

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 05.07.99.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 12.01.01 Bulletin 01/02.

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) : FRAMATOME Société anonyme — FR.

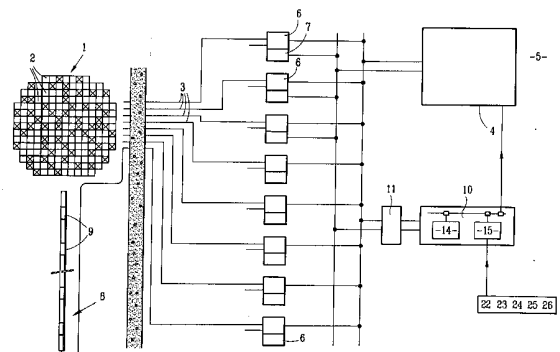
72) Inventeur(s) : MOURLEVAT JEAN LUCIEN et LOUEDEC MONIQUE.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET LAVOIX.

54) PROCÉDE ET DISPOSITIF DE SURVEILLANCE D'AU MOINS UN PARAMÈTRE DE FONCTIONNEMENT DU COEUR D'UN REACTEUR NUCLEAIRE.

57) On réalise des mesures de flux neutronique en utilisant, pour obtenir les signaux de mesure, un sous-ensemble de détecteurs (8) sélectionnés parmi un ensemble de détecteurs (8) introduits dans des assemblages (2) du coeur (1), le nombre n de détecteurs (8) du sous-ensemble étant au plus égal à 15% du nombre d'assemblages de combustible (2) dans le coeur (1), on traite les signaux de mesure et on détermine par calcul en tenant compte des signaux de mesure, la répartition instantanée du flux neutronique dans le coeur (1). On calcule l'au moins un paramètre de fonctionnement du coeur à partir de la répartition instantanée du flux neutronique et on déclenche une alarme si l'au moins un paramètre est en dehors d'une plage fixée. On peut ainsi réaliser une surveillance du fonctionnement du coeur du réacteur nucléaire pratiquement en temps réel. Les détecteurs (8) de flux neutronique introduits dans des assemblages du coeur comportent de préférence des sondes de mesure constituées par des collectrons.



L'invention concerne un procédé et un dispositif de surveillance d'au moins un paramètre de fonctionnement du cœur d'un réacteur nucléaire et en particulier d'un réacteur nucléaire refroidi par de l'eau sous pression.

5 Les réacteurs nucléaires tels que les réacteurs nucléaires refroidis par de l'eau sous pression comportent un cœur constitué par des assemblages de combustible généralement de forme prismatique droite qui sont disposés de manière juxtaposée avec leurs axes longitudinaux dans la direction verticale, c'est-à-dire suivant la hauteur du cœur.

10 Pendant le fonctionnement du réacteur nucléaire, il est nécessaire de s'assurer en permanence que le réacteur fonctionne dans de parfaites conditions et de manière conforme aux conditions générales de sécurité fixées par des règlements et des normes.

15 En particulier, il est nécessaire de déterminer si la production et la répartition volumique du flux de neutrons ainsi que la répartition volumique de la puissance dégagée dans le cœur sont conformes aux conditions correspondant à un fonctionnement normal et satisfaisant du cœur.

20 Pour cela, on est amené à calculer des paramètres de fonctionnement du cœur du réacteur nucléaire, tels que la répartition volumique de la puissance dans le cœur, les facteurs de forme du flux neutronique ou encore le rapport d'échauffement critique. Ces paramètres sont déterminés à partir de mesures de flux neutronique dans le cœur permettant de déterminer la répartition du flux neutronique dans l'ensemble du cœur, en trois dimensions.

25 Les paramètres caractéristiques de l'état du cœur en fonctionnement normal qui sont déterminés à partir des mesures de flux neutronique ne doivent à aucun moment se trouver à l'extérieur d'intervalles déterminés lors des études de conception du réacteur nucléaire.

30 Lorsqu'on détecte un dépassement d'une valeur limite par l'un des paramètres caractéristiques du fonctionnement du cœur, il est nécessaire de déclencher une alarme et de prendre diverses mesures concernant la conduite du réacteur nucléaire.

Pour exercer une surveillance efficace sur le fonctionnement du cœur du réacteur nucléaire, il est nécessaire de déterminer les paramètres

de fonctionnement du cœur et donc la répartition de flux neutronique dans le cœur, en un temps aussi bref que possible.

Les mesures de flux neutronique dans le cœur nécessaires pour la surveillance en continu du réacteur nucléaire en fonctionnement sont généralement réalisées par des chambres disposées à l'extérieur de la cuve du réacteur et généralement désignées comme chambres "excore".

Ces chambres qui comportent plusieurs étages de mesure (par exemple six) suivant la hauteur du cœur sont généralement disposées pour effectuer les mesures dans quatre zones à la périphérie du cœur du réacteur nucléaire et situées symétriquement, par rapport à deux plans de symétrie axiale du cœur faisant entre eux un angle de  $90^\circ$ .

Les chambres étagées des détecteurs excore permettent d'obtenir des mesures de flux à différents niveaux suivant la hauteur du cœur et dans les quatre zones réparties autour du cœur, dans la direction circonférentielle. Toutefois, ces dispositifs externes ne fournissent que des valeurs approchées du flux neutronique à l'intérieur du cœur et une représentation approximative de la répartition du flux neutronique. De ce fait, les paramètres de surveillance sont obtenus de manière peu précise et, par sécurité, on doit prévoir des marges plus grandes par rapport aux valeurs critiques de ces paramètres qu'on ne doit pas atteindre ou dépasser.

Pour obtenir une représentation plus exacte de la distribution de flux neutronique dans le cœur, on effectue de manière complémentaire, à intervalles de temps réguliers mais relativement longs, par exemple de l'ordre d'un mois, des mesures de flux neutronique à l'intérieur du cœur, en utilisant des sondes de mesure de très petites dimensions, appelées sondes « incore » qui sont généralement constituées par des chambres à fission. Les sondes incore sont fixées chacune à l'extrémité d'un câble souple appelé câble téléflex assurant son déplacement à l'intérieur d'une voie de mesure de l'instrumentation du réacteur nucléaire. Chacune des voies de mesure débouche à l'une de ses extrémités dans un local d'instrumentation situé en partie basse du bâtiment du réacteur. On assure le déplacement des sondes à fission dans les voies de mesure depuis le local d'instrumentation. Chacune des voies de mesure comporte, à l'intérieur du

cœur du réacteur nucléaire, un tube d'instrumentation d'un assemblage de combustible et un doigt de gant placé à l'intérieur du tube d'instrumentation, dans lequel circule la sonde à fission. Les mesures de flux neutronique sont réalisées dans un ensemble d'assemblages de combustible répartis dans toute la section du cœur.

5 Par exemple, dans le cas d'un cœur comportant 177 assemblages de combustible, on utilise généralement 56 voies de mesure. De même, on utilise 58 voies de mesure pour un cœur de 193 assemblages de combustible, 50 voies de mesure pour un cœur de 157 assemblages de combustible et 60 voies de mesure pour un cœur de 205 assemblages de combustible. Les mesures de flux neutronique sont réalisées pendant le déplacement à faible vitesse des sondes incore suivant toute la hauteur du cœur. On peut ainsi réaliser de nombreux points de mesure du flux neutronique, suivant la hauteur du cœur, avec un espacement faible. D'autre part, compte tenu de la répartition des assemblages de combustible instrumentés dans le cœur et des symétries du cœur, on obtient une image suffisamment représentative du flux neutronique, sous la forme d'une carte de flux. Cependant, les sondes incore constituées par des chambres à fission ne peuvent pas être utilisées pendant des périodes très longues à l'intérieur du cœur du réacteur nucléaire. La détermination précise de la carte de flux du cœur n'est réalisée que périodiquement et ne peut donc pas être utilisée pour des fonctions de surveillance en continu du fonctionnement du cœur du réacteur nucléaire.

15 20 25 30 On connaît d'autre part des sondes de mesure de flux neutronique qui peuvent être placées et maintenues à l'intérieur du cœur d'un réacteur nucléaire, en permanence pendant le fonctionnement du réacteur nucléaire. De telles sondes de mesure de flux neutronique qui peuvent être réalisées sous la forme de "collectrons", sont généralement assemblées sous forme de cannes de mesure dans une disposition alignée verticalement avec un espacement constant entre deux sondes successives, pour constituer des détecteurs de mesure de flux suivant toute la hauteur du cœur du réacteur nucléaire. Ces cannes sont introduites chacune dans un doigt de gant normalement affecté à la mesure par sonde mobile, lui-même inséré dans le tube d'instrumentation d'un assemblage de combustible. Chacun des dé-

tecteurs de mesure de flux ou cannes de mesure dont la longueur est à peu près égale à la hauteur du cœur peut comporter par exemple huit sondes de mesure constituées par des collectrons.

5 On a proposé, dans le cas d'un cœur de réacteur nucléaire comportant 177 assemblages de combustible, de disposer 52 détecteurs ou cannes de mesure dans 52 assemblages instrumentés du cœur du réacteur nucléaire répartis dans la section du cœur.

10 Un tel système d'instrumentation qui comporte 8 x 52 points de mesure répartis dans l'ensemble du cœur est susceptible de fournir une image de la répartition de flux dans le cœur du réacteur nucléaire en 3 dimensions, avec une bonne précision.

15 Cependant, le traitement des mesures neutroniques réalisé par l'instrumentation maintenue en permanence dans le cœur pendant le fonctionnement du réacteur nucléaire, nécessite un temps d'exécution qui peut être long, en regard des temps de réponse nécessaires pour la surveillance du cœur du réacteur nucléaire, ce qui rend son utilisation peu concevable pour la surveillance des paramètres de fonctionnement du cœur.

20 On ne connaît donc pas de procédé permettant d'obtenir la répartition volumique du flux et, à partir de cette répartition, des paramètres de surveillance du cœur du réacteur, à la fois de manière précise et rapide.

25 Les centrales nucléaires comportent généralement plusieurs unités ou "tranches" constituées chacune d'un réacteur nucléaire disposé dans un bâtiment-réacteur et d'une partie conventionnelle de production d'électricité. La surveillance du cœur concerne, dans ce cas, les réacteurs nucléaires de chacune des tranches.

30 Le but de l'invention est donc de proposer un procédé de surveillance d'au moins un paramètre de fonctionnement du cœur d'un réacteur nucléaire d'une tranche d'une centrale nucléaire, constitué par une pluralité d'assemblages de combustible disposés de manière juxtaposée suivant la hauteur du cœur, en utilisant un ensemble de détecteurs de mesure de flux neutronique introduit dans une partie au moins des assemblages de combustible du cœur, comportant chacun une pluralité de sondes de mesure de flux neutronique fixes réparties suivant la hauteur du cœur, ce procédé per-

mettant de réaliser une détermination rapide et précise de la répartition du flux dans le cœur et de l'au moins un paramètre de fonctionnement du cœur, à partir de cette répartition et d'exercer une surveillance sensiblement en temps réel.

5            Dans ce but, pendant le fonctionnement du réacteur nucléaire, à des intervalles de temps déterminés :

                 - on réalise une mesure de la répartition volumique du flux neutronique, en utilisant pour obtenir les signaux de mesure, un sous ensemble de détecteurs de flux neutronique sélectionnés parmi l'ensemble de détecteurs  
10 introduits dans des assemblages du cœur, le nombre n de détecteurs du sous ensemble étant au plus égal à 15% du nombre d'assemblages de combustible dans le cœur,

                 - on utilise un code de calcul du flux neutronique et on prend en compte les mesures fournies par le sous-ensemble de détecteurs de flux  
15 neutronique pour obtenir la répartition instantanée du flux neutronique dans le cœur, sous la forme d'un ensemble de valeurs du flux neutronique en des points répartis dans le cœur.

                 - on calcule au moins un paramètre de fonctionnement du cœur, à partir de la répartition instantanée du flux neutronique et,

20            - on déclenche une alarme si l'au moins un paramètre est en dehors d'une plage fixée.

                 Selon un premier mode de réalisation de l'invention, pour obtenir la répartition instantanée du flux neutronique dans l'ensemble du cœur :

                 - on effectue un calcul instantané, sur le site du réacteur, de la répartition volumique du flux à l'intérieur du cœur, aux différents points répartis  
25 dans le cœur comprenant un premier sous-ensemble de positions instrumentées où sont situées les n sondes de mesure de flux neutronique du sous-ensemble de détecteurs et un second sous-ensemble de positions non instrumentées, à partir de paramètres en provenance des équipements de la tranche, en utilisant le code de calcul de flux neutronique,

30            - on calcule les écarts entre les valeurs de flux obtenues par les mesures et les valeurs correspondantes calculées à partir des paramètres en

provenance des équipements de la tranche, pour chacune des positions instrumentées,

- on calcule, à partir des écarts relatifs aux positions instrumentées, par un processus d'extension, les écarts correspondants pour chacune des positions non instrumentées du cœur,

- on ajoute une valeur algébrique aux valeurs de flux de la répartition volumique obtenues à partir des paramètres en provenance des équipements de la tranche, pour réduire l'écart calculé en chacun des points répartis dans le cœur.

Selon un second mode de réalisation de l'invention, pour obtenir la répartition instantanée du flux neutronique dans l'ensemble du cœur :

- on effectue un premier calcul instantané, sur le site du réacteur, de la répartition volumique du flux neutronique à l'intérieur du cœur sous la forme d'un ensemble de valeurs de flux neutronique aux différents points répartis dans le cœur comprenant un ensemble de positions instrumentées dans lesquelles sont situées les sondes de mesure de flux neutronique du sous-ensemble de détecteurs, à partir de paramètres en provenance des équipements de la tranche, en utilisant le code de calcul du flux neutronique,

- on calcule les écarts entre les valeurs du flux neutronique obtenues par les mesures et les valeurs correspondantes calculées à partir des paramètres en provenance des équipements de la tranche, pour chacune des positions instrumentées,

- on utilise les écarts calculés pour effectuer une correction de paramètres de définition du code de calcul de flux neutronique, et

- on effectue un deuxième calcul instantané, sur le site du réacteur nucléaire de la répartition instantanée du flux neutronique à l'intérieur du cœur, à partir des paramètres en provenance des équipements de la tranche, en utilisant le code de calcul de flux neutronique comportant des paramètres de définition corrigés.

Afin de bien faire comprendre l'invention, on va maintenant décrire à titre d'exemple en se référant aux figures jointes en annexe, un mode de réalisation du procédé suivant l'invention dans le cas d'un réacteur nucléaire refroidi par de l'eau sous pression et le dispositif de surveillance utilisé.

La figure 1 est une vue schématique montrant l'ensemble d'un dispositif de surveillance pour la mise en œuvre du procédé de l'invention.

La figure 2 est une représentation schématique partielle des moyens de traitement des signaux de mesure et de moyens de surveillance du dispositif pour la mise en œuvre du procédé de l'invention.

La figure 3 est un schéma fonctionnel montrant la mise en œuvre du procédé de surveillance suivant l'invention.

Sur la figure 1, on a représenté la section transversale par un plan horizontal du cœur 1 du réacteur nucléaire constitué par des assemblages de combustible 2 de forme prismatique droite à base carrée, disposés de manière adjacente dans la direction verticale du cœur 1.

Une partie des assemblages de combustible du cœur est constituée par des assemblages de combustible instrumentés, c'est-à-dire des assemblages de combustible dans lesquels un détecteur de flux neutronique est introduit à l'intérieur d'un doigt de gant lui-même introduit à l'intérieur du tube de guide d'instrumentation de l'assemblage de combustible.

Dans le cas d'un cœur de réacteur nucléaire 1 comportant 193 assemblages de combustible, comme représenté sur la figure 1, pour la mise en œuvre du procédé de l'invention, par exemple 48 assemblages (marqués d'une croix) répartis dans la section du cœur sont instrumentés.

Les 48 assemblages de combustible instrumentés sont reliés chacun à l'une de 48 voies de mesure 3 dont la partie d'extrémité est constituée par le doigt de gant, lui-même situé à l'intérieur du tube d'instrumentation de l'assemblage de combustible dans lequel est disposé de manière fixe un détecteur de flux neutronique ou canne de mesure. Le détecteur qui comporte plusieurs sondes de mesure réparties suivant sa longueur est introduit à l'intérieur du doigt de gant lui-même situé à l'intérieur du tube d'instrumentation de l'assemblage de combustible instrumenté sur toute la hauteur du cœur.

Sur la figure 1, on a représenté, à titre d'exemple, à une échelle agrandie, une canne de mesure ou détecteur 8 disposée à l'une des extrémités de l'une des 48 voies de mesure 3. Le détecteur 8 comporte 8 sondes



de mesure 9 constituées chacune par un collectron, espacées l'une de l'autre d'une distance fixe suivant la longueur du détecteur 8.

De préférence, les collectrons 9 sont des collectrons comportant un émetteur en un matériau à base de rhodium.

5 Chacune des voies de mesure 3 est reliée à son extrémité opposée au cœur du réacteur nucléaire, à un calculateur 4 disposé dans la salle des calculateurs 5 de la centrale nucléaire. Le calculateur 4 constitue le calculateur du système d'instrumentation interne du cœur, qui sera désigné par la suite sous la forme de l'abréviation RIC (Reactor Incore ou Réacteur Instrumentation Cœur).

10 Le calculateur 4 est utilisé pour établir, à partir des signaux de mesure des 48 voies de mesure 3, la répartition du flux neutronique dans le cœur, en trois dimensions.

15 Le dispositif de surveillance représenté sur la figure 1 comporte de plus huit coffrets de raccordement 6 des voies de mesure 3, à chacun desquels sont reliées 8 voies de mesure 3. Chacun des coffrets 6 comporte une unité de pré-traitement 7 des signaux de mesure.

20 L'invention est mise en œuvre, en sélectionnant de manière informatique depuis la salle de commande du réacteur nucléaire, 16 voies de mesure, et donc 16 détecteurs 8, parmi les 48 voies de mesure, pour réaliser un traitement rapide sur les signaux de mesure des 16 voies de mesure sélectionnées, afin de déterminer, avec une périodicité dans le temps relativement courte, la répartition de puissance dans le cœur 1 du réacteur nucléaire et les paramètres de fonctionnement du cœur dans le but de réaliser

25 une surveillance du cœur 1 du réacteur nucléaire, pratiquement en temps réel.

Pour cela, l'unité de surveillance 10 est constituée d'un calculateur dans lequel on introduit les données relatives au sous-ensemble de détecteurs sélectionnés.

30 Les signaux de mesure fournis par les 16 voies de mesure sélectionnées sont transmis à une unité de conditionnement 11 qui permet de réaliser une accélération en ligne des signaux représentatifs du flux neutronique, de la manière qui sera décrite plus loin.

Les signaux à la sortie de l'unité de conditionnement 11 sont envoyés dans l'unité de surveillance 10 permettant de déterminer la répartition du flux neutronique et de la puissance dans le cœur du réacteur nucléaire, de calculer les paramètres de fonctionnement du cœur du réacteur nucléaire et de comparer ces paramètres à des valeurs limites.

Sur la figure 2, on a représenté une unité de pré-traitement 7 des signaux reçus par un coffret 6, ces signaux étant transmis par six voies de mesure reliées chacune à un détecteur 8 équipé de huit sondes de mesure de flux neutronique constituées par des collectrons, réparties suivant la direction longitudinale du détecteur 8 placé dans le cœur à l'intérieur d'un doigt de gant lui-même placé à l'intérieur d'un tube d'instrumentation d'un assemblage de combustible.

L'unité de pré-traitement 7 reçoit les signaux de mesure provenant de chacune des sondes de mesure par l'intermédiaire d'un fil de mesure et d'un fil témoin. Dans l'unité de pré-traitement 7, pour chacune des sondes de mesure reliées à l'unité de pré-traitement 7, on soustrait du signal de mesure transmis par le fil de mesure, le signal transmis par le fil témoin et le signal de mesure résultant est traité dans un filtre électronique 12 qui réalise un filtrage du signal de mesure. Le signal filtré est numérisé dans une unité 13 de conversion analogique numérique. Le signal numérique est transmis, par l'intermédiaire de l'unité de conditionnement 11, à une unité de traitement 14 du calculateur 10 disposée à l'intérieur d'une armoire 16 de la salle de protection de la centrale nucléaire qui renferme également une unité 15 d'acquisition de paramètres de conduite du réacteur nucléaire du calculateur 10.

Le principe de l'accélération en ligne effectuée à l'intérieur d'une unité de conditionnement 11 sera expliqué ci-dessous.

Le signal de mesure des collectrons est obtenu sous la forme d'un courant électrique à partir de trois composantes :

- deux composantes du courant sont obtenues par production d'électrons à désintégration radioactive bêta du matériau du collectron, sous l'effet du flux neutronique dans le cœur du réacteur nucléaire ; ces deux processus de création de courant électrique ont des périodes de 60 secondes

et de quatre minutes environ, respectivement, dans le cas d'un collectron au rhodium.

- un processus de création d'électrons par effet Compton dû à l'émission secondaire de rayons gamma produite dans le collectron, du fait du bombardement neutronique et au rayonnement gamma en provenance du cœur auquel est soumis le collectron, ce processus de formation d'électrons et donc du courant électrique étant très rapide et pratiquement instantané.

On connaît la fonction de transfert qui détermine le courant émis par le collectron en fonction du flux neutronique reçu. On sait également isoler la composante de courant due à l'effet Compton. On utilise la fonction inverse de la fonction de transfert ou tout autre procédé mathématique pour déterminer le flux neutronique à partir du courant émis par le processus rapide dû à l'effet Compton. On accélère ainsi la réponse du détecteur dans la détermination du flux neutronique, cette réponse devenant pratiquement instantanée. Dans le cas du dispositif utilisé pour la mise en œuvre du procédé de l'invention représenté sur la figure 2, l'accélération des mesures de flux neutronique est réalisée en ligne à l'intérieur de l'unité de conditionnement 11 disposée sur les lignes de transmission de signaux à l'unité de traitement 14. L'unité de traitement 14 calcule, en tenant compte des signaux de mesure de flux neutronique numérisés qu'elle reçoit, le flux neutronique, la distribution du flux et la distribution de puissance dans le cœur du réacteur nucléaire ainsi que des paramètres de fonctionnement du cœur du réacteur nucléaire. Par comparaison des paramètres de fonctionnement du cœur du réacteur nucléaire à des limites définies lors de la conception du réacteur nucléaire, l'unité de traitement 14 permet de déterminer des marges entre les paramètres mesurés et les limites et d'élaborer des signaux d'alarme, dans le cas où l'un des paramètres franchit une limite.

Les résultats du calcul effectué par l'unité de traitement 14 sont transmis par une ligne 21 vers un système de gestion des alarmes du réacteur nucléaire désigné par l'appellation controbloc.

Les résultats de calcul relatifs à la distribution de flux et de puissance et aux marges et alarmes des paramètres de fonctionnement du cœur sont également transmis par une ligne 17, à une unité 18 appelée système

d'archivage local (SAL) assurant le stockage des données dans une mémoire. Le système d'archivage 18 reçoit également les données relatives aux mesures de flux en provenance des unités de pré-traitement 7. Le système d'archivage 18 est relié à une imprimante 19 permettant d'éditer certaines des données archivées à la demande.

Comme il sera expliqué plus loin en regard de la figure 3, les signaux numérisés de mesure de flux neutronique sont pris en compte pour déterminer, dans les unités de traitement, la répartition volumique du flux neutronique dans le cœur sous la forme d'un ensemble de valeurs du flux en des points répartis dans le cœur, par exemple, dans le cas d'un cœur comportant 193 assemblages de combustibles en N points répartis suivant la longueur des canaux d'instrumentation de chacun des assemblages de combustible, c'est-à-dire  $193 \times N$  points, N étant à déterminer en fonction de la précision souhaitée.

L'unité de traitement 14 est également reliée à un ou plusieurs écrans 20 dans la salle de commande du réacteur nucléaire, de manière à afficher les résultats des calculs relatifs à la distribution de flux et de puissance et aux marges des paramètres de fonctionnement. Dans le cas où l'un des paramètres de fonctionnement du cœur du réacteur nucléaire dépasse une certaine limite, l'unité de traitement 14 produit un signal d'alarme qui est transmis en salle de commande pour déclencher une alarme qui peut être une alarme visuelle, sur l'un des écrans 20 ou une alarme sonore ou tout autre type d'alarme.

Les paramètres de fonctionnement du cœur du réacteur nucléaire qui peuvent être calculés et déterminés par l'unité de traitement 14, à partir de la répartition de flux ou de puissance dans le cœur du réacteur nucléaire comportent généralement les paramètres suivants :

- la puissance linéique ( $P_{lin}$ ), c'est-à-dire la puissance par unité de longueur des éléments de combustible du cœur du réacteur,

- le rapport d'échauffement critique (REC) traduisant l'écart de l'échauffement des éléments de combustible par rapport à un échauffement critique,

- le déséquilibre axial de puissance du cœur ( $D_{pax}$ ),

- le déséquilibre azimutal de puissance du cœur (Dpaz),
- la marge d'antiréactivité (MAR).

L'unité de traitement 14 calcule les valeurs du flux et la répartition du flux dans le cœur, sensiblement en temps réel, en utilisant un logiciel de calcul neutronique tri-dimensionnel, à partir des mesures neutroniques en provenance des 16 détecteurs de flux sélectionnés parmi les 48 détecteurs introduits dans le cœur du réacteur nucléaire.

L'unité de traitement calcule les paramètres de fonctionnement du cœur et les marges à partir de la répartition de puissance.

Le fait qu'on utilise un nombre de détecteurs réduit, sélectionnés parmi l'ensemble de détecteurs pour déterminer la répartition du flux permet de réduire de manière très importante le temps de traitement. Ce temps de traitement est de l'ordre de 30 secondes dans le cas d'une sélection de 16 détecteurs parmi l'ensemble des détecteurs. On peut donc effectuer les mesures et déterminer la répartition du flux dans le cœur avec une périodicité de 30 secondes.

A titre de comparaison, dans le cas où l'on utiliserait un ensemble habituel de détecteurs, par exemple 58 détecteurs répartis dans le cœur pour déterminer la répartition du flux et de la puissance du réacteur nucléaire, le temps de traitement serait de l'ordre de 6 minutes. De manière générale, dans le cas de l'invention, on réalise avec une périodicité de l'ordre de 30 secondes et toujours inférieure à une minute, en utilisant un ensemble de détecteurs sélectionnés, des mesures et des calculs permettant de déterminer la répartition du flux neutronique dans le cœur et différents paramètres de fonctionnement du cœur ainsi que leur marge par rapport à des valeurs limites. On déclenche des alarmes lorsque des paramètres de fonctionnement franchissent des limites.

Ces mesures et calculs effectués avec une périodicité inférieure à une minute et par exemple de l'ordre de 30 secondes permettent de déterminer la répartition du flux pratiquement en temps réel dans le réacteur nucléaire et d'exercer une surveillance continue sur le fonctionnement du cœur.

Comme il est visible sur la figure 2, les moyens de mesure et de traitement comportent également, reliés à l'unité d'acquisition 15, un ensemble de moyens permettant de faire parvenir à l'unité d'acquisition des valeurs de paramètres en provenance des équipements de la tranche. Par l'intermédiaire d'unités 22 appelées unités de transfert de grandeurs numériques (UTGN), l'unité d'acquisition peut recevoir des données telles que les températures et pressions dans les boucles du circuit primaire du réacteur nucléaire et le niveau de puissance du réacteur déterminé par un bilan enthalpique.

L'unité d'acquisition 15 reçoit également par l'intermédiaire d'une logique de traitement de position des grappes (LTPG) 23, des données sur la position des différentes grappes de réglage de la réactivité du cœur du réacteur nucléaire.

L'unité d'acquisition qui est reliée à des modules 24 de mesure générale de la température en sortie du cœur (KRG) reçoit également des données relatives à la température du cœur. L'instrumentation du cœur 25 (RPN) fournit la puissance neutronique du cœur. Enfin, un boremètre 26 fournit des indications sur la teneur en bore de l'eau de refroidissement du réacteur nucléaire. Toutes ces données traitées et transmises par l'unité d'acquisition permettent d'afficher les valeurs des paramètres dans la salle de commande du réacteur et de fournir des indications sur le fonctionnement et le pilotage du réacteur nucléaire.

Le traitement des paramètres en provenance des équipements de la tranche dans les unités de traitement (ou calculateur) sera décrit par la suite en regard de la figure 3.

Les paramètres en provenance des équipements de la tranche et les paramètres de fonctionnement des unités d'acquisition et de traitement ainsi que les mesures de flux sont transmis au système d'archivage local (SAL) 18 relié à l'imprimante 19.

La figure 3 est un schéma fonctionnel sur lequel on a représenté le modèle neutronique tridimensionnel 30 qui permet de réaliser un calcul en ligne, c'est-à-dire un calcul instantané, sur le site même du réacteur nucléaire, de la distribution de flux neutronique dans le cœur du réacteur nu-

cléaire et de paramètres de fonctionnement du cœur tels que les paramètres Plin, REC, Dpax, Dpaz, MAR, mentionnés plus haut.

5 Le modèle neutronique tridimensionnel 30 est utilisé sous la forme d'un logiciel qui est mis en œuvre dans un ordinateur sur le site du réacteur nucléaire et qui permet de déterminer la distribution neutronique volumique dans le cœur, sous la forme d'un ensemble de valeurs du flux neutronique en différents points répartis suivant tout le volume du cœur 1 du réacteur nucléaire.

10 Par exemple, dans le cas d'un réacteur nucléaire comportant un cœur constitué par 193 assemblages de combustible disposés côte à côte, on effectue le calcul du flux neutronique en huit points du tube central d'instrumentation de chacun des assemblages de combustible, répartis à des distances régulières suivant la hauteur du cœur du réacteur nucléaire.

15 La répartition volumique du flux neutronique dans le cœur du réacteur nucléaire est donc constituée par un ensemble de  $193 \times N$  valeurs de flux neutronique, chacune associée à une position d'un point dans le cœur du réacteur nucléaire,  $N$  étant choisi en fonction de la précision souhaitée.

20 Parmi les  $193 \times N$  points répartis dans le cœur,  $16 \times 8$  points correspondent aux positions dans lesquelles sont disposées des sondes de mesure de flux neutronique constituant le sous-ensemble de sondes sélectionnées dans le cadre du procédé de surveillance de l'invention. Les positions correspondantes sont désignées comme positions instrumentées, les  $193 \times N - 16 \times 8$  positions restantes étant désignées comme positions non instrumentées.

25 Le ordinateur sur lequel on utilise le modèle neutronique 30 pour réaliser des calculs de flux neutronique reçoit comme données d'entrée, dans un module d'entrée 31, les paramètres en provenance des équipements de la tranche, par l'intermédiaire des unités d'acquisition 20a et 20b.

30 Les différents paramètres en provenance des équipements de la tranche qui ont été mentionnés plus haut ont été représentés par les références 22, 23, 24, 25 et 26 des unités de mesure et de traitement permettant de fournir les paramètres aux unités d'acquisition 20a et 20b.

Le modèle neutronique 30, à la base du code de calcul du flux neutronique en un point quelconque du cœur, est paramétré par entrée dans le code de calcul, au niveau du module 30', des paramètres de définition tels que l'enrichissement du combustible nucléaire dans le cœur et la concentration en xénon dans le cœur.

Les valeurs calculées du flux neutronique, schématisées en 32 sur la figure 3, sont transmises à une unité 33 de sélection des valeurs de flux calculées en chacune des 16 x 8 positions instrumentées.

Les valeurs sélectionnées par l'unité 33 sont transmises à un module 35 de comparaison qui reçoit également les mesures de flux neutronique effectuées par les collecteurs et mises en forme dans les unités de conditionnement correspondantes.

On a représenté sous la forme du module 34 l'ensemble des moyens d'acquisition et de conditionnement des signaux de mesure de flux neutronique.

Les 16 x 8 valeurs du flux neutronique mesurées sont comparées aux 16 x 8 valeurs calculées, à l'intérieur du module de comparaison 35 dans lequel on calcule les écarts entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées, pour chacune des positions instrumentées.

Le résultat de la comparaison, sous la forme d'écarts calculés est transmis par la ligne 35a au calculateur mettant en œuvre le code de calcul fondé sur le modèle neutronique tridimensionnel 30.

Deux modes de traitement des écarts peuvent être utilisés.

Dans le cas d'un premier mode de traitement, les écarts calculés pour chacune des positions instrumentées sont traités par le calculateur qui détermine, par un processus d'extension, les valeurs correspondantes des écarts pour chacune des positions non instrumentées.

Pour l'ensemble des points répartis dans le cœur correspondant à des positions instrumentées ou à des positions non instrumentées, on ajoute algébriquement les valeurs desdits écarts aux valeurs de flux obtenues par le calcul à partir des paramètres en provenance des équipements de la tranche, de manière à obtenir la valeur mesurée de la répartition du flux en chacun des points du cœur.



A partir de ces valeurs mesurées, on calcule dans un module 36, au moins un paramètre de fonctionnement mentionné plus haut. Le paramètre de fonctionnement est transmis par la ligne 36a à une unité de comparaison 37 qui émet un signal de commande d'un dispositif d'alarme 38, dans le cas  
5 d'un écart significatif entre la valeur du paramètre surveillé et une valeur de consigne.

Selon un second mode de traitement, les valeurs des écarts sont transmises au module 30', de manière à modifier les paramètres de définition du code de calcul, dans un sens tel qu'on minimise les écarts des valeurs mesurées et calculées, en chacun des points correspondant à une position instrumentée.  
10

La détermination de la modification des paramètres de définition du code de calcul peut nécessiter des opérations successives de détermination des valeurs du flux neutronique sur les positions instrumentées, en faisant varier les paramètres de définition du code de calcul et en déterminant les modifications qui minimisent les écarts par rapport aux valeurs mesurées.  
15

On réalise ainsi un recalage du code de calcul.

On effectue enfin un deuxième calcul en ligne de la répartition instantanée du flux neutronique à l'intérieur du cœur à partir des paramètres en provenance des équipements de la tranche, en utilisant le code de calcul de flux neutronique comportant des paramètres de définition corrigés.  
20

A partir de cette répartition instantanée du flux neutronique, on détermine la valeur des paramètres de fonctionnement du cœur qui sont transmis par la ligne 36a à l'unité de comparaison 37. Une alarme est émise dans le cas d'un dépassement, comme précédemment.  
25

Les paramètres en provenance des équipements de la tranche sont obtenus et transmis au calculateur en un temps relativement court, de l'ordre de 2 secondes.

Les valeurs des flux neutroniques dans les différents points du cœur constituant la répartition volumique de flux neutronique sont calculées toutes les 30 secondes environ. Pour obtenir une valeur instantanée plus précise de la répartition volumique du flux neutronique dans le cœur, il est possible de recalculer de manière approchée en utilisant les valeurs instantanées des  
30

paramètres en provenance des équipements de la tranche, c'est-à-dire toutes les deux secondes environ, les valeurs de flux neutronique représentant la distribution volumique instantanée de flux neutronique dans le cœur du réacteur nucléaire. Pour cela, on utilise le code de calcul de manière simplifiée pour modifier les valeurs de flux neutronique de la dernière répartition volumique calculée à partir des valeurs instantanées des paramètres en provenance des équipements de la tranche. On peut ainsi obtenir une réponse plus rapide pour déclencher une alarme permettant, si nécessaire, de commander une baisse de puissance du réacteur nucléaire.

10 La protection du réacteur nucléaire conduisant à l'arrêt d'urgence du réacteur pour faire baisser la puissance jusqu'à une puissance nulle est assurée par un système de protection qui comporte les chambres Excore multi-tagées à six sections disposées à l'extérieur de la cuve du réacteur nucléaire.

15 Ce système de protection est calibré en utilisant le système d'instrumentation RIC, une fois par mois.

En outre, on peut réaliser avec une périodicité beaucoup plus grande que la périodicité de réalisation des mesures sur l'ensemble de détecteurs sélectionnés, par exemple une fois par jour, au lieu d'un mois dans le cas de détecteurs mobiles, des mesures sur l'ensemble des 58 détecteurs introduits dans le cœur, pour déterminer une carte de flux neutronique plus précise. On peut ainsi réaliser périodiquement un ajustement et un recadrage de la répartition de flux déterminée en temps réel par l'unité de traitement 14.

25 L'établissement d'une carte de flux neutronique en utilisant l'ensemble des détecteurs de mesure de flux est réalisé par le calculateur 4 du RIC, dont la fonction habituelle est de réaliser des cartes de flux complètes et précises.

30 Dans le cadre de l'invention également, en dehors des périodes où il est utilisé pour des calculs de flux neutronique, le modèle neutronique implanté dans le calculateur du système RIC peut être utilisé pour effectuer des calculs prédictifs sur l'évolution du cœur du réacteur nucléaire et des simulations pour apporter une aide au pilotage, c'est-à-dire pour définir

l'action correctrice à entreprendre sur les variables de pilotage en cas d'alarme.

5 En équipant le calculateur RIC 4 d'une unité de conditionnement telle que l'unité de conditionnement 11, on pourrait l'utiliser comme calculateur de secours pour la mise en œuvre du procédé de l'invention, si les temps de calcul sont suffisamment courts pour respecter les consignes relatives à la surveillance.

10 De manière générale, l'émission d'une alarme doit conduire à une action correctrice sur les variables de pilotage utilisées pour la conduite du réacteur et par exemple à une réduction de la puissance du réacteur, à un repositionnement des grappes ou à une injection de bore ou d'eau de dilution dans l'eau de refroidissement du réacteur nucléaire.

Ces actions peuvent être déterminées en particulier par les calculs prédictifs et les simulations effectuées avec le calculateur du système RIC.

15 Le procédé et le dispositif de l'invention permettent donc de déterminer très rapidement, pratiquement en temps réel, la répartition de puissance dans le cœur du réacteur nucléaire et les paramètres de fonctionnement du cœur et de comparer ces paramètres pour obtenir des marges ou pour déclencher des alarmes. En outre, on peut effectuer à des intervalles  
20 de temps relativement grands, de l'ordre d'un jour, mais nettement plus faibles que les intervalles de temps auxquels on effectue habituellement des relevés complets et précis de flux neutronique dans le cœur (de l'ordre d'un mois dans le cas de détecteurs mobiles), l'ajustement de la répartition de puissance dans le cœur.

25 L'invention ne se limite pas au mode de réalisation décrit.

Le nombre de détecteurs sélectionnés à des intervalles de temps faibles déterminés inférieurs à une minute, pour mesurer et calculer la répartition de flux neutronique dans le cœur peut être différent de 16, ce nombre dépendant en fait du nombre d'assemblages de combustible dans le  
30 cœur et de la vitesse de calcul du calculateur. Pour la mise en œuvre du procédé suivant l'invention, le nombre de détecteurs dans l'ensemble de détecteurs sélectionnés doit être de manière générale inférieur à 15% du nombre des assemblages de combustible dans le cœur. En particulier, pour

un cœur comportant à peu près 200 assemblages de combustible, le nombre de détecteurs sélectionnés sera toujours inférieur à 30.

Le nombre total de détecteurs introduits dans le cœur qui était de 48 dans le cas de l'exemple décrit est également déterminé en fonction du  
5 nombre total d'assemblages de combustible dans le cœur.

Du fait des symétries dans le cœur, il est possible de déterminer la répartition des détecteurs dans un quart du cœur. Le nombre total de détecteurs introduits dans le cœur est donc généralement un multiple de 4. Ce nombre peut être en particulier de l'ordre du quart du nombre des assemblages de combustible.  
10

Par exemple, dans le cas d'un cœur comportant 193 assemblages de combustible, on utilise 48 détecteurs. Le nombre de détecteurs sélectionnés pour chacune des mesures à des intervalles de temps faibles déterminés est généralement de l'ordre du tiers du nombre total de détecteurs dans  
15 le cœur, c'est-à-dire de l'ordre du douzième du nombre des assemblages de combustible dans le cœur. Comme expliqué plus haut, ce nombre de manière plus générale est inférieur à 15% du nombre des assemblages de combustible.

Les détecteurs de mesure de flux neutronique positionnés à cote  
20 fixe dans le cœur comportent généralement des sondes de mesure constituées par des collectrons. D'autres types de sondes de mesure peuvent également être utilisés, à partir du moment où ces sondes de mesure peuvent être maintenues en permanence dans le cœur du réacteur en fonctionnement.

Dans le cas où l'on utilise des collectrons, ces collectrons peuvent  
25 comporter de manière préférentielle un émetteur en matériau à base de rhodium mais il est également possible d'utiliser des collectrons comportant un émetteur en un matériau à base de cobalt. Cependant de tels détecteurs comportant des collectrons ayant un émetteur à base de cobalt ne sont pas  
30 du tout appropriés pour constituer les détecteurs de l'ensemble de détecteurs introduit dans le cœur et utilisés pour des mesures de flux servant à la détermination de la répartition de flux neutronique par le calculateur RIC.

L'utilisation de détecteurs comportant des collectrons à base de cobalt doit donc être réservée à l'ensemble de détecteurs utilisés pour la surveillance continue et la protection du cœur du réacteur nucléaire et permettant de déterminer rapidement la répartition de flux dans le cœur. Dans ce cas, il n'est plus possible de sélectionner un sous-ensemble de détecteurs parmi l'ensemble de détecteurs du cœur pour effectuer les mesures à des intervalles de temps faibles, pour la surveillance du cœur. Seul un ensemble de détecteurs comportant des collectrons au cobalt est alors utilisé à cette fin.

La périodicité des mesures et calculs conduisant à l'obtention du ou des paramètres de fonctionnement du cœur peut être fixée à une valeur inférieure à une minute, dans le cadre de l'invention.

Un des intérêts principaux de l'invention est de permettre de déterminer rapidement les marges de fonctionnement du réacteur nucléaire, avec une bonne précision, ce qui permet d'améliorer les performances et le rendement du réacteur nucléaire.

L'invention s'applique dans le cas de tout réacteur nucléaire comportant un cœur dans lequel on peut introduire des détecteurs de mesure de flux qui sont maintenus dans le réacteur nucléaire pendant son fonctionnement.

## REVENDICATIONS

1.- Procédé de surveillance d'au moins un paramètre de fonctionnement du cœur (1) d'un réacteur nucléaire d'une tranche d'une centrale nucléaire, constitué par une pluralité d'assemblages de combustible (2) disposés de manière juxtaposée suivant une direction verticale du cœur (1), en utilisant un ensemble de détecteurs de mesure de flux neutronique (8) introduit dans une partie au moins des assemblages de combustible (2) du cœur, comportant chacun une pluralité de sondes (9) de mesure de flux neutronique fixes réparties suivant la direction verticale du cœur (1), caractérisé par le fait que, pendant le fonctionnement du réacteur nucléaire, à des intervalles de temps déterminés :

- on réalise une mesure de la répartition volumique du flux neutronique, en utilisant, pour obtenir les signaux de mesure, un sous-ensemble de détecteurs de flux neutronique (8) sélectionnés parmi l'ensemble de détecteurs (8) introduits dans des assemblages du cœur, le nombre n de détecteurs (8) du sous-ensemble étant au plus égal à 15% du nombre d'assemblages de combustible (2) dans le cœur (1),

- on utilise un code de calcul du flux neutronique et on prend en compte les mesures fournies par le sous-ensemble de détecteurs de flux neutronique pour obtenir la répartition instantanée du flux neutronique dans le cœur (1), sous la forme d'un ensemble de valeurs du flux neutronique en des points répartis dans le cœur,

- on calcule au moins un paramètre de fonctionnement du cœur, à partir de la répartition instantanée du flux neutronique et,

- on déclenche une alarme si l'au moins un paramètre est en dehors d'une plage fixée.

2.- Procédé de surveillance suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que, pour obtenir la répartition instantanée du flux neutronique dans l'ensemble du cœur (1) :

- on effectue un calcul instantané, sur le site du réacteur, de la répartition volumique du flux à l'intérieur du cœur, sous la forme d'un ensemble de valeurs de flux neutronique aux différents points répartis dans le cœur comprenant un premier sous-ensemble de positions instrumentées où sont si-

tuées les sondes de mesure de flux neutronique du sous-ensemble de détecteurs (8) et un second sous-ensemble de positions non instrumentées, à partir de paramètres en provenance des équipements de la tranche, en utilisant le code de calcul de flux neutronique,

5           - on calcule les écarts entre les valeurs de flux obtenues par les mesures et les valeurs correspondantes calculées à partir des paramètres en provenance des équipements de la tranche, pour chacune des positions instrumentées,

          - on calcule, à partir des écarts relatifs aux positions instrumentées,  
10          par un processus d'extension, des écarts correspondants pour chacune des positions non instrumentées,

          - on ajoute une valeur algébrique aux valeurs de flux de la répartition volumique obtenues à partir des paramètres en provenance des équipements de la tranche, pour réduire l'écart calculé en chacun des points répartis dans  
15          le cœur (1).

3.- Procédé de surveillance suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que, pour obtenir la répartition instantanée du flux neutronique dans l'ensemble du cœur (1) :

          - on effectue un premier calcul instantané, sur le site du réacteur, de  
20          la répartition volumique du flux neutronique à l'intérieur du cœur (1) sous la forme d'un ensemble de valeurs de flux neutronique aux différents points répartis dans le cœur (1) comprenant un ensemble de positions instrumentées dans lesquelles sont situées les sondes de mesure de flux neutronique du sous-ensemble de détecteurs (8), à partir de paramètres en provenance  
25          des équipements de la tranche, en utilisant le code de calcul du flux neutronique,

          - on calcule les écarts entre les valeurs du flux neutronique obtenues par les mesures et les valeurs correspondantes calculées à partir des paramètres en provenance des équipements de la tranche, pour chacune des  
30          positions instrumentées,

          - on utilise les écarts calculés pour effectuer une correction de paramètres de définition du code de calcul de flux neutronique, et

- on effectue un deuxième calcul instantané, sur le site du réacteur nucléaire de la répartition instantanée du flux neutronique à l'intérieur du cœur (1), à partir des paramètres en provenance des équipements de la tranche, en utilisant le code de calcul de flux neutronique comportant des paramètres de définition corrigés.

4.- Procédé de surveillance suivant l'une quelconque des revendications 1, 2 et 3, caractérisé par le fait que l'on utilise des valeurs instantanées des paramètres en provenance des équipements de la tranche et les dernières valeurs de flux neutroniques déterminées en chacun des points du cœur pour calculer de nouvelles valeurs instantanées des valeurs de flux neutronique, en utilisant le code de calcul, de manière simplifiée.

5.- Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait, qu'à des intervalles de temps supérieurs aux intervalles de temps déterminés auxquels on effectue des mesures avec le sous-ensemble de détecteurs (8) sélectionnés, cet intervalle de temps supérieur étant généralement de l'ordre d'une journée, on effectue une mesure de flux neutronique en utilisant l'ensemble des détecteurs (8) introduits dans le cœur du réacteur nucléaire, on calcule une répartition de flux neutronique précise en tenant compte des mesures, dans un calculateur tel que le calculateur du système d'instrumentation du réacteur nucléaire (RIC) et on réalise un recadrage de la répartition de flux neutronique déterminée en tenant compte des mesures effectuées sur le sous-ensemble sélectionné de détecteurs (8), à partir de la répartition précise de flux neutronique.

6. Procédé suivant la revendication 5, caractérisé par le fait qu'on utilise le calculateur (4) du système d'instrumentation du réacteur nucléaire (RIC), en dehors des périodes où ce calculateur (4) est utilisé pour déterminer une répartition de flux neutronique dans le cœur (1) précise et pour effectuer des calculs prédictifs et des simulations, de manière à définir des actions correctrices à entreprendre sur les variables de pilotage du réacteur nucléaire en cas d'alarme.

7. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé par le fait que l'au moins un paramètre de fonctionnement du cœur (1) du réacteur nucléaire est un des paramètres suivant : puissance linéique



Plin, rapport d'échauffement critique REC, déséquilibre axial de puissance  $D_{pax}$ , déséquilibre azimutal de puissance  $D_{paz}$ , marge d'antiréactivité MAR.

8. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé par le fait qu'on réalise un traitement de conditionnement des signaux de mesure fournis par les sondes (9) des détecteurs (8) comportant un traitement d'accélération en ligne des signaux sous forme de courant électrique, en effectuant, pour chaque signal, l'isolation d'un signal électrique dû à un phénomène de production rapide d'électrons et en utilisant une fonction inverse de transfert, pour la détermination d'une valeur du flux neutronique à partir du courant électrique isolé du signal de courant.

9. Dispositif de surveillance d'au moins un paramètre de fonctionnement du cœur (1) d'un réacteur nucléaire, constitué par une pluralité d'assemblages de combustible (2) disposés de manière juxtaposée suivant une direction verticale du cœur (1) comportant un ensemble de détecteurs (8) de mesure de flux neutronique introduit dans une partie au moins des assemblages de combustible (2) du cœur (1) comprenant chacun une pluralité de sondes de mesure (9) de flux neutronique réparties suivant la direction verticale du cœur (1), l'ensemble des détecteurs de mesure de flux neutronique (8) étant relié à un calculateur (4) constituant le calculateur du système d'instrumentation (RIC) du réacteur nucléaire, caractérisé par le fait qu'il comporte une unité de surveillance (10) reliée aux détecteurs (8) de flux neutronique et pilotée par un calculateur de conduite du réacteur nucléaire pour recevoir des signaux de mesure d'un sous-ensemble de détecteurs (8) sélectionnés parmi les détecteurs de l'ensemble (8) introduits dans le cœur, le sous-ensemble comportant un nombre  $n$  de détecteurs (8) de flux neutronique au plus égal à 15% du nombre des assemblages de combustible (2) dans le cœur (1) du réacteur nucléaire,

et que l'unité de surveillance (10) comporte une unité de traitement (14) pour la détermination de la distribution de flux et de puissance dans le cœur du réacteur nucléaire et le calcul de l'au moins un paramètre de fonctionnement du cœur (1) du réacteur nucléaire et de marges du paramètre de fonctionnement par rapport à des limites et pour l'élaboration de signaux

d'alarme dans le cas du dépassement d'une valeur limite par l'au moins un paramètre de fonctionnement du cœur (1) du réacteur nucléaire.

5 10. Dispositif suivant la revendication 9, caractérisé par le fait que les détecteurs (8) sont reliés à l'unité de surveillance (10), par l'intermédiaire d'une unité de conditionnement (11) comportant des moyens d'accélération en ligne des signaux de mesure provenant de sondes de mesure (9) constituées de collectrons.

10 11. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 9 et 10, caractérisé par le fait que les sondes de mesure (9) sont constituées par des collectrons ayant un émetteur en un matériau à base de rhodium.

12.- Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 9 à 11, caractérisé par le fait que le calculateur d'instrumentation du réacteur nucléaire (RIC) (4) est équipé d'une unité de conditionnement des signaux de mesure pour servir de calculateur de secours de l'unité de surveillance (10).

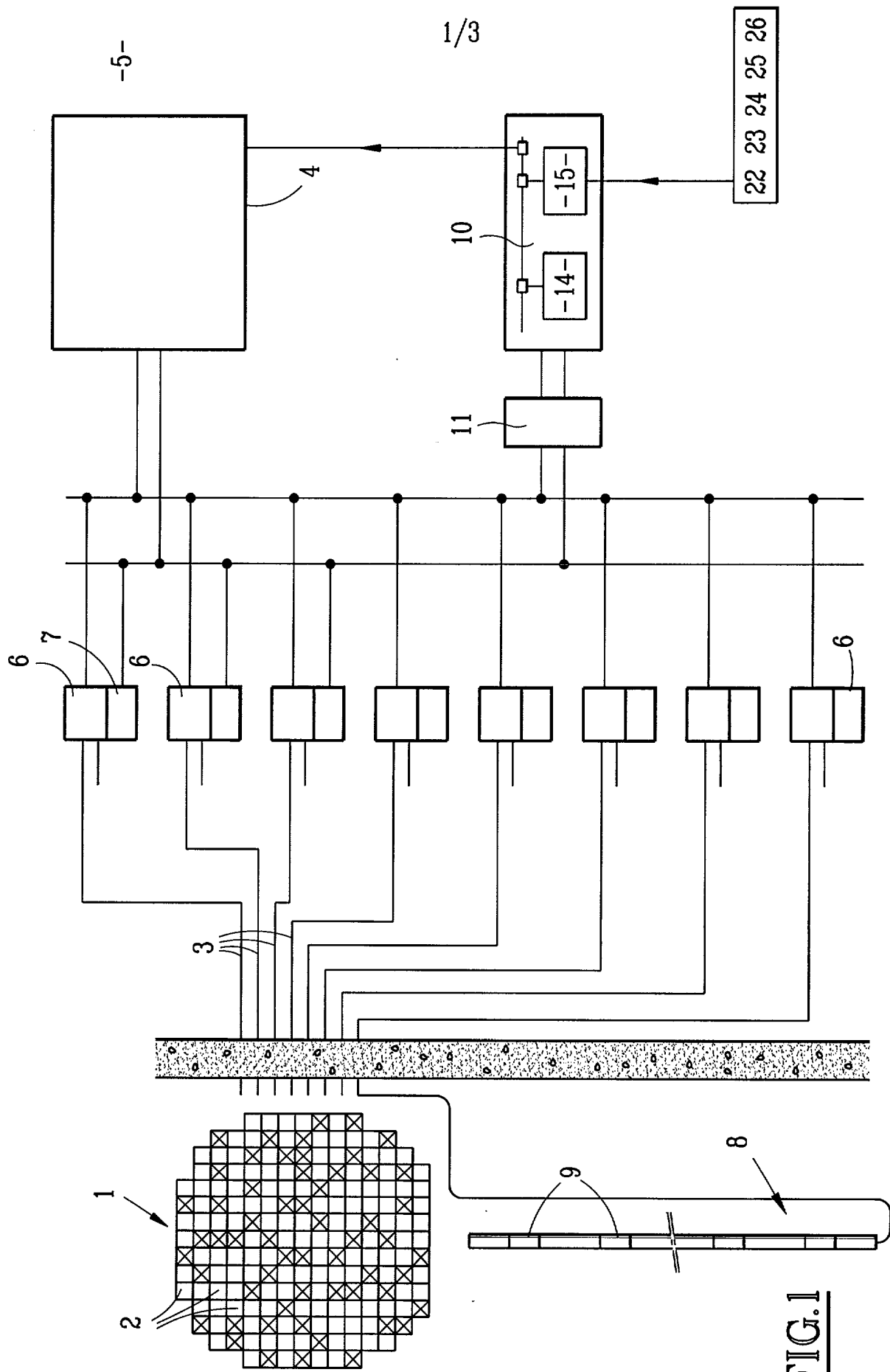


FIG. 1

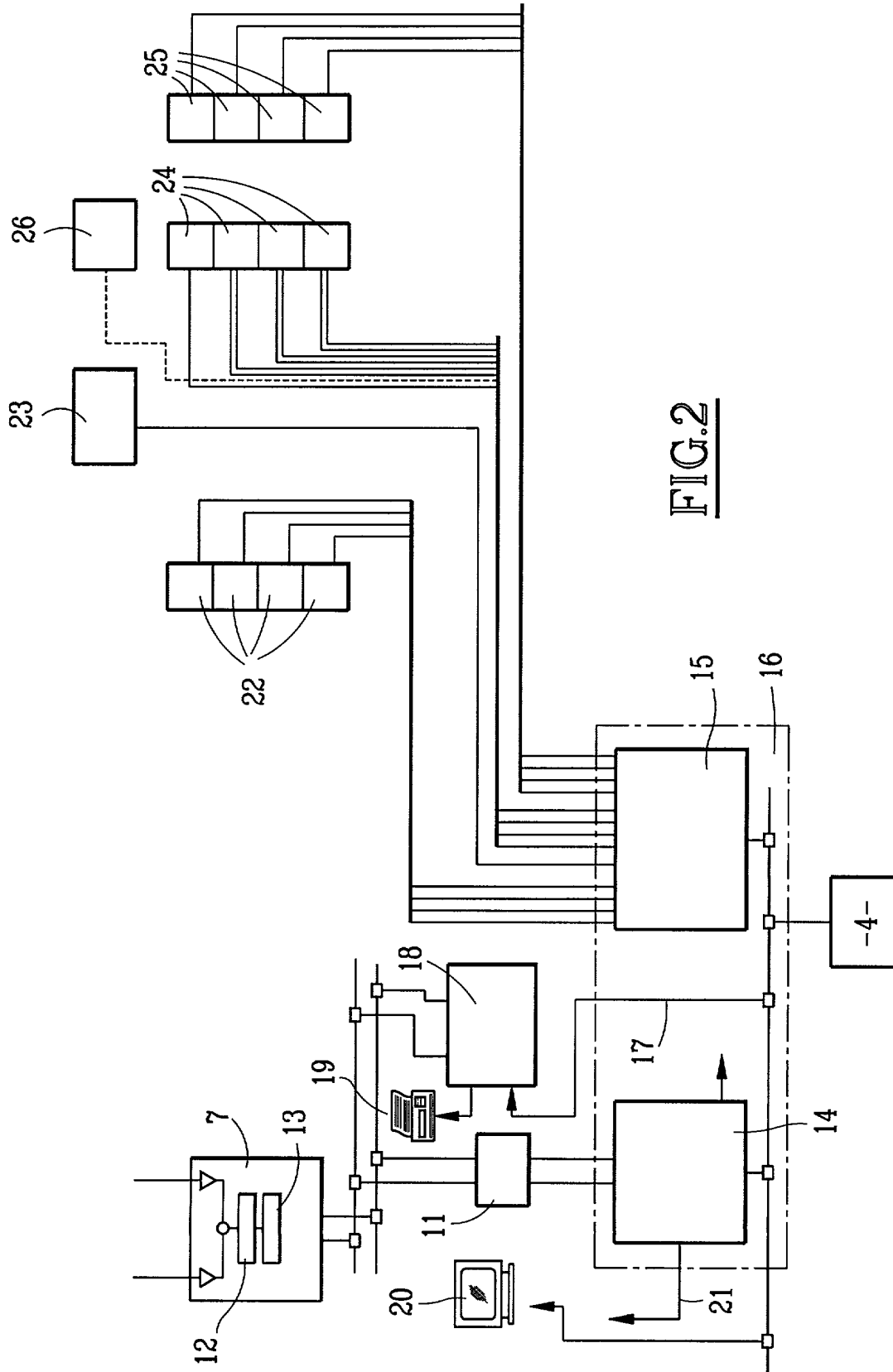


FIG. 2

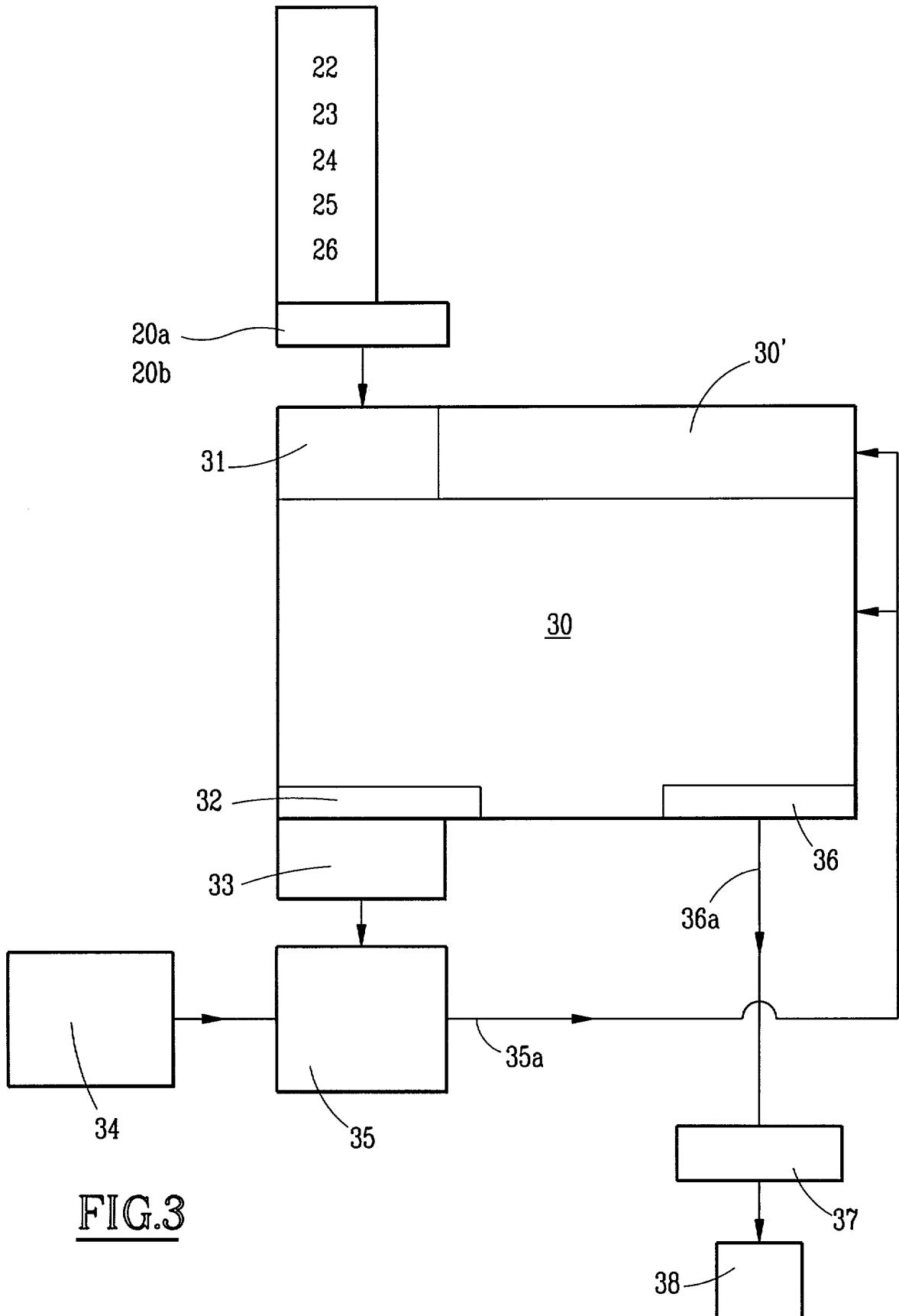


FIG.3

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE

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

N° d'enregistrement  
national

FA 579539  
FR 9908652

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	US 5 406 598 A (TAKEUCHI YUTAKA ET AL) 11 avril 1995 (1995-04-11) * revendications 1-15; figures 1-10,13-16 *	1-12
A	EP 0 396 321 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP) 7 novembre 1990 (1990-11-07) * revendications 1-5; figures 1-3 *	1-12
A	EP 0 323 280 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP) 5 juillet 1989 (1989-07-05) * page 3, ligne 50 - page 5, ligne 42; figures 1-7C *	1-12
A	DE 24 32 566 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP) 30 janvier 1975 (1975-01-30) * revendications 1-13; figures 1-7 *	1-12
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.7)
		G21C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
18 février 2000		Deroubaix, P
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul                      Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie                      A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général                      O : divulgation non-écrite                      P : document intercalaire</p> <p>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                      &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1605 02.02 (P04C19)