

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

**2 280 179**

(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 75 13269**

---

(54) Réacteur nucléaire à refroidissement par l'eau.

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). G 21 C 15/02.

(22) Date de dépôt ..... 28 avril 1975, à 16 h 3 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *Demande de brevet déposée en Grande-Bretagne le 29 avril 1974, n. 18.619/1974 au nom de la demanderesse.*

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande ..... B.O.P.I. — «Listes» n. 8 du 20-2-1976.

---

(71) Déposant : Société dite : BRITISH NUCLEAR DESIGN & CONSTRUCTION LIMITED, résidant en Grande-Bretagne.

(72) Invention de : .....

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Pierre Collignon.

L'invention se rapporte aux réacteurs nucléaires refroidis par l'eau et particulièrement, bien que non exclusivement, à un réacteur du type ayant une calandre remplie d'eau lourde qui joue le rôle de modérateur et comprenant des tubes de calandre qui s'étendent verticalement à travers l'eau lourde, des tubes de pression qui s'élèvent à travers les tubes de calandre, des ensembles d'éléments de combustible disposés à l'intérieur des tubes de pression et des circuits d'eau légère de refroidissement qui comprennent les tubes de pression et amènent l'eau légère aux extrémités inférieures des tubes de pression et prélèvent des extrémités supérieures de ces tubes de pression, sous la forme d'eau et/ou de vapeur, l'eau de refroidissement qui a été amenée aux tubes de pression.

Dans un tel réacteur, il est connu de prévoir que chaque circuit de refroidissement comprend un réservoir de vapeur auquel sont raccordées les extrémités supérieures des tubes de pression du circuit et dans lequel la vapeur produite par ébullition de l'eau de refroidissement dans les tubes de pression est séparée de l'eau qui n'a pas été vaporisée, un collecteur inférieur auquel sont raccordées les extrémités inférieures des tubes de pression et des pompes de circulation branchées pour pomper l'eau du réservoir de vapeur au collecteur inférieur, le réservoir de vapeur ayant une sortie de vapeur raccordée pour alimenter une turbine à vapeur et une entrée d'eau par laquelle une pompe d'alimentation fournit un appoint d'eau (qui peut être de l'eau condensée provenant de l'échappement de la turbine à vapeur).

Il est important, dans un tel réacteur, de réduire au minimum le risque de défaillance de l'alimentation en eau de refroidissement pour l'un quelconque des tubes de pression en l'absence d'un arrêt du réacteur ou même dans la période qui suit immédiatement un arrêt, car une telle défaillance aboutit à une élévation de température qui pourrait endommager les ensembles d'éléments de combustible et entraîner l'échappement de substances radio-actives. A long terme, un chauffage excessif du combustible et de son revêtement, résultant d'un incident qui endommage l'installation, peut être évité par l'arrêt du réacteur (par exemple par vidange du modérateur d'eau lourde évacué de la calandre et/ou en permettant ou provoquant le remplissage par un "poison" absorbant les neutrons, tel que l'acide borique, de tubes d'arrêt à liquide spécialement prévus à l'intérieur de la

calandre), mais à court terme, avant que ces mesures d'arrêt puissent avoir un effet, et pour remédier à la chaleur emmagasinée et à la chaleur des neutrons retardés, il est essentiel de garantir, autant qu'il est possible, qu'aucune partie de l'un quelconque des tubes de pression ne soit privée d'eau de refroidissement soit par défaillance complète de l'alimentation en eau d'un tube de pression, soit par l'établissement d'une situation de stagnation dans laquelle les pressions aux extrémités d'entrée et de sortie du tube de pression deviennent pratiquement égales et où il n'y a donc pas d'écoulement de fluide de refroidissement à travers le tube de pression.

Un but de la présente invention est d'établir une installation de réacteur nucléaire refroidi par l'eau dans laquelle les circuits d'eau de refroidissement sont disposés favorablement pour minimiser le risque que le combustible nucléaire se trouve surchauffé à la suite d'un incident qui perturbe le fonctionnement normal des circuits de refroidissement.

Une caractéristique de base de la présente invention, en vue de ce résultat, est la disposition d'une forme particulièrement avantageuse d'ensemble collecteur pour distribuer l'eau de refroidissement amenée aux tubes de pression.

Selon l'invention, on prévoit un ensemble collecteur d'amenée de l'eau de refroidissement pour réacteur nucléaire, comprenant une pluralité de tubes sous-collecteurs s'étendant de façon générale parallèlement les uns aux autres, chacun ayant une première extrémité et une seconde, écartées sur sa longueur, une pluralité de sorties d'eau, chacune pour un tube d'alimentation correspondant de tube sous pression, un premier tube d'extrémité et un second reliant entre eux les tubes sous-collecteurs respectivement à leurs premières extrémités et à leurs secondes extrémités et une pluralité de tubes collecteurs s'étendant transversalement à travers les tubes sous-collecteurs et écartés les uns des autres sur la longueur de ces sous-collecteurs, chaque tube collecteur ayant une entrée d'eau pour son raccordement à une pompe à eau, ainsi qu'une pluralité de tubes de branchement écartés sur sa longueur, chacun reliant le tube collecteur à un tube sous-collecteur correspondant.

Dans un tel ensemble collecteur, les branchements aboutissant sur chacun des tubes sous-collecteurs en provenance des tubes collecteurs associés sont de préférence régulièrement espacés sur

la longueur du tube sous-collecteur qui présente des nombres au moins approximativement égaux de sorties d'eau disposées entre deux tubes de branchements consécutifs.

5 Un circuit de refroidissement pour réacteur nucléaire selon l'invention comprend donc un ensemble collecteur d'amenée de l'eau de refroidissement selon l'invention avec un réservoir de vapeur ayant une sortie de vapeur, une pluralité de pompes à eau branchées chacune pour prélever de l'eau du réservoir de vapeur et pour l'envoyer à l'entrée d'eau d'un tube collecteur correspon-  
10 dant de l'ensemble et une pluralité de tubes de pression ayant chacun une extrémité inférieure raccordée à l'une des sorties d'eau des sous-collecteurs de l'ensemble qui lui est associée et une extrémité supérieure raccordée au réservoir de vapeur.

15 Dans un tel circuit de refroidissement, le dit réservoir de vapeur peut être l'un de deux réservoirs de vapeur ayant chacun une sortie de vapeur et raccordés chacun pour alimenter en eau une fraction associée de l'ensemble des collecteurs par l'intermédiaire d'une pluralité correspondante de pompes à eau raccordées chacune entre l'un des réservoirs de vapeur et un tube collecteur associé  
20 de l'ensemble collecteur, ceux des tubes de pression qui ont leurs extrémités inférieures raccordées aux sorties d'eau d'une fraction particulière de l'ensemble collecteur ayant leurs extrémités supérieures raccordées au collecteur de vapeur correspondant qui alimente en eau cette fraction particulière.

25 Un réacteur nucléaire peut être doté, conformément à l'invention, d'un ou de plusieurs circuits de refroidissement de ce type et dans ce dernier cas, selon une caractéristique complémentaire de l'invention, on peut prévoir que chacun des circuits d'eau de refroidissement est raccordé pour fournir un écoulement  
30 auxiliaire d'eau de refroidissement provenant de son réservoir de vapeur directement aux tubes de pression d'un autre des circuits d'eau de refroidissement, sous la forme d'un refroidissement par pulvérisation, et pour recevoir, comme refroidissement par pulvérisation, dans ses propres tubes de pression un écoulement auxi-  
35 liaire correspondant provenant d'un autre des circuits d'eau de refroidissement. Cet écoulement croisé d'eau de refroidissement auxiliaire entre les circuits est de préférence continuellement en action et est maintenu par un pompage positif (avec maintien d'un équilibre entre l'eau ainsi reçue par un circuit quelconque  
40 et l'eau qu'il fournit d'une manière correspondante à un autre

des circuits), mais on peut trouver qu'il est satisfaisant de ne pas prévoir un tel pompage positif et de compter sur la chute de pression qui se présentera dans un circuit endommagé pour assurer un écoulement de refroidissement par pulvérisation d'eau de refroidissement auxiliaire en provenance d'un autre circuit, ce qui dans l'éventualité d'un tel endommagement assurera la protection des tubes de pression contre une surchauffe dans le circuit endommagé.

Dans une disposition de réacteur selon l'invention, il y a quatre circuits de refroidissement qui sont reliés par paires au niveau de la sortie des pompes de circulation, chaque circuit d'une telle paire ayant un raccordement croisé de "refroidissement par pulvérisation" avec l'un des circuits de l'autre paire.

On décrira maintenant, à titre d'exemple, une telle forme d'exécution d'une installation de réacteur nucléaire refroidi par l'eau, en référence au dessin annexé, dans lequel :

la figure 1 est une vue schématique en plan avec coupe partielle d'un coeur de réacteur et de quatre circuits principaux d'eau de refroidissement alimentant chacun en eau de refroidissement un quadrant correspondant du coeur ;

la figure 2 est un schéma des circuits d'eau de refroidissement de l'installation, montrant schématiquement les circuits principaux d'eau de refroidissement qui sont représentés sur la figure 1 et aussi un système auxiliaire de refroidissement par pulvérisation de l'installation ;

la figure 3 est une représentation schématique des groupes collecteurs inférieurs de deux des circuits principaux d'eau de refroidissement représentés sur les figures 1 et 2, associés l'un à l'autre en formant un groupe composite ; et

la figure 4 est une coupe verticale de l'un des nombreux canaux de combustible à l'intérieur du coeur de réacteur.

Comme représenté sur la figure 1, un réacteur nucléaire comprend une enceinte de confinement 10 qui est de préférence en béton précontraint et dans laquelle est disposé centralement le coeur 11 du réacteur. Le coeur 11 est de type connu et n'est pas représenté ni décrit en détails ; il comprend une calandre contenant de l'eau lourde qui sert de modérateur pour le réacteur et qui comprend un grand nombre de tubes verticaux de calandre entourés par l'eau lourde et ouverts à leurs extrémités supérieures et inférieures, à travers lesquels s'étendent des tubes de

pression, dans lesquels sont disposés des chapelets d'éléments combustibles et à travers lesquels on fait circuler l'eau de refroidissement comme on le décrira dans la suite de l'exposé.

5 A l'intérieur de l'enceinte 10 sont aussi logés quatre circuits d'eau de refroidissement 12A, 12B, 12C et 12D, disposés en périphérie autour du coeur 11, chacun alimentant en eau de refroidissement les tubes de pression disposés dans un quadrant correspondant (indiqué en A, B, C et D) du coeur 11. Il n'est pas essentiel pour l'invention que les tubes de pression desservis par un circuit particulier d'eau de refroidissement soient ainsi groupés et séparés dans une région distincte correspondante du coeur mais c'est une question de commodité pratique, compte tenu de la nécessité de prévoir et de disposer les tuyauteries pour le fluide de refroidissement. Comme on le décrira ci-après, les circuits d'eau de refroidissement 12A et 12B sont de préférence associés pour constituer en fait un seul circuit composite desservant une moitié du coeur de réacteur (constituée par les quadrants A et B), les circuits 12C et 12D étant associés de façon analogue et desservant de façon semblable l'autre moitié du coeur (quadrants C et D).

20 Les quatre circuits d'eau de refroidissement sont de conception identique, comme on le décrira maintenant brièvement en référence plus particulièrement au circuit 12D représenté sur la figure 1 et schématiquement sur la figure 2. Le circuit 12D comprend une pluralité de pompes de circulation 13D pour l'eau de refroidissement (il peut y en avoir quatre comme représenté sur la figure 1, mais on n'a représenté qu'une seule sur la figure 2) agissant en parallèle pour alimenter en eau légère un ensemble collecteur inférieur 14D qu'on décrira plus en détails dans la suite de l'exposé en référence à la figure 3 et qui distribue l'eau à une pluralité de tubes individuels 15D d'alimentation en eau. Chaque tube d'alimentation 15D est raccordé à l'extrémité inférieure d'un tube de pression correspondant 18 (voir les figures 2 et 4) qui s'élève à travers un tube de calandre correspondant dans le quadrant D du coeur de réacteur 11. Ainsi, tous les tubes de pression 18 du quadrant D sont normalement alimentés en eau légère, sous pression, par les pompes de circulation 13D. En s'élevant dans les tubes de pression 18, l'eau est chauffée par le combustible nucléaire disposé dans les tubes de pression et elle est partiellement convertie en vapeur. Au-dessus de la calandre,

chaque tube de pression 18 du quadrant D est relié à un tube de montée correspondant 19D et à travers lui à l'un de plusieurs tubes collecteurs supérieurs 20D qui débouchent dans un réservoir de vapeur 21D qui reçoit ainsi l'eau et la vapeur provenant des tubes de pression du quadrant D. Le réservoir de vapeur 21D, 5 disposé au-dessus du collecteur inférieur 14D, n'est pas représenté sur la figure 1 qui montre cependant les réservoirs de vapeur correspondants 21A et 21B des circuits de refroidissement 12A et 12B respectivement ainsi que les tubes ascendants 19A et 19B et 10 les tubes collecteurs supérieurs 20A et 20B. Dans le réservoir de vapeur 21D, la vapeur et l'eau se séparent ; la vapeur est évacuée par une sortie de vapeur 22D pour entraîner une turbine à vapeur d'une turbogénératrice de l'installation du réacteur et l'eau est disponible pour sa remise en circulation à travers des tubes de 15 descente 23D aboutissant aux côtés d'entrée des pompes 13D. Le niveau de l'eau dans le réservoir de vapeur 21D (et dans les collecteurs de vapeur correspondants 21A, 21B et 21C des circuits d'eau de refroidissement 12A, 12B et 12C) est maintenu pratiquement constant, l'eau d'appoint destinée à remplacer la vapeur fournie 20 aux turbines étant alimentée à partir d'une source extérieure par des pompes d'alimentation en eau 24, à travers des conduites d'amenée de l'eau d'alimentation 25 qui comprennent des vannes de régulation 25' sous la commande de moyens qui captent le niveau d'eau dans le collecteur de vapeur correspondant.

25 On décrira maintenant les ensembles collecteurs inférieurs tels que 14D, représenté schématiquement sur la figure 3 du dessin annexé. La figure 3 montre en fait les deux ensembles collecteurs inférieurs 14C et 14D et elle les montre associés de telle façon que les circuits de refroidissement 12C et 12D constituent en fait 30 un seul circuit de refroidissement composite ayant un seul ensemble collecteur dont les circuits 14C et 14D sont deux fractions égales. Comme représenté, quatre arrivées d'eau 26C raccordées aux sorties des pompes correspondantes 13C débouchent chacune au milieu d'un tube collecteur vertical associé 27C qui communique 35 par des branchements 28C avec chacun des tubes sous-collecteurs horizontaux 29C. Ainsi chaque tube sous-collecteur 29C de l'ensemble collecteur 14C est alimenté à partir de chacune des pompes 13C par des tubes de branchement correspondants 28C qui sont uniformément écartés sur sa longueur. L'ensemble collecteur 40 inférieur 14D est composé de façon semblable d'arrivées d'eau 26D

raccordées aux sorties des pompes 13D, de tubes collecteurs 27D avec des branchements 28D et de tubes sous-collecteurs 29D. Dans la forme d'exécution représentée, dans laquelle les fractions 14C et 14D constituent ensemble un seul groupe collecteur, chaque tube sous-collecteur 29D est raccordé par une extrémité à une extrémité adjacente du tube sous-collecteur correspondant 29C et les extrémités opposées des tubes sous-collecteurs 29C et 29D sont reliées ensemble par des tubes d'extrémités verticaux 30C et 30D respectivement. On comprendra que, si les fractions 14C et 14D constituaient chacune séparément un ensemble collecteur selon l'invention, les tubes sous-collecteurs 29C ne seraient pas raccordés aux tubes 29D mais les uns aux autres (par un autre tube vertical, non représenté, prévu à cette fin) et les tubes 29D seraient reliés de façon semblable les uns aux autres et non aux tubes 29C. On comprendra également cependant que deux ensembles collecteurs inférieurs ainsi séparés et distincts pourraient, si on le désirait, être aussi reliés ensemble par des tuyauteries supplémentaires.

Comme représenté pour le tube sous-collecteur 29D le plus élevé, chacun des tubes sous-collecteurs 29C et 29D présente un nombre important de sorties d'eau qui sont raccordées aux tubes individuels d'alimentation 15C et 15D respectivement dont le nombre, entre deux tubes de branchement adjacents 28C ou 28D, peut être par exemple de huit. On voit que la disposition des divers tubes est régulière et que, si les huit pompes 13C etc .. et 13D etc .. alimentent en eau à des débits égaux et si tous les tubes individuels d'alimentation 15C et 15D reçoivent le même débit d'eau, chaque tube de branchement 28C ou 28D sera parcouru par le même débit et alimentera les quatre tubes individuels d'alimentation situés de part et d'autre de ce branchement. Il n'y aura pas d'écoulement provenant d'un quelconque des tubes 29C vers le tube 29D auquel il est raccordé ou inversement, ni d'écoulement dans les tubes d'extrémités 30C et 30D. De préférence, les calibres des divers tubes sont choisis pour convenir à cette situation d'écoulement permanent, excepté que les tubes 30C et 30D ont le même calibre que les tubes 29C et 29D. Ainsi, chaque tube sous-collecteur 29D a un calibre approprié pour un débit quatre fois plus grand que dans chaque tube d'alimentation individuel 15D et chaque tube de branchement 28D a un calibre approprié pour un écoulement double de celui de chaque tube sous-collecteur 29D et ainsi de suite.

La construction des circuits de refroidissement et des ensembles collecteurs inférieurs incorporés qu'on a décrite ci-dessus est bien adaptée pour minimiser les effets indésirables de divers types de défaillance des circuits. Ainsi, si l'une des pompes 13C devenait défaillante ou si elle ou sa sortie 26C présentait une rupture de façon que l'eau s'échappe du circuit, les tubes d'alimentation 15C normalement alimentés par cette pompe continueraient à recevoir de l'eau des pompes adjacentes du même circuit et/ou (à travers les tubes d'interconnexion) des pompes du circuit 12D. De façon analogue, une rupture et une perte résultante d'eau en un point quelconque des tubes collecteurs 27C, des tubes de branchement 28C ou des tubes sous-collecteurs 29C seraient largement compensées par une répartition d'écoulement modifiée dans le reste du circuit. Même dans le cas d'une défaillance d'un des deux réservoirs de vapeur 21C et 21D qui priverait les pompes 13C ou 13D respectivement de leur alimentation en eau, le reste des pompes 13D ou 13C, respectivement, alimenterait en eau, au moins à un débit réduit, tous les tubes d'alimentation individuels 15C et 15D. De préférence, pour minimiser la perte d'eau pompée et par suite l'augmentation de la charge des pompes actives restantes, après une rupture d'un réservoir de vapeur ou d'une pompe, chaque sortie de pompe telle que 26C ou 26D comprend (bien qu'on ne l'ait pas représenté au dessin) un clapet de non-retour et/ou une "diode à fluide" de type connu qui présente des résistances à l'écoulement à travers elle de valeurs notablement différentes dans les sens direct et inverse.

En référence encore à la figure 2, chaque circuit de refroidissement alimenté par une pompe principale d'alimentation en eau correspondante 24 qui est entraînée avantageusement électriquement par une alimentation électrique générale, est muni de préférence d'une pompe auxiliaire d'alimentation en eau 26 entraînée, quand elle est en action, par une turbine à vapeur 27 qui est actionnée par la vapeur fournie par le réservoir de vapeur du circuit de refroidissement en question. Ainsi, comme représenté, la turbine 27 pour le circuit de refroidissement qui comprend le réservoir de vapeur 21D est alimentée, quand elle est en action, par de la vapeur provenant de ce réservoir de vapeur et peut remplir la charge de la pompe 24 dans le cas d'une défaillance de l'alimentation générale en électricité. En variante, cette turbine 27 peut être entraînée par de la vapeur provenant du réservoir de vapeur

21C, la vapeur provenant du réservoir de vapeur 21D étant disponible pour la turbine correspondante du circuit de refroidissement 12C ou, comme autre variante, la vapeur provenant de ces deux réservoirs de vapeur peut être rendue disponible indépendamment pour ces deux turbines 27. Comme garantie supplémentaire, chaque circuit d'eau de refroidissement est muni d'une alimentation en eau garantie au moyen d'une pompe respective 28 prélevant de l'eau d'un réservoir 29.

Dans l'éventualité d'une défaillance importante du réacteur, le réacteur serait évidemment arrêté aussi rapidement que possible, mais il y aurait encore besoin de maintenir un écoulement d'eau de refroidissement à travers le coeur du réacteur. Une telle défaillance pourrait bien entraîner des ruptures dans les circuits d'eau de refroidissement et par suite une fuite d'eau de refroidissement à partir de ces circuits et l'eau ainsi perdue serait recueillie dans une cuve 30 à l'intérieur de l'enceinte de confinement 10. Pour permettre à cette eau "perdue" d'être réutilisée, on a prévu des pompes supplémentaires 31 branchées pour pomper l'eau de la cuve 30 en la renvoyant dans chacun des quatre circuits de refroidissement. Comme ces pompes 31 et le débit d'eau qui les traverse peuvent constituer une partie intégrante et essentielle du plan de circulation de l'eau à long terme sur lequel on doit compter pour assurer un refroidissement continu du coeur de réacteur arrêté après une défaillance importante du réacteur, à chaque pompe 31 est associé un refroidisseur d'eau 32 pour dissiper efficacement le dégagement de puissance thermique résiduelle du coeur de réacteur dans ces conditions.

Comme on l'a déjà expliqué, la structure des ensembles collecteurs inférieurs tels que 14D et le fait de leur association par paires (telles que 14C et 14D) assurent virtuellement qu'une alimentation adéquate en eau de refroidissement sera maintenue pour toutes les parties de la moitié du coeur de réacteur alimentée par une telle paire, même dans le cas d'une défaillance importante, telle qu'une rupture dans l'un des deux réservoirs de vapeur associés à cette paire. Il reste une possibilité, bien qu'elle soit extrêmement peu probable, que les deux réservoirs de vapeur d'une paire de circuits de refroidissement associés (par exemple à la fois les deux réservoirs de vapeur 21A et 21B) puissent subir simultanément une rupture importante et que toutes les pompes 13A et 13B prélevant de l'eau de ces réservoirs puissent être

privées de leur alimentation en eau. Dans une telle éventualité, la moitié du coeur du réacteur serait privée d'eau de refroidissement si une disposition n'était pas prise pour répondre à cette éventualité exceptionnelle, comme on le décrira ci-après.

5 La figure 4 montre avec quelque détail l'un des tubes de pression 18 avec l'ensemble d'éléments de combustible disposé dans ce tube et le tube de calandre du coeur à travers lequel s'étend ce tube de pression. La calandre comprend une plaque de base 33, une paroi enveloppante (non représentée) et un grand nombre de  
10 tubes de calandre 34 (dont un seul a été représenté), chacun de ces tubes étant ouvert à ses extrémités inférieure et supérieure et obturant à son extrémité inférieure une ouverture dans la plaque de base 33. La calandre est remplie jusqu'à un niveau 35 d'eau lourde qui entoure ainsi les tubes de calandre dont les  
15 extrémités supérieures sont au-dessus du niveau 35 et chaque tube de calandre contient l'un des tubes de pression 18 dont il a déjà été question. A l'intérieur de chaque tube de pression 18 se trouve un ensemble de combustible correspondant, comprenant des crayons de combustible 36 écartés par des grilles d'espacement 37 et suspendus  
20 par une barre de support 38 à un bouchon d'obturation 39 introduit dans l'extrémité supérieure d'un puits d'accès 40 qui est rendu étanche à la pression du tube 18 et en constitue un prolongement vers le haut. L'ensemble de combustible et le bouchon d'obturation peuvent être enlevés du tube de pression 18 et du puits d'accès 40  
25 par leur extraction vers le haut. L'extrémité inférieure de la barre de support 38 est formée comme une pointe de centrage qui, quand elle est complètement abaissée, pénètre dans un moyen de positionnement 41 fixé dans le tube de pression 18 près du niveau de la plaque de base 33 de la calandre. L'eau légère de refroidissement s'écoule vers le haut à travers le tube de pression 18 (et  
30 à travers des ouvertures du moyen de positionnement 41) et est convertie partiellement en vapeur en s'élevant en contact avec les crayons de combustible 36. Le mélange de vapeur et d'eau résultant s'écoule latéralement en sortant du puits d'accès 40 à travers  
35 l'un des tubes de montée 19D (si on suppose que le tube de pression 18 est l'un de ceux logés dans le quadrant D du coeur et alimenté en eau de refroidissement par l'un des tubes d'alimentation 15D) et de là à travers l'un des tubes collecteurs supérieurs 20D pour aboutir au réservoir de vapeur 21D. Au-dessus du niveau  
40 auquel le tube de montée 19D sort latéralement du puits d'accès

40, la barre de support 38 est équipée d'un piston d'étanchéité 42 qui isole une chambre 43 dans le puits d'accès 40, immédiatement au-dessous du bouchon d'obturation 39 ; un tube 44, dont le rôle sera exposé dans la suite de la description, débouche latéralement dans la chambre 43.

Comme on l'a décrit ci-dessus, il n'y a qu'un risque très faible pour qu'une défaillance dans l'un quelconque des circuits de refroidissement (dans la mesure où on l'a décrit précédemment) aboutisse à ce que l'un ou deux des quadrants du coeur soient privés d'eau de refroidissement ou même qu'une telle défaillance puisse aboutir à un établissement rapide d'un effet de stagnation même dans un seul des tubes de pression ou dans un petit nombre de ces tubes de pression 18. C'est néanmoins un risque dont il y a lieu de tenir compte et à cette fin, selon l'invention, les circuits de refroidissement qui alimentent en eau de refroidissement les tubes de pression 18 d'une moitié du coeur de réacteur sont établis pour garantir une alimentation en eau de refroidissement relativement faible mais continue aux tubes de pression de l'autre moitié du coeur du réacteur. A cet effet, une pompe à haute pression 45D fonctionnant de façon continue est branchée pour prélever de l'eau du réservoir de vapeur 21D et l'envoyer à travers un ou plusieurs tubes d'alimentation 46D à tous les tubes de pression 18 qui sont disposés dans l'un des quadrants de coeur A et B (les tubes de pression 18 de l'autre de ces deux quadrants étant alimentés de façon analogue à partir du réservoir de vapeur 21C) et de façon semblable chacun des réservoirs de vapeur 21A et 21B assure, par une pompe associée correspondant à la pompe 45D, une alimentation en eau de refroidissement pour chacun des tubes de pression 18 dans l'un des quadrants C et D du coeur. Ainsi le tube de pression 18 de la figure 4 (qu'on suppose être dans le quadrant D du coeur) reçoit une alimentation en eau de refroidissement de l'un des réservoirs de vapeur 21A et 21B. L'eau ainsi fournie est envoyée à travers le tube 44 dans la chambre 43 du tube de pression 18. La barre de support 38 est formée comme un tube avec des orifices 47 à travers lesquels son intérieur est en communication avec la chambre 43 ; et il présente aussi des orifices de pulvérisation 48 répartis le long de la partie de sa longueur qui est entourée par les crayons de combustible 36.

La pompe 45D et les autres pompes correspondantes fonctionnent de façon continue et ainsi chaque tube de pression 18 d'un

quadrant quelconque du coeur de réacteur reçoit non seulement son alimentation principale en eau légère de refroidissement à son extrémité inférieure mais aussi une alimentation supplémentaire dérivée du circuit de refroidissement qui fournit l'alimentation principale pour les tubes 18 d'un autre quadrant, à travers sa barre de support respective 38 et les orifices de pulvérisation 48 de cette barre. Dans le fonctionnement normal du réacteur, la proportion d'eau de refroidissement fournie à chaque tube de pression 18 à travers la barre de support 38 peut être de l'ordre de 4 % à 6 %, ou plus si on le désire, de l'alimentation totale en eau de refroidissement pour ce tube de pression. Dans l'éventualité d'une défaillance totale de l'alimentation principale en eau de refroidissement pour un tube de pression particulier ou d'une défaillance partielle telle que tout le fluide fourni vienne à l'ébullition avant d'atteindre la partie supérieure de l'ensemble de combustible, l'alimentation supplémentaire à travers la barre de support 38 est suffisante pour assurer que de l'eau en phase liquide est amenée à l'ensemble de combustible sur toute sa longueur de sorte qu'une surchauffe importante rapide d'une partie quelconque de l'ensemble de combustible est empêchée. On comprendra que cette disposition d'une alimentation en eau de refroidissement par pulvérisation est surabondante pendant le fonctionnement normal du réacteur mais que le fait qu'elle est continuellement en action signifie qu'en cas d'une défaillance du réacteur l'alimentation en fluide de refroidissement par pulvérisation qui pourrait alors être vitale est déjà en action et n'a pas à être amorcée (au moyen de vannes et d'autres dispositifs de commande qui, comme ils seraient appelés en action très rarement, pourraient manquer de fiabilité au moment précis où leur propre action serait essentielle). En d'autres termes, la disposition d'une alimentation en eau de refroidissement par pulvérisation en fonctionnement continu est à préférer de beaucoup du point de vue de la fiabilité ; le fait que le raccordement des circuits de refroidissement est croisé de façon que chacun assure cette alimentation pour un autre simplifie beaucoup la commande du débit total d'eau pour les circuits de refroidissement lors de réglages variables de la sortie de puissance pour le réacteur. En particulier, l'alimentation en eau de refroidissement par pulvérisation pour chaque circuit peut être maintenue à tout niveau désiré, même quand le réacteur fonctionne sous charge très faible sans qu'on ait à craindre que cela conduise à un noyage du

réacteur résultant d'un débit total de l'alimentation en eau de refroidissement dépassant le débit auquel l'eau de refroidissement est convertie en vapeur.

5 On observera que chacun des circuits de refroidissement comprend une partie, dans le coeur de réacteur et au voisinage, où ses composants sont essentiellement de section relativement faible et une autre partie, comprenant le réservoir de vapeur et les pompes de circulation, dans laquelle les sections des éléments sont  
10 essentiellement beaucoup plus grandes. Comme on peut le voir d'après la figure 1, les composants de section essentiellement grande sont isolés, à l'intérieur de l'enceinte 10, par des barrières protectrices telles que les barrières 50C et 50D qui renferment les pompes de circulation des circuits 12C et 12D respectivement et par les barrières 51A et 51B qui renferment les  
15 réservoirs de vapeur 21A et 21B respectivement. De préférence, à l'intérieur de chaque circuit, le réservoir de vapeur est isolé de façon analogue des pompes de circulation, bien que cela ne soit pas représenté sur la figure 1. Ces barrières protectrices sont destinées à empêcher la propagation d'un endommagement d'un  
20 circuit de refroidissement à un autre ou de l'une des parties d'un seul circuit de refroidissement à une autre, dans l'éventualité d'une rupture intervenant dans une partie d'un circuit de refroidissement où les sections sont grandes et où les forces destructrices qui pourraient être engendrées sont potentiellement  
25 grandes. Dans les parties des circuits où les sections et par suite la gravité possible d'une seule rupture sont essentiellement moindres, notamment dans les collecteurs inférieurs et les tubes individuels d'alimentation 15, la potentialité d'une propagation de rupture est minimisée de préférence par la disposition de tubes  
30 individuels avec des arrête-fissures d'une manière connue et par la disposition de supports et d'ancrages appropriés pour ces tubes afin d'empêcher qu'ils soient projetés et endommagent les tubes voisins.

L'interconnexion de chaque circuit de refroidissement avec  
35 un autre, de l'ensemble collecteur inférieur de l'un des circuits à l'ensemble collecteur inférieur de l'autre, est telle que, si l'un des deux circuits interconnectés est rompu, un écoulement normal d'eau de refroidissement (bien que d'un débit peut-être quelque peu réduit) est maintenu dans l'autre, tandis que dans le  
40 circuit rompu un écoulement d'eau de refroidissement à travers

les tubes de pression continuera dans le sens normal dans tous les tubes de pression à l'exception peut-être de ceux des tubes de pression dont les tubes d'alimentation 15 sont alimentés à partir d'un point de l'ensemble collecteur inférieur immédiatement adjacent à une rupture intervenue dans cet ensemble ; dans la plupart de ces tubes de pression, il y aura un écoulement inverse ou vers le bas de l'eau de refroidissement de sorte qu'une stagnation réelle ne peut se présenter que dans un très petit nombre de tubes de pression. De plus, la disposition des circuits limite le taux de décompression qui peut se présenter dans le circuit à la suite d'une rupture, même très importante, intervenant dans ce circuit et cette perte relativement lente de pression signifie que, dans ces tubes de pression très peu nombreux dans lesquels la stagnation peut se présenter, il y a une chute minimale des taux de transfert de chaleur applicables au refroidissement par pulvérisation prévu dans ces canaux.

En outre, comme la stagnation dans un tube de pression est une conséquence de l'égalité des pressions aux extrémités d'entrée et de sortie du tube, une variation de la pression à l'une quelconque des extrémités d'un tube en stagnation, telle que celle induite lors de l'arrêt des pompes de circulation du circuit contenant le tube, ou lorsque deux circuits interconnectés se dépressurisent à des vitesses différentes, empêche le maintien d'une stagnation stable car la variation de pression induit un écoulement en sens direct ou (dans le cas de l'arrêt de pompe) en sens inverse de l'eau de refroidissement à travers le tube de pression pour refroidir le combustible.

R E V E N D I C A T I O N S.

1. Ensemble collecteur d'amenée d'eau de refroidissement pour réacteur nucléaire, comprenant :

5 - une pluralité de tubes sous-collecteurs s'étendant de façon générale parallèlement les uns aux autres, chacun ayant une première extrémité et une seconde écartées sur leur longueur, une pluralité de sorties d'eau pour un raccordement de chacun avec un tube de pression correspondant du réacteur, un premier tube d'extrémité et un second reliant ensemble les tubes sous-collecteurs respectivement à leurs premières extrémités et à leurs secondes extrémités, et

15 - une pluralité de tubes collecteurs s'étendant transversalement en croisant les tubes sous-collecteurs et écartés l'un de l'autre dans la direction de ces tubes, chaque tube collecteur ayant une entrée d'eau pour un raccordement avec une pompe à eau et une pluralité de tubes de branchement écartés sur sa longueur et le reliant chacun à un tube sous-collecteur correspondant.

20 2. Ensemble collecteur selon la revendication 1, dans lequel les tubes de branchement provenant des tubes collecteurs et aboutissant à chacun des tubes sous-collecteurs sont écartés régulièrement sur la longueur de ce tube sous-collecteur qui présente, entre deux tubes de branchement consécutifs, des sorties d'eau en nombres égaux au moins approximativement.

25 3. Circuit de refroidissement pour réacteur nucléaire, comprenant :

- un ensemble collecteur d'alimentation en eau de refroidissement selon la revendication 1 ou la revendication 2 ;  
 - un réservoir de vapeur ayant une sortie de vapeur ;  
 30 - une pluralité de pompes à eau reliées chacune pour prélever de l'eau du réservoir de vapeur et pour l'envoyer à l'entrée d'eau d'un tube collecteur correspondant de l'ensemble ; et

35 - une pluralité de tubes de pression ayant chacun une extrémité inférieure raccordée à une sortie d'eau correspondante des sous-collecteurs de l'ensemble et une extrémité supérieure raccordée au réservoir de vapeur.

4. Circuit de refroidissement selon la revendication 3, ayant quatre des dites pompes à eau branchées pour prélever de l'eau du dit réservoir de vapeur et raccordées chacune pour alimenter en eau l'un de quatre tubes collecteurs du dit ensemble collecteur.

40 5. Circuit de refroidissement pour réacteur nucléaire selon

la revendication 3, dans lequel le réservoir de vapeur est l'un des deux réservoirs de vapeur ayant chacun une sortie de vapeur et raccordés chacun pour fournir de l'eau à une fraction correspondante de l'ensemble collecteur par l'intermédiaire d'une pluralité correspondante de pompes à eau branchées chacune entre l'un des réservoirs de vapeur et un des tubes collecteurs de l'ensemble, ceux des tubes de pression qui ont leurs extrémités inférieures raccordées à des sorties d'eau d'une fraction particulière de l'ensemble collecteur ayant leurs extrémités supérieures raccordées au réservoir de vapeur associé qui fournit l'eau à cette fraction particulière.

6. Réacteur nucléaire comprenant un coeur de réacteur et un circuit d'eau de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, les tubes de pression s'élevant à travers le coeur.

7. Réacteur nucléaire comprenant un coeur de réacteur et une pluralité de circuits d'eau de refroidissement selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, les tubes de pression de chacun des circuits s'élevant à travers le coeur.

8. Réacteur nucléaire selon la revendication 7, dans lequel les ensembles collecteurs des circuits d'eau de refroidissement respectifs sont disposés en périphérie autour du coeur du réacteur et chacun des ensembles collecteurs est raccordé à un autre qui lui est adjacent dans la direction périphérique.

9. Réacteur nucléaire selon la revendication 7, dans lequel chacun des circuits d'eau de refroidissement est raccordé pour fournir un débit d'eau de refroidissement complémentaire directement à partir de son réservoir de vapeur aux tubes de pression d'un autre des circuits d'eau de refroidissement sous la forme d'un refroidissement par pulvérisation et pour recevoir comme refroidissement par pulvérisation dans ses propres tubes de pression un écoulement auxiliaire correspondant provenant d'un autre des circuits d'eau de refroidissement.

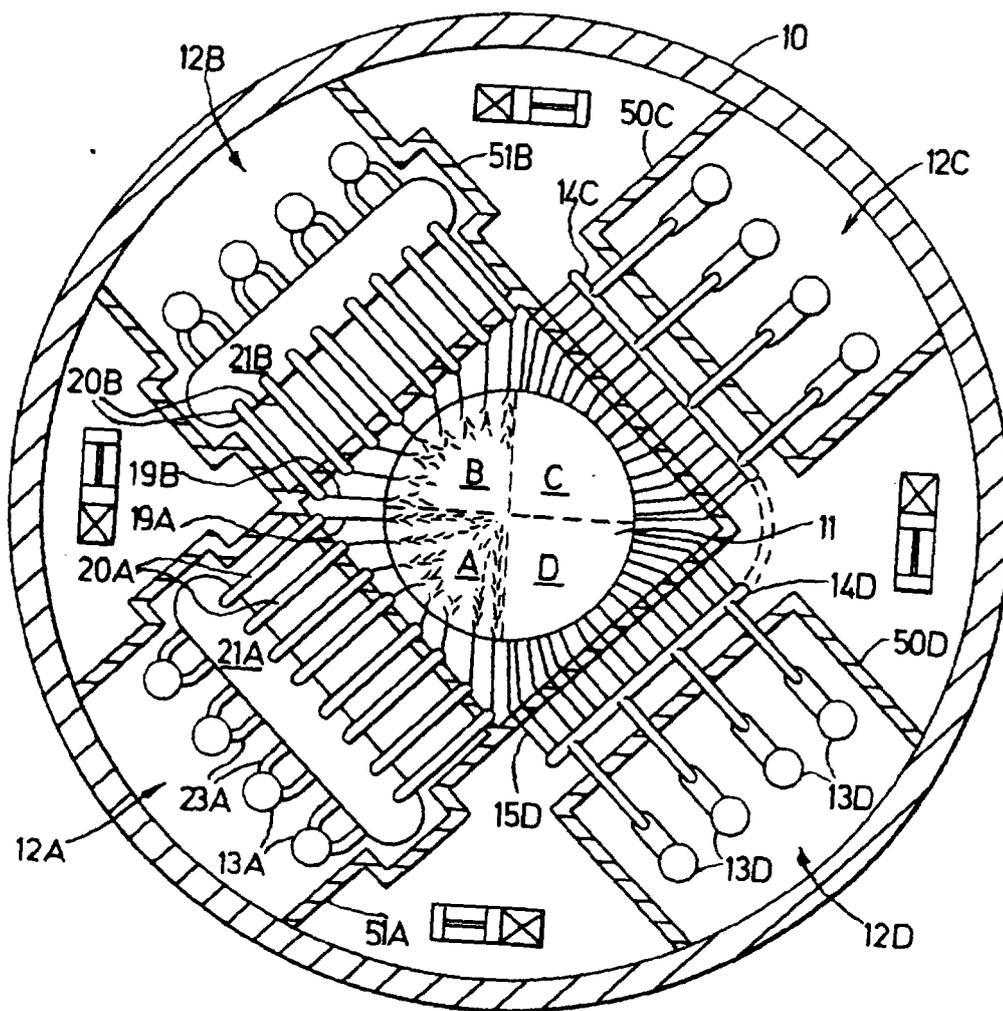


FIG. 1

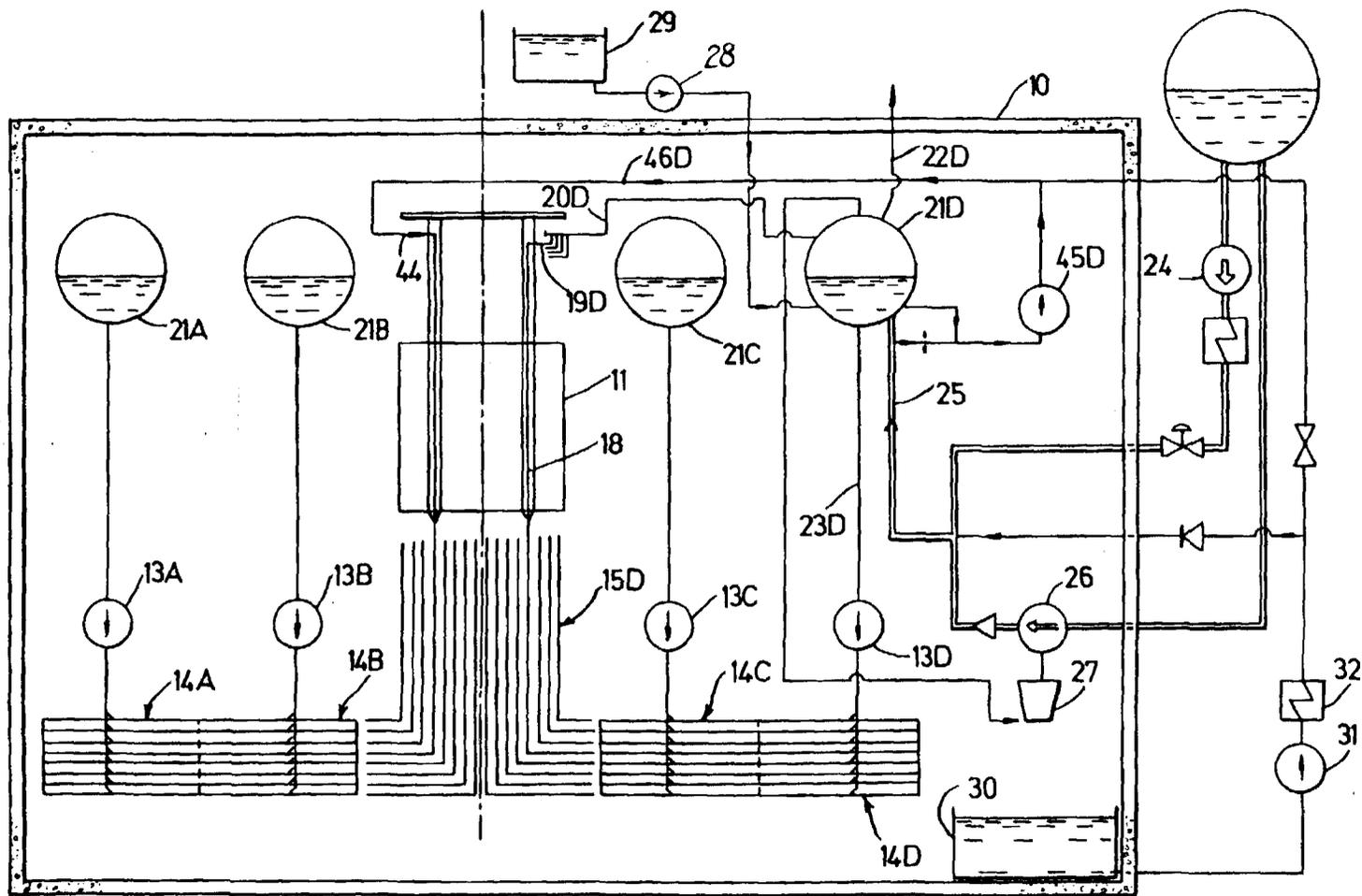


FIG. 2

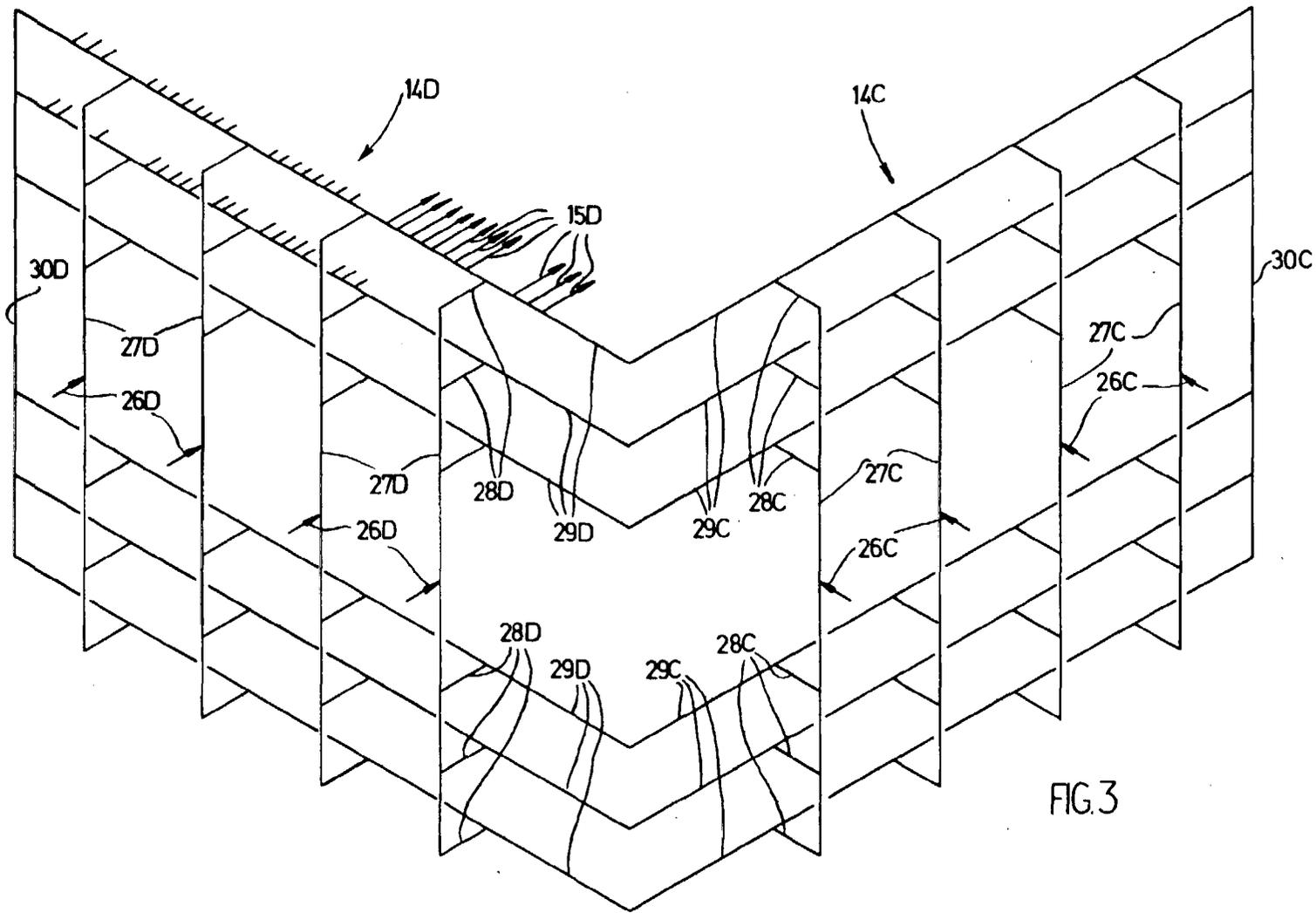


FIG. 3

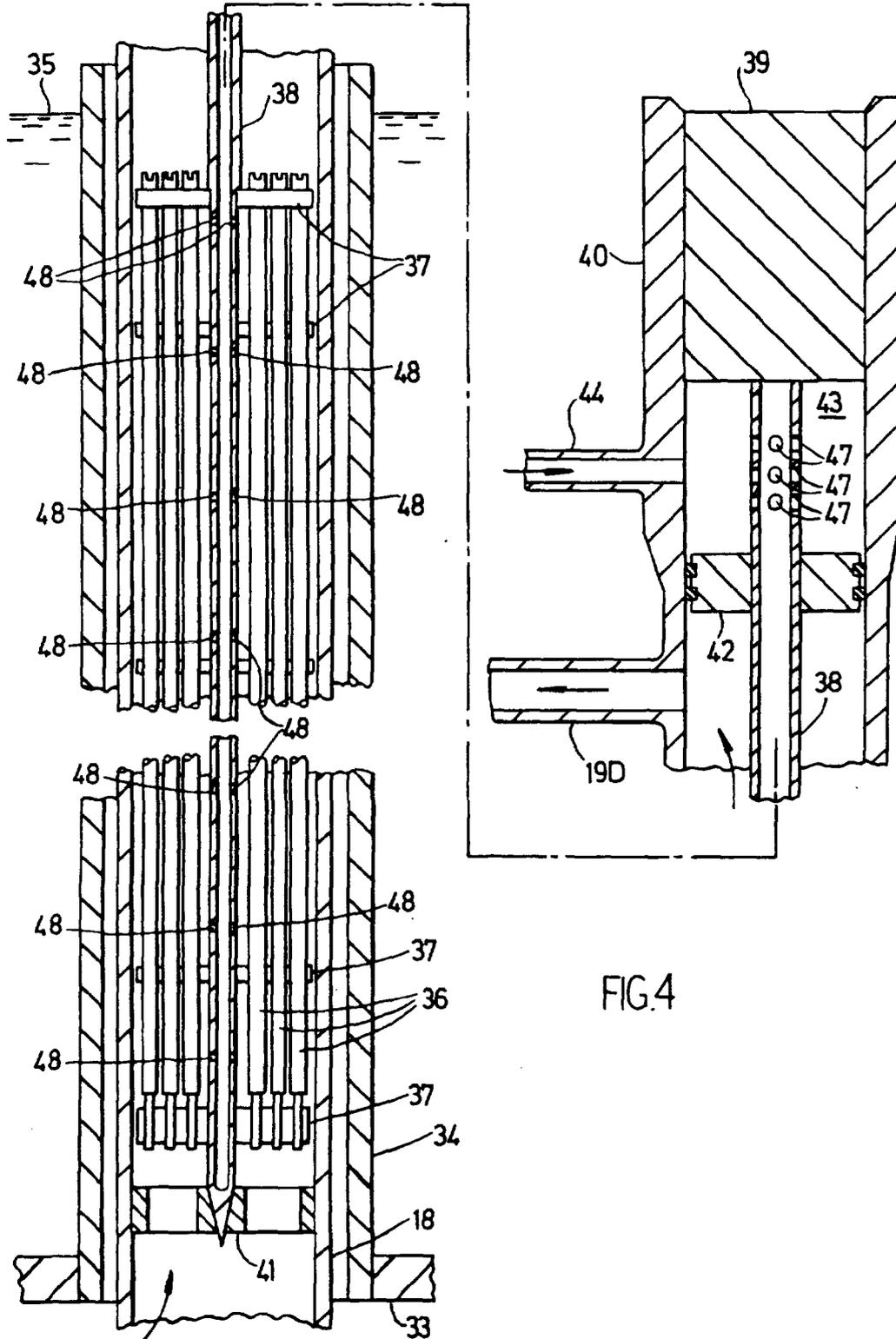


FIG.4