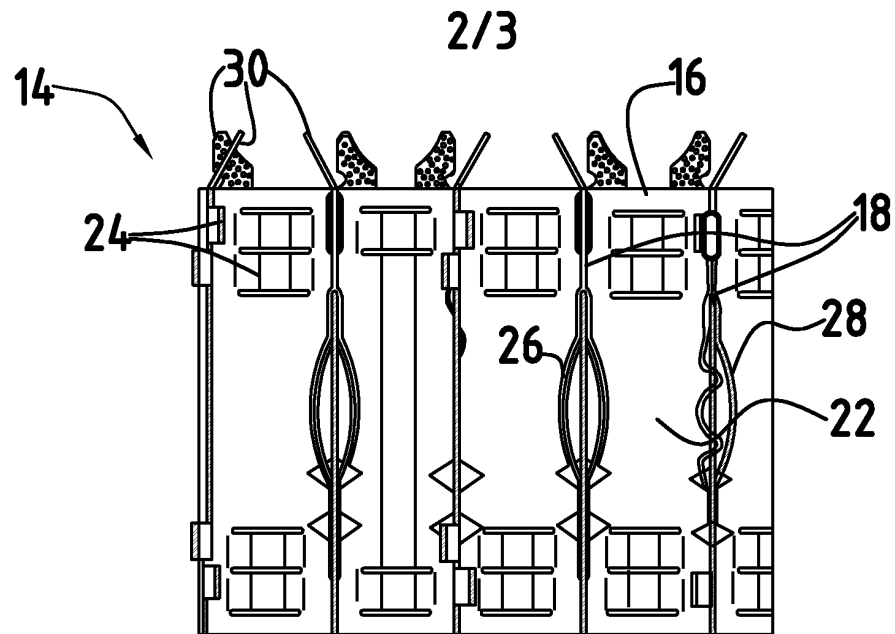
11.- Assemblage de combustible pour réacteur nucléaire comprenant un squelette (2) et un ensemble (4) de crayons de combustible (6) maintenus par le

10

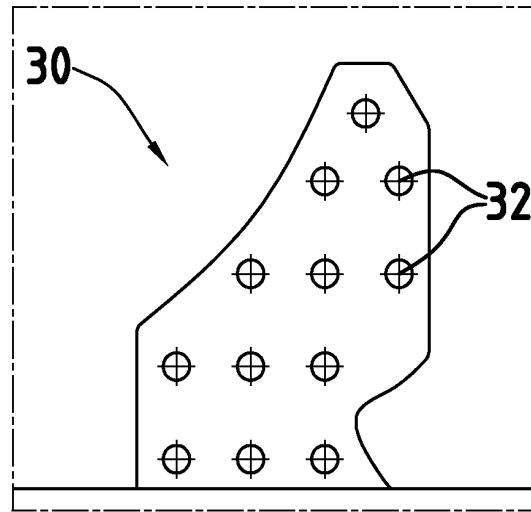
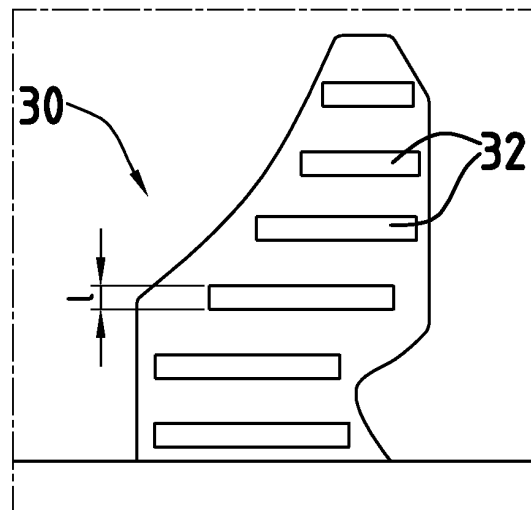
squelette (2), caractérisé en ce que le squelette (2) comprend au moins une grille d'espacement (14) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

1/3

FIG.1



3/3

FIG. 4FIG. 5



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 711286
FR 0855727

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	FR 1 464 667 A (COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE) 6 janvier 1967 (1967-01-06) * page 1, colonne de gauche; figures 1,2 *	1-11	G21C3/322 G21C3/34
A	GB 1 375 160 A (HALL THERMOTANK INTERNATIONAL LIMITED) 27 novembre 1974 (1974-11-27) * page 1, ligne 12 - ligne 46 *	1-11	
A	JP 60 099999 A (HITACHI LTD; HITACHI CABLE) 3 juin 1985 (1985-06-03) * abrégé *	1-11	
A	EP 0 053 452 A (IMI MARSTON LTD [GB]) 9 juin 1982 (1982-06-09) * revendications 1,4,8; figures 1-5 *	1-11	
A	JP 2000 329406 A (KANSAI ELECTRIC POWER CO; RABU AASU TECHNOL KK) 30 novembre 2000 (2000-11-30) * abrégé *	1-11	
D,A	EP 0 181 264 A (FRAMATOME & CIE [FR] FRAMATOME SA [FR]) 14 mai 1986 (1986-05-14) * le document en entier *	1-11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G21C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
3 juin 2009		Deroubaix, Pierre	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0855727 FA 711286**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **03-06-2009**

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

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 1464667	A	06-01-1967	BE 686225 A	01-02-1967
			CH 446243 A	15-11-1967
			DE 1527954 A1	22-10-1970
			ES 331034 A1	01-01-1969
			GB 1095089 A	13-12-1967
			LU 51971 A	15-11-1966
			NL 6613041 A	20-03-1967
			SE 313793 B	25-08-1969
			US 3439521 A	22-04-1969

GB 1375160	A	27-11-1974	AUCUN	

JP 60099999	A	03-06-1985	AUCUN	

EP 0053452	A	09-06-1982	DE 3162696 D1	19-04-1984
			JP 1592240 C	14-12-1990
			JP 2011840 B	15-03-1990
			JP 57120094 A	26-07-1982
			US 4434842 A	06-03-1984

JP 2000329406	A	30-11-2000	AUCUN	

EP 0181264	A	14-05-1986	DE 3571523 D1	17-08-1989
			ES 8704661 A1	16-06-1987
			FR 2572837 A1	09-05-1986
			US 4758403 A	19-07-1988
			ZA 8508479 A	30-07-1986
