

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 06.11.91.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : 07.05.93 Bulletin 93/18.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE Etablissement de Caractère Scientifique, Technique et Industriel — FR.

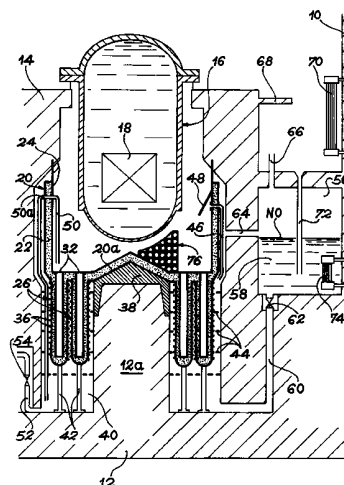
72 Inventeur(s) : Szabo Imré, Balard François, Bergamaschi Yves, Fiorini Gian Luigi, Geffroy Jean et Seiler Jean-Marie.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire : Brevatome.

54 Réacteur nucléaire équipé d'un dispositif de récupération du cœur, après sa fusion accidentelle.

57 Afin d'assurer la récupération et le confinement du cœur d'un réacteur nucléaire tel qu'un réacteur à eau sous pression, en cas d'accident grave entraînant sa fusion, il est proposé de placer, en dessous de la cuve (16) du réacteur, un réceptacle (20) apte à évacuer l'eau accumulée en dessous de la cuve (16) dans la phase initiale de l'accident et, dans un second temps, à collecter les débris du cœur fondu. L'eau s'écoule automatiquement par des dispositifs à trop-pleins et à siphons (46, 50) dans un espace de refroidissement (40) situé en dessous du réceptacle. Si la fusion du cœur (18) est détectée, l'eau contenue dans des réservoirs (56) s'écoule par gravité dans l'espace (40), de façon à noyer totalement des conteneurs (26) placés dans cet espace. Le cœur fondu traversant le fond de la cuve (16) s'écoule dans le réceptacle 20 puis dans les conteneurs (26) par des bouchons fusibles (32) et une circulation en convection naturelle s'établit entre les réservoirs (56) et l'espace (40), pour assurer le refroidissement. Des amortisseurs de chute (76) sont placés dans le réceptacle (20), pour le cas où le fond de la cuve (16) tomberait d'un bloc.



REACTEUR NUCLEAIRE EQUIPÉ D'UN DISPOSITIF DE
RECUPERATION DU COEUR, APRES SA FUSION ACCIDENTELLE.

DESCRIPTION

L'invention concerne un réacteur nucléaire
5 à eau légère, tel qu'un réacteur nucléaire à eau sous
pression, équipé d'un dispositif destiné à collecter
les débris, solides ou liquides, provenant du coeur du
réacteur, et à les confiner dans un endroit prévu à cet
effet, pour les empêcher de pénétrer dans le sol.

10 Un tel dispositif est généralement désigné
dans la technique par les termes de "récupérateur de
corium" ou de "cendrier", ou encore par les termes de
"core catcher" dans la terminologie anglo-saxonne.

Pour la bonne compréhension de l'invention,
15 on prend à titre d'exemple le cas d'un réacteur à eau
sous pression. On rappelle que, dans une telle instal-
lation nucléaire, le cœur du réacteur est généralement
placé dans une cuve faisant partie d'un circuit primaire
où circule de l'eau sous pression, mise en mouvement
20 au moyen de pompes. L'eau en convection forcée sert à
la fois à extraire l'énergie produite par les fissions
nucléaires dans le cœur et à refroidir les éléments
combustibles qui y sont contenus. L'énergie, transportée
par l'eau et transférée au secondaire de générateurs
25 de vapeur, y produit de la vapeur qui est ensuite en-
voyée dans une turbine couplée à un alternateur, pour
produire de l'électricité. Le réglage et la régulation
de la pression du fluide dans le circuit primaire sont
faits au moyen d'un pressuriseur muni d'un ou de plu-
30 sieurs ensembles de vannes de décharge qui peuvent être
ouvertes ou fermées de manière automatique ou manuelle
pour abaisser, le cas échéant, la pression primaire en
conformité avec les procédures réglementaires destinées
à maîtriser certains accidents bien identifiés.

35 L'ensemble du circuit primaire est enfermé

dans une enceinte, dite de confinement, dont la base, appelée "radier", est en béton. Les gros composants tels que les pompes et les générateurs de vapeur sont répartis dans différents compartiments de l'enceinte, appelés casemates. La cuve du réacteur est également logée dans un compartiment appelé "puits de cuve".

On rappelle également que, malgré la très faible probabilité de son occurrence, un accident grave, c'est-à-dire conduisant à la fusion du cœur, ne peut être totalement exclu.

Un tel accident est imaginable si tous les circuits refroidissant le cœur, y compris ceux prévus en secours, tombaient simultanément en panne pendant une longue période. Dans ce cas hautement improbable, le cœur du réacteur fondrait en quelques heures. La fusion se produirait tout d'abord aux points les plus chauds du cœur. Elle se propagerait ensuite, la direction privilégiée de sa progression étant celle de la force de gravité.

La masse en fusion augmente avec le temps tant qu'il n'existe aucun moyen d'évacuer totalement la puissance résiduelle du cœur. Elle contient généralement le combustible, les matériaux constituant son gainage, ceux des barres de contrôle du réacteur et des structures internes à la cuve. Le cheminement de cette masse en fusion, appelée communément "corium", à l'intérieur de la cuve dépend de nombreux paramètres et de phénomènes dont certains sont très énergétiques tels que l'oxydation du zirconium (Zr) des gaines, voire très violents tels que l'interaction du corium fondu avec de l'eau, interaction qui peut donner lieu à des explosions dites "explosions vapeur". On considère cependant que la probabilité de cette dernière éventualité est faible.

Généralement, la masse en fusion atteindrait le fond de la cuve. L'effet de barrière de ce dernier

par rapport au corium fondu est très faible surtout s'il tombe en jets continus. Le fond de cuve, qui n'est généralement pas refroidi, serait alors vite percé et, suivant la valeur de la pression existant dans la cuve à ce moment là, le corium serait éjecté avec plus ou moins de violence dans le puits de cuve situé dans l'enceinte de confinement.

L'existence d'une haute pression dans la cuve au moment de sa rupture pourrait entraîner une pulvérisation du corium fondu en de très fines particules qui peuvent transférer très rapidement et avec une grande efficacité, une part importante de leur énergie à l'atmosphère de l'enceinte. L'échauffement "direct" de cette atmosphère augmenterait la pression dans l'enceinte et pourrait provoquer sa rupture. Afin d'éviter ce phénomène violent, il est prévu d'utiliser un "système de dépressurisation automatique" de vannes de décharge pour abaisser de manière préventive la pression du circuit primaire à une valeur suffisamment basse pour que le risque de pulvérisation du corium soit négligeable. Ce système peut comporter, outre les vannes de décharge du pressuriseur, d'autres groupes de vannes connectés en des emplacements choisis du circuit primaire, de manière à garantir une capacité de décharge suffisante et une dynamique de dépressurisation sans risque pour le circuit primaire.

Après le percement du fond de la cuve du réacteur, la masse en fusion tomberait sur le radier en béton du puits de cuve. Sa composition et ses propriétés physiques dépendraient de son cheminement à l'intérieur de la cuve (matériaux dissous ou non dissous transportés dans la coulée de corium, température, état plus ou moins visqueux, etc.), c'est-à-dire du scénario d'accident.

Dans l'hypothèse très pessimiste d'une fusion

complète du cœur et de toutes les structures internes de la cuve situées à son voisinage immédiat, au bout d'environ deux heures après le début de l'accident, le corium se composerait, dans le cas d'un réacteur de 5 1300-1400 MWe de puissance nominale (puissance électrique), d'environ 75 tonnes d'acier, 120 tonnes d' UO_2 et 28 tonnes de Zr et la puissance résiduelle du réacteur qui resterait encore emmagasinée dans les oxydes combustibles serait d'environ 40 MWth (puissance thermique), 10 puissance qui décroîtrait en fonction du temps. Il est à noter également qu'une partie du zirconium serait oxydée pour donner de la zircone ZrO_2 et que la partie métallique restante présenterait un danger potentiel important (réaction d'oxydation très exothermique avec 15 production d'hydrogène). D'autres matériaux seraient également présents, mais en plus faible quantité : Argent-Indium-Cadmium (AIC) des barres d'absorbants, inconel (marque déposée) des grilles, etc.

La masse de plus de 200 tonnes de corium 20 s'écoulerait dans le fond du puits de cuve de différentes manières et à des vitesses variables selon la taille et l'emplacement de la brèche pratiquée dans la cuve par le corium en fusion. Si le fond de la cuve était percé par des jets de corium, ces jets continueraient 25 de descendre vers le fond du puits de cuve par la brèche initiale dont le diamètre grandirait au fur et à mesure que ses bords fondraient sous l'action du jet.

Dans certaines conditions cependant, le fond de la cuve du réacteur peut offrir une résistance suffisante pour pouvoir retenir temporairement la masse 30 de corium en fusion, qui pourrait éventuellement remplir totalement le volume de la calotte hémisphérique. La convection naturelle interne du bain de corium en fusion ainsi retenu au fond de la cuve pourrait donner lieu 35 à des points chauds en partie haute du bain et provoquer

un fluage "circonférentiel" aux alentours du niveau libre du bain. Cette calotte sphérique, remplie de corium, se détacherait alors d'un seul bloc de la cuve.

Comme il existe généralement une certaine
5 quantité d'eau dans le puits de cuve, la chute du corium en des jets qui peuvent se fragmenter au contact de cette eau, ou celle de la calotte toute entière remplie de corium fondu, pourrait provoquer des "explosions vapeur" plus ou moins violentes.

10 Finalement, la masse en fusion atteindrait le fond du puits de cuve où elle attaquerait le béton du radier et le décomposerait, produisant quantité d'aérosols, de gaz combustibles (H_2 , CO) ou incondensables (CO_2 ...) et libérant dans l'atmosphère des produits
15 radioactifs emprisonnés auparavant dans le corium fondu. Cette production d'aérosols et de gaz entraînerait une augmentation de la pression de l'enceinte de confinement. De plus, l'attaque du corium entraînerait également une dissolution des structures en béton, de sorte
20 que l'eau disponible en partie basse de l'enceinte pourrait entrer en contact direct ou indirect pour s'évaporer et faire monter davantage la pression de l'enceinte.

L'interaction du corium sur le béton du radier présenterait, au bout de quelques jours, des risques
25 très importants de rejet de produits radioactifs dans l'environnement. D'une part, la limite de rupture de l'enceinte de confinement pourrait être dépassée par la montée en pression induite par cette interaction. D'autre part, la surface du puits de cuve des réacteurs
30 actuels est relativement faible (30 m^2 environ) et l'épaisseur de corium trop importante pour que sa puissance puisse être évacuée par rayonnement en surface du corium et par conduction à travers le béton. Il faudrait une surface d'étalement de plus de 150 m^2 pour
35 atteindre une épaisseur inférieure à 20 cm qui rendrait

le corium refroidissable. Ainsi, malgré son épaisseur (de 4 m environ dans les réacteurs à eau sous pression actuels), le radier en béton serait inexorablement traversé et le corium irait jusque dans le sous-sol pour
5 contaminer notamment la nappe phréatique. Les conséquences d'une telle éventualité sont évidemment très graves.

Compte tenu des risques de rejet de substances radioactives dans l'environnement lors d'accidents graves avec fusion du cœur du réacteur, il est nécessaire
10 de concevoir des moyens pour limiter leurs conséquences, notamment un moyen de confiner et de refroidir le corium avant qu'il n'attaque le béton du radier et ne s'enfonce dans le sous-sol, en s'opposant ainsi à la contamination du sous-sol et au rejet des produits radioactifs dans
15 l'environnement par la voie ouverte par la traversée du radier.

Les différents dispositifs proposés jusqu'à maintenant ont été conçus d'après une connaissance de la phénoménologie des accidents graves plus ancienne
20 et par conséquent moins exhaustive que celle exposée ci-dessus, ce qui remet en cause leur efficacité dans certaines situations qui n'étaient pas prises en compte au moment de leur conception. On peut citer, par exemple, les possibilités d'expulsion du corium sous pres-
25 sion ou en des jets puissants, de chute brutale de la quasi-totalité de la masse du corium à la suite du détachement par fluage du fond hémisphérique de la cuve, d'explosions vapeur, bref de tous les phénomènes violents qui peuvent détruire les dispositifs récupérateurs
30 qui n'ont pas été dimensionnés pour résister à de telles charges.

Dans certains dispositifs récupérateurs, on considère que tout le corium se trouve naturellement dans le fond du puits de cuve sans qu'on ait besoin de
35 le collecter pour l'acheminer vers l'endroit où son

confinement et son refroidissement seront assurés.

D'autres dispositifs imposent au corium fondu de très longs trajets au travers d'ensembles de tubes dans lesquels sont placés des bouchons fusibles permettant un remplissage programmé des tubes. Cependant, la
5 "programmation" de ces fusibles reste aléatoire en raison des incertitudes sur les scénarios d'écoulement du corium et sur ses propriétés physiques.

D'autres dispositifs utilisent des matériaux
10 endothermiques consommables (ou couche sacrificielle) dans le but d'amortir les chocs thermiques, sans se soucier des conséquences éventuelles de l'interaction du corium avec cette couche sacrificielle.

Enfin, certains dispositifs utilisent de grandes surfaces planes pour étaler le corium et mieux le refroidir. L'homogénéité de l'étalement ainsi que celle du refroidissement, qui sont absolument nécessaires pour confiner le corium, ne semblent pas être garanties pour des surfaces aussi grandes.

L'invention a précisément pour objet un réacteur nucléaire équipé d'un dispositif de récupération du cœur dont la conception prend en compte tous les phénomènes violents qui risquent de se produire lors d'un accident grave entraînant la fusion du cœur du
20 réacteur, afin de limiter au mieux les conséquences d'un tel accident, et notamment de s'opposer à la contamination du sous-sol.

Dans la définition la plus large de l'invention, ce résultat est obtenu au moyen d'un réacteur
30 nucléaire comprenant une enceinte de confinement, un circuit primaire totalement enfermé dans ladite enceinte et contenant de l'eau sous pression, ce circuit primaire comportant une cuve dans laquelle est placé un cœur, et des moyens de récupération du cœur, en cas de fusion
35 de ce dernier, caractérisé par le fait que les moyens de récupération du cœur comprennent :

- un réceptacle entourant au moins une partie inférieure de la cuve ;

- des conteneurs placés en dessous du réceptacle et séparés de ce dernier par des bouchons fusibles ;

5 - un espace de refroidissement entourant les conteneurs ;

- des moyens de vidange passifs du réceptacle dans l'espace de refroidissement ;

10 - au moins un réservoir de stockage d'eau de refroidissement situé à un niveau supérieur à celui de l'espace de refroidissement ; et

- des moyens pour établir une circulation en convection naturelle entre le réservoir et l'espace de refroidissement.

15 Si un accident de perte de réfrigérant primaire se produit, les moyens de dépressurisation ramènent automatiquement le circuit primaire à basse pression et l'eau du circuit primaire se répand dans l'enceinte de confinement. Une partie de cette eau péné-
20 tre dans le réceptacle placé sous la cuve, le reste étant drainé dans des réservoirs placés en partie basse de l'enceinte.

La vidange automatique de ce réceptacle dans l'espace de refroidissement est alors assurée par les
25 moyens de vidange passifs, qui comprennent avantageusement au moins un trop plein et au moins un siphon.

Si le refroidissement du cœur peut alors être assuré par des moyens de sauvegarde classiques prévus à cet effet dans le réacteur, l'évolution de l'accident
30 est stoppée. Le réacteur peut ensuite être remis en état, ce qui suppose notamment la vidange de l'espace de refroidissement par au moins un tuyau de vidange, équipé d'un moyen d'isolement normalement fermé, qui débouche avantageusement dans le fond de cet espace.

35 Si, au contraire, le refroidissement du cœur

ne peut pas être assuré par les moyens de sauvegarde, parce que ceux-ci sont indisponibles ou insuffisants, le cœur commencera à fondre. Cette fusion, détectée par des moyens appropriés, a pour conséquence la mise en
5 communication du ou des réservoirs avec l'espace de refroidissement, qui se remplit d'eau et noie complètement les conteneurs.

Lorsque le percement de la cuve intervient sous l'effet du corium, ce dernier peut tomber dans le
10 réceptacle alors pratiquement vide d'eau, et il pénètre dans les conteneurs en faisant fondre les bouchons fusibles. Le réchauffement de l'eau alors présente dans l'espace de refroidissement provoque la circulation de cette eau, par convection naturelle, entre cet espace
15 et le ou les réservoirs. L'évacuation de la chaleur dégagée par le corium est ainsi assurée de façon automatique par des moyens passifs.

De préférence, les risques résultant d'un détachement brutal du fond de la cuve sont évités en
20 prévoyant des moyens amortisseurs de chute dans le réceptacle, en dessous de la cuve.

Afin d'éviter toute réaction incontrôlée du corium avec les parois du réceptacle et des conteneurs, ces derniers sont avantageusement revêtus intérieurement
25 d'au moins une couche de matériau réfractaire et chimiquement inerte vis-à-vis des matériaux formant le cœur fondu, recouverte d'une peau d'étanchéité.

De plus, afin d'améliorer l'échange thermique entre le corium contenu dans les conteneurs et l'eau
30 qui se trouve dans l'espace de refroidissement lors d'une fusion du cœur, les conteneurs peuvent comporter extérieurement des moyens promoteurs d'échange de chaleur, tels que des nervures, des ailettes ou des protubérances de forme quelconque.

35 Pour faciliter le refroidissement de l'eau

parvenant dans le ou les réservoirs, par convection naturelle, depuis l'espace de refroidissement entourant les conteneurs, on prévoit avantageusement des moyens d'évacuation de chaleur, dans chaque réservoir, et des
5 moyens de condensation, dans l'enceinte de confinement. Dans ce dernier cas, l'intérieur de l'enceinte communique avec chaque réservoir par au moins une conduite de drainage.

Selon le cas, les conteneurs peuvent reposer
10 sur le fond de l'espace de refroidissement par des supports, ou être suspendus au fond du réceptacle. Dans le premier cas, des grilles d'espacement sont avantageusement prévues.

Différents modes de réalisation de l'invention
15 vont à présent être décrits, à titre d'exemple non limitatif, en se référant aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe illustrant de façon schématique un réacteur nucléaire à eau sous
20 pression équipé d'un dispositif de récupération et de confinement du cœur réalisé conformément à l'invention ;

- la figure 2 est une vue en coupe comparable à la figure 1, illustrant à plus grande échelle la partie du dispositif de récupération située en dessous de
25 la cuve du réacteur ;

- la figure 3 est une vue en coupe selon la ligne III-III de la figure 2 ;

- les figures 4A à 4E sont des vues comparables à la figure 1 illustrant l'état du réacteur à différents stades d'évolution d'un accident grave consécutif à une perte de réfrigérant primaire ;
30

- la figure 5 est une vue comparable à la figure 1 illustrant un deuxième mode de réalisation de l'invention ; et

35 - la figure 6 est une vue comparable aux figu-

res 1 et 5 illustrant un troisième mode de réalisation de l'invention.

Sur la figure 1, la référence 10 désigne une partie d'une enceinte de confinement à l'intérieur de laquelle est totalement enfermé le circuit primaire du réacteur nucléaire. On a également illustré sur la figure 1 le radier 12 de l'enceinte de confinement 10, ainsi que le puits de cuve 14 dans lequel est logée la cuve 16. En revanche, les autres composants du circuit primaire tels que les pompes, les générateurs de vapeur et le pressuriseur n'ont pas été représentés. Il en est de même des tuyauteries reliant ces composants entre eux et à la cuve 16 et des vannes de décharge associées au système de dépressurisation afin de permettre un abaissement automatique ou manuel de la pression régnant dans le circuit primaire, en cas d'accident.

Pour faciliter la compréhension de l'invention, on a aussi illustré sur la figure 1, de façon très schématique, le cœur 18 du réacteur, placé à l'intérieur de la cuve 16. En revanche, tous les autres composants qui sont habituellement placés à l'intérieur de cette cuve, tels que ceux qui permettent de contrôler le fonctionnement du réacteur en marche normale et son arrêt en cas d'accident n'ont pas été représentés.

Conformément à l'invention, le réacteur nucléaire illustré sur la figure 1 est équipé de moyens de récupération du cœur, en cas de fusion de celui-ci, qui vont à présent être décrits en détail.

Ces moyens de récupération du cœur comprennent tout d'abord un réceptacle 20, en forme de cuvette, qui entoure la partie inférieure de la cuve 16 jusqu'à un niveau proche du haut du cœur 18. Ce réceptacle 20 est revêtu intérieurement de plusieurs couches 22 formées d'un ou plusieurs matériaux réfractaires et chimiquement inertes vis-à-vis du corium. Le ou les maté-

riaux formant les couches 22 sont conçus pour pouvoir supporter les températures élevées ainsi que les chocs thermomécaniques associés aux coulées et aux jets de corium, dans l'éventualité où ce dernier traverserait la cuve 16 du réacteur.

La surface intérieure des couches 22 est elle-même revêtue d'une peau métallique d'étanchéité 24 dont l'intégrité et, par conséquent, la fonction d'étanchéité qu'elle doit remplir, ne peut être conservée très longtemps en cas d'accidents graves. En effet, elle serait alors rapidement détruite au moins en partie par le corium lors de son arrivée dans le réceptacle 20.

Dans le mode de réalisation de l'invention illustré plus précisément sur les figures 1 et 2, le fond du réceptacle 20 présente une partie périphérique sensiblement plane et horizontale et une partie centrale 20a en forme de cône ou de pyramide. La pente de cette partie centrale 20a est choisie de telle sorte que le corium qui pourrait y chuter soit ramené vers la partie périphérique en un temps aussi court que possible.

En plus du réceptacle 20, les moyens de récupération du cœur du réacteur à l'état fondu comprennent des conteneurs 26, disposés en couronne en dessous de la partie périphérique plane et horizontale du réceptacle 20. De façon plus précise et comme l'illustrent en particulier les figures 2 et 3, les conteneurs 26 sont des récipients d'axe vertical, qui sont disposés selon deux cercles concentriques en dessous de la partie périphérique plane et horizontale du fond du réceptacle 20 et dont la paroi est raccordée, par son extrémité supérieure, à la paroi du réceptacle 20. Bien entendu, la forme des récipients n'est pas limitée à la forme cylindrique, représentée sur les figures 2 et 3 à titre d'illustration. Les conteneurs 26 peuvent être de forme

quelconque. A titre d'exemples non limitatifs, on peut citer, outre la forme cylindrique, les formes en cône renversé et en tubes de section droite polygonale.

Le volume intérieur total de l'ensemble des
5 conteneurs 26 est au moins égal au volume maximal du corium, afin que ce dernier puisse être reçu en totalité dans les conteneurs en cas d'accident grave. La section droite des conteneurs 26 est suffisamment grande pour éviter tout gel précoce du corium qui l'empêcherait de
10 pénétrer, puis de remplir les conteneurs. Ceci est obtenu en fixant le diamètre "équivalent", défini comme celui d'un cercle de surface égale à celle de la section droite moyenne des conteneurs, à une valeur supérieure à 0,4 m. Par ailleurs, afin d'assurer une surface
15 d'échange suffisante pour le refroidissement du volume total de corium, la hauteur des conteneurs 26 est au moins égale au diamètre équivalent défini précédemment.

Chacun des conteneurs 26 est fermé à son extrémité inférieure par un fond bombé et débouche à
20 son extrémité supérieure dans le réceptacle 20, dont il est normalement isolé par un bouchon fusible 32, comme l'illustre la figure 2. Les bouchons fusibles 32 sont réalisés en un matériau à température de fusion beaucoup plus basse que celle de la peau d'étanchéité
25 24. Lorsque le corium pénètre dans le réceptacle 20 après la fusion du cœur du réacteur, les bouchons fusibles fondent rapidement à son contact, libérant ainsi l'entrée des conteneurs 26. Dans les conditions normales de fonctionnement du réacteur, ces bouchons fusibles
30 32 ont pour fonction d'empêcher toute entrée d'eau dans les conteneurs 26 et d'empêcher toute chute accidentelle d'objet au fond des conteneurs et leur accumulation en cet endroit au cours du temps.

Comme le réceptacle 20, chacun des conteneurs
35 26 est revêtu intérieurement de plusieurs couches 28

d'un ou plusieurs matériaux réfractaires et chimiquement inertes vis-à-vis du corium.

Comme on l'a représenté schématiquement sur la figure 1, les parois des conteneurs 26 sont munies
5 extérieurement de moyens 36 promoteurs d'échanges de chaleur telles que des ailettes, des nervures ou des protubérances de forme quelconque.

Dans le mode de réalisation illustré sur les figures 1 à 3, la partie centrale 20a du fond du réceptacle 20 repose sur une protubérance 12a du radier 12,
10 par l'intermédiaire d'un assemblage 38 d'éléments thermiquement conducteurs, qui peut notamment être réalisé en acier, en graphite, ou en un matériau composite du type carbone-carbone. Cet assemblage 38 d'éléments ther-
15 miquement conducteurs épouse la forme conique ou pyramidale de la partie adjacente du fond du réceptacle 20. De plus, elle comporte une partie périphérique 38a en forme de jupe, qui se prolonge vers le bas autour de la protubérance 12a. Cet assemblage 38 a pour rôle d'améliorer
20 la conduction de la chaleur de la partie centrale vers un espace de refroidissement 40 décrit ci-après.

Les moyens de récupération du cœur à l'état fondu comprennent également l'espace de refroidissement 40, de forme généralement annulaire dans ce premier mode
25 de réalisation de l'invention. Cet espace de refroidissement 40 est formé entre le puits de cuve 14, le radier 12, la protubérance 12a et le réceptacle 20. Plus précisément, cet espace 40 comporte une partie principale située en dessous de la partie périphérique plane et
30 horizontale du fond du réceptacle 20, dans laquelle plongent les conteneurs 26, et une partie supérieure plus étroite située autour de la paroi périphérique du réceptacle 20.

Dans le mode de réalisation représenté sur
35 la figure 1, le supportage des conteneurs 26 est réalisé

au moyen de supports 42, en forme de pieds, qui reposent directement sur le radier 12, dans le fond de l'espace de refroidissement 40. Des grilles métalliques d'espacement 44, dont un exemple de réalisation apparaît notamment sur la figure 3, sont alors placées à l'intérieur de l'espace de refroidissement 40, à différentes hauteurs, afin de garder un espacement minimal entre ces conteneurs, sur toute leur hauteur. Cet espacement minimal permet, comme on le verra par la suite, d'assurer le passage de l'eau assurant le refroidissement des conteneurs 26. La forme de ces grilles 44 est conçue de manière à favoriser également le mélange et l'homogénéisation de l'eau circulant autour des conteneurs 26, augmentant ainsi l'action des promoteurs d'échanges 36.

Comme l'illustre plus précisément la figure 1, des moyens de vidange passifs sont prévus entre le réceptacle 20 et l'espace de refroidissement 40. Ces moyens de vidange passifs comprennent tout d'abord un ou plusieurs trop-pleins 46 dont l'extrémité débouchant dans le réceptacle 20 est située à un niveau qui correspond sensiblement au bas du cœur 18 du réacteur. Chaque trop-plein 46 est monté dans la partie supérieure étroite de l'espace de refroidissement 40 qui entoure la paroi périphérique du réceptacle 20. Un bouclier thermomécanique 48 protège l'extrémité de chaque trop-plein 46 débouchant dans le réceptacle 20, de façon à éviter toute obturation des trop-pleins par le corium en cas d'accident.

Les moyens de vidange passifs comprennent de plus au moins un siphon 50 dont une première extrémité plonge dans le fond du réceptacle 20 et dont l'extrémité opposée plonge dans le fond de l'espace de refroidissement 40. La branche supérieure horizontale 50a de chacun des trop-pleins 50 est située sensiblement au même niveau que l'extrémité supérieure du trop-plein 46

débouchant dans le réceptacle 20.

Par ailleurs, au moins un tuyau de vidange 52, équipé d'une vanne 54 normalement fermée, débouche dans le fond de l'espace de refroidissement 40, afin
5 d'en permettre la vidange, par exemple par pompage, lorsque cela est nécessaire. De préférence, la vanne 54 prévue dans chacun des tuyaux de vidange 52 est une vanne à commande manuelle, apte à pouvoir être manœuvrée en toutes circonstances.

10 Comme l'illustre également la figure 1, les moyens de récupération du cœur lors de sa fusion comprennent aussi un ou plusieurs réservoirs 56 dans lesquels est stockée de l'eau de refroidissement 58. Le fond de chacun des réservoirs 56 est situé à un
15 niveau supérieur à celui de l'espace de refroidissement 40. En revanche, le niveau N0 de l'eau de refroidissement 58 dans ces réservoirs 56 est initialement inférieur à celui de l'extrémité supérieure des trop-pleins 46 débouchant dans le réceptacle 20 et à celui de la
20 branche supérieure 50a de chacun des siphons 50.

Chacun des réservoirs de stockage 56 communique avec l'espace de refroidissement 40 par au moins un tuyau d'alimentation 60 reliant le fond du réservoir de stockage au fond de l'espace de refroidissement. Une
25 vanne d'isolement 62, normalement fermée, est placée dans chacun des tuyaux d'alimentation 60, immédiatement en dessous du réservoir 56. Cette vanne d'isolement 62 est une électrovanne ou une vanne à commande électrique autonome de type équivalent, apte à s'ouvrir automati-
30 quement lors de la réception d'un signal de détection d'un début de fusion du cœur 18 du réacteur. Un tel signal de détection peut être délivré par un ou plusieurs systèmes à alimentation électrique autonome, placés dans la cuve 16 ou dans l'enceinte 10 du réac-
35 teur.

Chacun des réservoirs de stockage 56 est également relié à la partie supérieure étroite de l'espace de refroidissement 40 par un ou plusieurs tuyaux de retour d'eau 64. Comme l'illustre la figure 1, ces
5 tuyaux 64 sont des tuyaux horizontaux dont le niveau est légèrement supérieur au niveau N0 occupé normalement par l'eau de refroidissement 58 contenue dans les réservoirs de stockage 56.

L'ensemble constitué par les réservoirs de
10 stockage 56, l'espace de refroidissement 40 ainsi que les tuyaux d'alimentation 60 et de retour d'eau 64 constitue un circuit passif de refroidissement. En effet, ce circuit permet d'assurer une circulation de l'eau 58 par convection naturelle entre l'espace 40 et chacun
15 des réservoirs 56, lorsque les vannes 62 ont été ouvertes et que l'eau contenue dans l'espace de refroidissement 40 est réchauffée par la présence de corium dans les conteneurs 26.

Dans le circuit passif de refroidissement
20 ainsi constitué, le débit de l'eau de refroidissement 58 dépend, entre autres variables, de la différence de pression existant entre le bas des conteneurs 26 et le niveau supérieur du mélange diphasique d'eau en ébullition, présente dans l'espace de refroidissement 20. En
25 régime établi de circulation naturelle, cette différence de pression est aussi égale, en première approximation, à la pression exercée par une colonne d'eau, à la température et à la pression de l'eau liquide des réservoirs 56, de hauteur égale à la différence de niveau entre
30 la surface de l'eau des réservoirs 56 et le bas des conteneurs 26. En donnant à cette différence de niveau une valeur d'au moins 5 m, on peut assurer un débit suffisant pour éviter toute montée en température trop importante des structures des conteneurs 26, ou toute
35 accumulation trop importante de vapeur dans l'espace

de refroidissement 40, qui aurait pour conséquence d'augmenter la pression dans cet espace et d'empêcher l'eau contenue dans les réservoirs 56 d'y pénétrer, interrompant ainsi la circulation de l'eau de refroidissement.

Compte tenu de l'échauffement de l'eau résultant de la température très élevée du corium contenu dans les conteneurs 26, l'eau qui parvient dans les réservoirs 56 par les tuyaux de retour d'eau 64 est diphasique. Une partie de la vapeur d'eau est entraînée par le liquide et se recondense dans l'eau contenue dans les réservoirs 56. Le reste de la vapeur d'eau s'évacue dans l'atmosphère délimitée par l'enceinte de confinement 10 au travers d'une ou plusieurs ouvertures 66 pratiquées dans le plafond des réservoirs 56, ou au-dessus du niveau N0, par lesquelles chacun des réservoirs communique avec cette atmosphère. La condensation de la vapeur d'eau admise à l'intérieur de l'enceinte 10 est assurée par un certain nombre de puits de chaleur qui se trouvent habituellement à l'intérieur de l'enceinte 10, telles que des surfaces froides 68. Pour accélérer cette condensation, on peut également placer à l'intérieur de l'enceinte 10 des échangeurs de chaleur 70 jouant le rôle de condenseurs. On utilise de préférence des systèmes passifs tels que les échangeurs à caloducs.

L'eau ainsi condensée à l'intérieur de l'enceinte de confinement 10 est collectée au-dessus des réservoirs 56 et drainée vers ces derniers par des conduites de drainage 72 plongeant dans l'eau 58.

Par ailleurs, le refroidissement de l'eau 58 contenue dans chacun des réservoirs 56 peut aussi être assuré par des échangeurs de chaleur 74 immergés dans l'eau 58. De préférence, on utilisera également des échangeurs de chaleur 74 immergés passifs, à caloducs par exemple.

Bien entendu, les échangeurs de chaleur 70 et 74 peuvent être remplacés par tous dispositifs équivalents, de préférence passifs, permettant d'évacuer hors de l'enceinte de confinement la puissance libérée pendant l'accident.

La quantité d'eau 58 initialement stockée dans les réservoirs 56 est déterminée afin d'assurer une autonomie de fonctionnement du circuit passif de refroidissement pendant une phase transitoire au cours de laquelle l'eau résultant de la condensation de la vapeur d'eau à l'intérieur de l'enceinte de confinement 10 n'a pas encore été collectée et drainée vers les réservoirs 56. Le débit total de l'eau de recondensation drainée vers les réservoirs 56 par les conduites de drainage 72 alimente ensuite le circuit de refroidissement de manière continue, sans dénoyage des réservoirs 56 et sans désamorçage de la circulation naturelle dans le circuit, pendant toutes les phases de l'accident jusqu'au confinement à long terme du corium ainsi récupéré.

Enfin, afin d'éviter que le dispositif dans son ensemble soit rendu inopérant par la chute d'un seul bloc du fond sphérique de la cuve 16 du réacteur, par suite des effets thermomécaniques résultant de l'accumulation en cet endroit d'une masse importante de corium en fusion, des dispositifs amortisseurs de chute 76 sont placés sur le fond du réceptacle 20, immédiatement en dessous de la cuve 16. Comme l'illustre en particulier la figure 3, ces dispositifs 76 sont répartis de façon symétrique autour de l'axe vertical de la cuve 2, de façon à répartir la charge sur le fond du réceptacle 20, en cas de chute brutale du fond de la cuve 16 remplie de corium fondu.

Chacun des dispositifs amortisseurs 76 peut notamment être constitué par un assemblage de tubes 78 (figure 2) aptes à s'écraser de manière progressive sous

la charge. Chaque assemblage repose sur une semelle 80 soudée directement sur la peau métallique d'étanchéité 24 du réceptacle 20.

La mise en oeuvre des moyens de récupération
5 du cœur à l'état fondu qui viennent d'être décrits en se référant aux figures 1 à 3 va à présent être expliquée en se référant successivement aux figures 4A à 4E.

Auparavant, on rappellera brièvement en se référant aux figures 1 et 2 l'état présenté par les
10 moyens de récupération du cœur lorsque le réacteur fonctionne normalement. Le cœur 18 est alors intact et la cuve 2 est remplie d'eau sous pression, de même que l'ensemble du circuit primaire.

Les vannes 62 des tuyaux 60 d'alimentation
15 en eau de l'espace de refroidissement 40 sont alors fermées et il n'y a pas d'eau dans cet espace 40, ni dans le réceptacle 20. Par ailleurs, les vannes 54 équipant les tuyaux de vidange 52 sont également fermées. En outre, les conteneurs 26 sont vides et obturés par les
20 bouchons fusibles 32, étanches à l'eau.

Dans ces conditions de fonctionnement normal du réacteur, des passages (non représentés) permettent d'accéder à l'intérieur du réceptacle 20, pour inspecter l'état de ce réceptacle ou pour procéder à certaines
25 opérations de maintenance ou de réparation de divers dispositifs placés entre la cuve 16 et le réceptacle 20.

Comme l'illustre la figure 4A, lorsqu'il se produit un accident de perte de réfrigérant primaire
30 susceptible de dégénérer ultérieurement en accident grave avec fusion du cœur, le système de dépressurisation automatique (non représenté) associé au circuit primaire du réacteur est automatiquement actionné, de façon à faire baisser la pression dans ce circuit. La cuve 16
35 est alors partiellement vidée de son eau. Cependant,

Le cœur 18 est encore suffisamment refroidi pour que la température atteinte dans le combustible nucléaire reste en dessous de la limite de fusion.

La dépressurisation du circuit primaire a pour effet de répandre une partie de l'eau contenue dans ce circuit à l'intérieur de l'enceinte de confinement 10. Une partie de cette eau pénètre alors dans le réceptacle 20, puis se déverse dans l'espace de refroidissement 40 lorsqu'elle atteint le niveau déterminé par les trop-pleins 46. Les siphons 50 sont automatiquement amorcés, de telle sorte que toute l'eau située au-dessus de l'embouchure du siphon 50 plongeant dans le réceptacle 20 est vidangée dans l'espace de refroidissement 40. L'eau atteint alors dans l'espace de refroidissement 40 un niveau N1 qui dépend de la quantité d'eau recueillie dans le réceptacle 20. Simultanément, la partie de l'eau qui s'est répandue dans l'enceinte en dehors du réceptacle 20, est drainée dans les réservoirs 56 dont le niveau augmente. Au cas où ce niveau dépasserait celui des tuyaux horizontaux 64, l'eau se déverserait également dans l'espace de refroidissement par ces derniers tuyaux et ferait augmenter le niveau N1.

Dans un certain nombre de cas, les moyens de sauvegarde associés au réacteur permettent de refroidir le cœur 18 de celui-ci et de surmonter ainsi l'accident de perte de réfrigérant primaire, sans autre conséquence. Dans ce cas, la remise en état du réacteur comporte notamment une opération de vidange de l'eau accumulée dans l'espace de refroidissement 40. Cette opération est réalisée en pompant l'eau par les tuyaux de vidange 52, après avoir ouvert les vannes d'isolement 54.

Dans l'hypothèse inverse, où les moyens de sauvegarde associés au réacteur ne permettent pas de refroidir suffisamment le cœur 18, soit parce qu'ils sont indisponibles (perte d'alimentation électrique),

soit parce qu'ils sont insuffisants pour assurer le renoyage et le refroidissement du cœur, celui-ci commence à fondre. Un système à alimentation électrique de secours autonome fournit alors un signal de détection
5 de la fusion du cœur. Ce signal est immédiatement transmis aux vannes 62 afin d'en commander l'ouverture. Cette ouverture est assurée de façon automatique par un système à alimentation électrique autonome.

Comme l'illustre la figure 4B, l'eau contenue
10 dans les réservoirs 56 pénètre alors par gravité dans l'espace de refroidissement 40, en passant par les tuyaux d'alimentation 60. L'espace 40 est alors noyé jusqu'à un niveau N2 supérieur à celui du haut des conteneurs 26.

15 Le niveau N2 dépend d'une part des sections, des volumes, ainsi que des niveaux respectifs des réservoirs 56 et de l'espace de refroidissement 40 et, d'autre part, du volume total d'eau disponible dans le circuit de refroidissement. En prenant le volume total
20 d'eau disponible comme la somme du volume initial de l'eau contenue dans les réservoirs 56 et du volume maximum d'eau du circuit primaire qui peut être recueillie à la fois dans l'espace de refroidissement 40 par vidange et dans les réservoirs 56 par drainage de l'eau après
25 un accident de perte totale de l'eau du circuit primaire, on peut fixer le niveau d'équilibre N2 de manière à empêcher l'eau de pénétrer dans le réceptacle 20. Ce résultat est assuré en donnant au niveau N2 une valeur inférieure à celle des extrémités des trop-pleins 46
30 débouchant dans le réceptacle 20 et des branches supérieures horizontales 50a des siphons 50. Dans le réceptacle 20, après vidange, l'eau reste alors au niveau correspondant à l'embouchure des siphons 50.

La quantité résiduelle d'eau qui pourrait
35 entrer en contact avec le corium sortant de la cuve 16

est donc limitée. De plus, une partie de cette eau peut s'évaporer sous l'effet de l'échauffement du fond de la cuve 16 précédant l'écoulement du corium hors de cette dernière. Afin d'éviter une trop grande surpression qui pourrait résulter de l'évaporation de l'eau résiduelle, il est prévu d'utiliser les passages (non représentés), qui permettent habituellement d'accéder à l'intérieur du réceptacle 20, pour évacuer la vapeur produite. Des passages supplémentaires (non représentés) sont prévus pour le cas où la capacité de décharge doit être augmentée.

Sur la figure 40, on a illustré le cas où le corium 18a a percé le fond de la cuve 16 en plusieurs points. Le corium 18a s'écoule alors dans le réceptacle 20. L'entrée en contact du corium 18a avec la peau métallique 24 protégeant intérieurement le réceptacle 20 détruit cette peau partiellement sans engendrer d'effets nocifs, puisque le corium arrive ensuite en contact avec les couches 22 de matériau réfractaire et chimiquement inerte à son égard.

En revanche, les bouchons fusibles 32 jouent leur rôle et le corium pénètre dans les conteneurs 26, dont les parois externes s'échauffent.

Sous l'effet de l'échauffement des parois externes des conteneurs 26, la température de l'eau alors contenue dans l'espace de refroidissement 40 s'élève, entraînant l'amorçage d'une circulation naturelle de l'eau, par thermosiphon, entre cet espace 40 et les réservoirs 56, par les tuyaux 60 et 64. La présence des moyens 36 promoteurs d'échanges de chaleur sur les parois externes des conteneurs 26 permet alors d'empêcher la formation d'un film de vapeur autour de ces parois, qui aurait pour effet de dégrader les transferts de chaleur vers l'eau de refroidissement.

Lorsque la circulation naturelle est établie,

l'eau de refroidissement sort à l'état diphasique des tuyaux 64 dans les réservoirs 56. La partie de la vapeur produite qui n'est pas immédiatement recondensée dans les réservoirs 56 est dispersée à l'intérieur de l'en-
5 ceinte de confinement 10, où elle est recondensée par les puits de chaleur constitués par les surfaces froides existantes 68, éventuellement complétées par les échangeurs de chaleur 70 ou par tout moyen équivalent. L'eau de condensation ainsi obtenue est collectée et ramenée
10 dans les réservoirs 56 par les conduites de drainage 72. Le refroidissement de l'eau dans les réservoirs 56, qui assure l'entretien de la circulation naturelle et, par conséquent, le refroidissement du corium contenu dans les conteneurs 26, est éventuellement complété par
15 les échangeurs 74.

La figure 4D illustre une situation comparable à celle de la figure 4C, dans le cas où le percement du fond de la cuve 16 par le corium 18a n'a pas lieu. Le fond 16a de la cuve 16 se détache alors d'un bloc
20 et chute sur les dispositifs amortisseurs 76, avec le corium qu'il contient. Grâce aux dispositifs amortisseurs, les éléments constitutifs des moyens de récupération du cœur restent intacts et l'efficacité du refroidissement est assurée de la même manière que dans le
25 cas de la figure 4C.

Enfin, la figure 4E illustre l'état final du réacteur, dans lequel le corium 18a a été récupéré et confiné en totalité dans les conteneurs 26 et refroidi à long terme par le circuit passif de refroidissement
30 comprenant l'espace de refroidissement 40, les réservoirs 56, et les conduites 60 et 64 qui les relient.

Sur la figures 5, on a représenté un deuxième mode de réalisation de l'invention qui se distingue essentiellement du précédent par le fait qu'au lieu d'être
35 répartis en couronne autour d'une protubérance 12a du

radier 12, les conteneurs 26 sont répartis sur toute la section du fond du réceptacle 20. Pour un même nombre de conteneurs 26 et une même capacité de chacun d'entre eux, ce mode de réalisation permet soit de réduire les dimensions radiales de l'ensemble du dispositif de récupération du cœur à l'état fondu, afin de l'adapter à l'architecture du puits de cuve 14, soit d'augmenter l'espace entre les conteneurs 56, afin de faciliter l'écoulement de l'eau de refroidissement. Bien entendu, ces deux avantages peuvent également être cumulés.

Le fond 20b du réceptacle 20 a alors la forme d'un cône renversé, ce qui permet aux bulles de vapeur produites par l'ébullition de l'eau dans l'espace 40 de migrer du centre vers l'extérieur. Ce fond 20b est constitué par un coffrage métallique dans lequel on a coulé du béton anhydre et réfractaire. La formation d'une poche de vapeur en dessous de ce fond, qui pourrait conduire à un assèchement local de ce dernier, est ainsi empêchée.

Par ailleurs, la peau métallique d'étanchéité 24 qui constitue le revêtement intérieur du réceptacle 20 présente un fond plan et horizontal.

Pour faciliter le refroidissement des conteneurs 56 situés au centre, les tuyaux d'alimentation 60 débouchent avantageusement le plus près possible de la partie centrale de l'espace 40.

Les autres caractéristiques du dispositif de récupération du cœur fondu ainsi que le fonctionnement de ce dispositif sont par ailleurs identiques à ceux du premier mode de réalisation décrit précédemment.

Sur la figure 6, on a représenté un troisième mode de réalisation de l'invention, qui se distingue essentiellement du deuxième mode de réalisation qui vient d'être décrit en se référant à la figure 5, par le fait qu'au lieu d'être supporté directement par des

soutiens reposant sur le radier 12, les conteneurs 26 sont suspendus directement au fond 20b du réceptacle 20.

Afin qu'il puisse supporter le poids des conteneurs 26 lorsque ces derniers sont remplis de corium, le fond 20b du réceptacle 20 est alors de plus forte épaisseur. Ce fond peut notamment être constitué par un coffrage métallique dans lequel a été coulé du béton anhydre et réfractaire.

Dans ce troisième mode de réalisation de l'invention, les conteneurs 26 sont logés dans des alvéoles verticales 82 formées dans un assemblage constitué de plaques de béton 84 et 86 empilées de façon alternée et reposant sur le radier 12. Les plaques 84 sont simplement percées de trous aux endroits correspondant aux alvéoles 80. Les plaques 86 possèdent les mêmes trous ainsi que des passages 88 par lesquels les alvéoles 82 communiquent entre elles. Ces passages 88 permettent des débits transverses d'eau et améliorent ainsi le refroidissement. L'insertion des conteneurs 26 dans les alvéoles 82 permet de supprimer les grilles 44.

Des équerres 90 et des plots 91 sont fixés à la partie supérieure de cet assemblage, afin de supporter directement le fond 20b du réceptacle 20.

Dans ce troisième mode de réalisation de l'invention, les autres caractéristiques du dispositif de récupération du cœur fondu ainsi que le fonctionnement de ce dispositif sont identiques à ceux du premier mode de réalisation décrit précédemment en détail.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui viennent d'être décrits à titre d'exemples, mais en couvre toutes les variantes. Ainsi, si les trois modes de réalisation décrits concernent un réacteur nucléaire à eau sous pression, le dispositif de récupération du cœur fondu selon l'invention peut aussi être utilisé dans un réacteur à eau bouillante.

REVENDICATIONS

1. Réacteur nucléaire comprenant une enceinte de confinement (10), un circuit primaire totalement enfermé dans ladite enceinte et contenant de l'eau sous
5 pression, ce circuit primaire comportant une cuve (16) dans laquelle est placé un cœur (18) et des moyens de récupération du cœur, en cas de fusion de ce dernier, caractérisé par le fait que les moyens de récupération du cœur comprennent :
- 10 - un réceptacle (20) entourant au moins une partie inférieure de la cuve ;
- des conteneurs (26) placés en dessous du réceptacle et séparés de ce dernier par des bouchons fusibles ;
- 15 - un espace de refroidissement (40) entourant les conteneurs ;
- des moyens de vidange passifs (46, 50) du réceptacle dans l'espace de refroidissement ;
- au moins un réservoir (56) de stockage d'eau
20 de refroidissement (58) situé à un niveau supérieur à celui de l'espace de refroidissement ; et
- des moyens (60, 62, 64) pour établir une circulation en convection naturelle entre le réservoir et l'espace de refroidissement.
- 25 2. Réacteur nucléaire selon la revendication 1, caractérisé par le fait que des moyens (76) amortisseurs de chute sont placés dans le réceptacle, en dessous de la cuve.
3. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque
30 des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le réceptacle (20) est revêtu intérieurement d'au moins une couche de matériau (22) réfractaire et chimiquement inerte vis-à-vis des matériaux formant le cœur fondu, recouverte d'une peau d'étanchéité (24).
- 35 4. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque

des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les conteneurs (26) sont revêtus intérieurement d'au moins une couche de matériau (28) réfractaire et chimiquement inerte vis-à-vis des matériaux formant le cœur
5 fondu.

5. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les conteneurs (26) comportent extérieurement des moyens (36) promoteurs d'échange de chaleur.

10 6. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la hauteur des conteneurs (26) est au moins égale au diamètre équivalent de leur section droite moyenne, défini comme le diamètre d'un cercle de surface égale
15 à celle de la section droite moyenne du conteneur.

7. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les moyens de vidange passifs comprennent au moins un trop-plein (46) et au moins un siphon (50).

20 8. Réacteur nucléaire selon la revendication 7, caractérisé par le fait que l'extrémité du trop-plein (46) débouchant dans le réceptacle (20) est protégée par un bouclier thermo-mécanique (48).

25 9. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications 7 et 8, caractérisé par le fait que l'extrémité du trop-plein (46) débouchant dans le réceptacle (20) et une branche supérieure du siphon (50) sont situées à des niveaux supérieurs au niveau de l'eau de refroidissement dans le réservoir de stockage (56).

30 10. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les moyens pour établir une circulation en convection naturelle comprennent au moins un tuyau d'alimentation (60) reliant le fond du réservoir de stockage (56)
35 au fond de l'espace de refroidissement (40), un moyen

d'isolement (62) normalement fermé placé dans ce tuyau d'alimentation, et au moins un tuyau de retour d'eau (64) reliant l'espace de refroidissement au réservoir de stockage, à un niveau supérieur au niveau d'entrée
5 des conteneurs (26).

11. Réacteur nucléaire selon la revendication 10, caractérisé par le fait qu'il comprend des moyens de détection d'une fusion du cœur, aptes à émettre un signal de commande d'ouverture automatique de moyen
10 d'isolement (62).

12. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que chaque réservoir (56) débouche dans l'enceinte de confinement (10) par au moins une ouverture (66) formée
15 au-dessus du niveau de l'eau de refroidissement dans ce réservoir.

13. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que des moyens de refroidissement (70, 74) de l'eau de
20 refroidissement sont placés dans l'enceinte de confinement (10).

14. Réacteur nucléaire selon la revendication 13, caractérisé par le fait que les moyens de refroidissement comprennent des moyens de condensation (70) de
25 vapeur d'eau, placés au-dessus de chaque réservoir (56).

15. Réacteur nucléaire selon la revendication 14, caractérisé par le fait que l'enceinte de confinement (10) débouche dans chaque réservoir (56) par au moins une conduite de drainage (72) d'eau de condensa-
30 tion.

16. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications 13 à 15, caractérisé par le fait que les moyens de refroidissement comprennent des moyens d'évacuation de chaleur (74) placés dans chaque réservoir (56).
35

17. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'au moins un tuyau de vidange (52), équipé d'un moyen d'isolement (54) normalement fermé, débouche dans le
5 fond de l'espace de refroidissement (40).

18. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les conteneurs (26) présentent un volume intérieur total au moins égal au volume du cœur de corium résultant de la fusion totale du cœur.
10

19. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les conteneurs (26) reposent sur le fond de l'espace de confinement (40) par des supports (42) et sont maintenus latéralement à l'intérieur de cet espace par des grilles d'espacement (44).
15

20. Réacteur nucléaire selon la revendication 19, caractérisé par le fait que le réceptacle (20) comporte un fond pourvu d'une partie centrale (20a) inclinée radialement vers l'extérieur, située sous la cuve du réacteur, les conteneurs (26) étant disposés en couronne, en dessous d'une partie périphérique du fond du réceptacle entourant ladite partie centrale.
20

21. Réacteur nucléaire selon la revendication 20, caractérisé par le fait qu'un matériau thermiquement conducteur (38) est placé en dessous de la partie centrale du fond du réceptacle (20) et se prolonge dans une zone périphérique adjacente à une partie supérieure de l'espace de refroidissement.
25

22. Réacteur nucléaire selon la revendication 18, caractérisé par le fait que le réceptacle (20) comporte un fond (20b) en forme de cône renversé, en dessous duquel sont régulièrement répartis les conteneurs (26).
30

23. Réacteur nucléaire selon la revendication
35

22, caractérisé par le fait que le fond (20b) du réceptacle (20), en forme de cône renversé, est constitué par un coffrage métallique dans lequel on a coulé du béton anhydre et réfractaire.

5 24. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications 1 à 18, caractérisé par le fait que les conteneurs (26) sont suspendus au fond du réceptacle (20b).

10 25. Réacteur nucléaire selon la revendication 24, caractérisé par le fait que les conteneurs (26) sont logés dans des alvéoles (82) formées dans une structure (84, 86) placée dans l'espace de refroidissement (40) et dans laquelle sont ménagés des passages inter-alvéoles (88).

15 26. Réacteur nucléaire selon la revendication 25, caractérisé par le fait que ladite structure comprend un empilement de plaques de béton (84, 86) de deux types différentes, disposées de façon alternée, lesdits passages (88) étant formés dans l'un (86) des
20 types de plaques, alors que toutes les plaques comportent des trous formant lesdites alvéoles (82).

25 27. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications 25 et 26, caractérisé par le fait que ladite structure est munie de pièces d'appui (90,91), fixée sur sa face supérieure, en vue de supporter le fond (20b) du réceptacle (20).

1 / 10

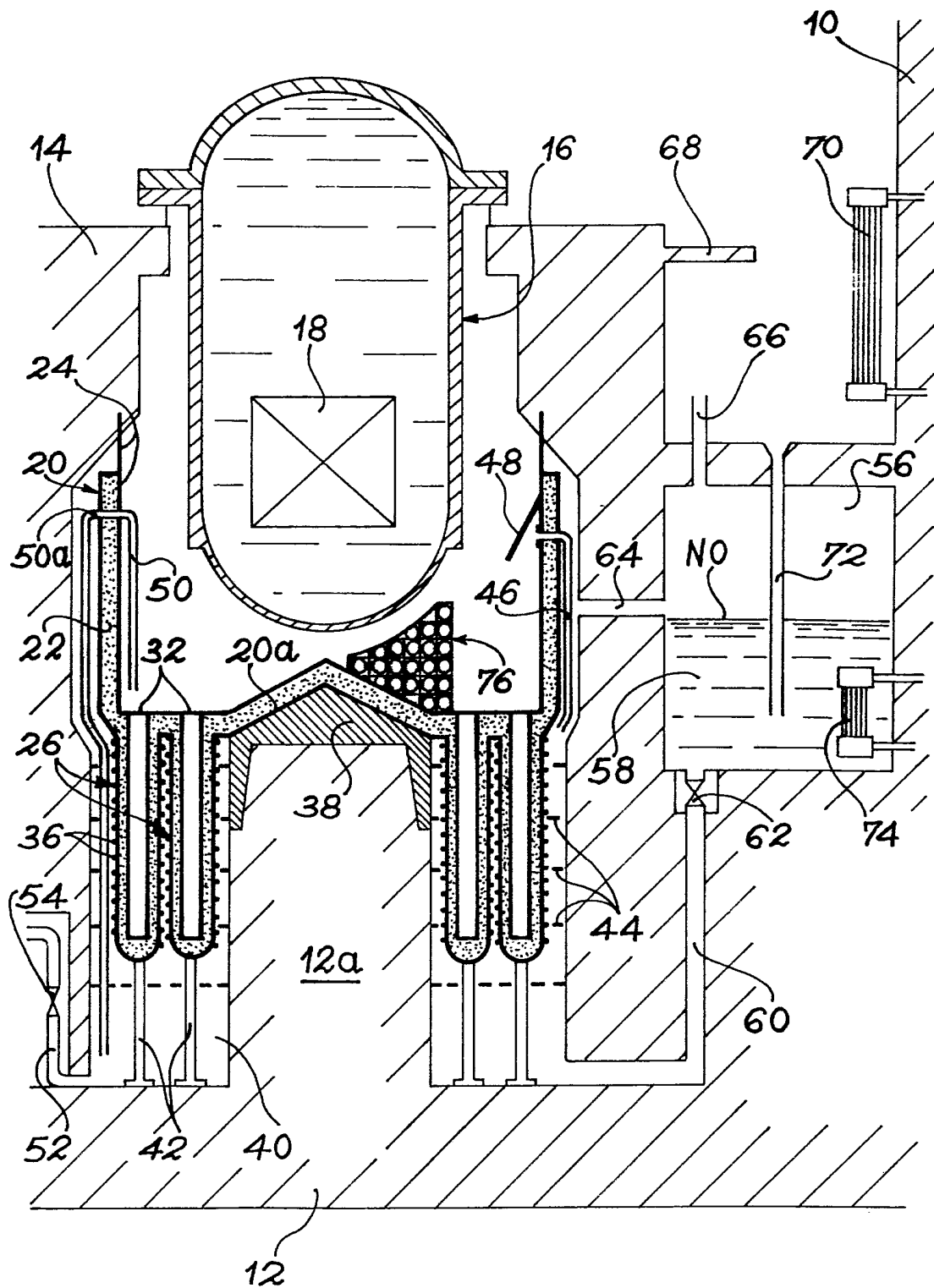


FIG. 1

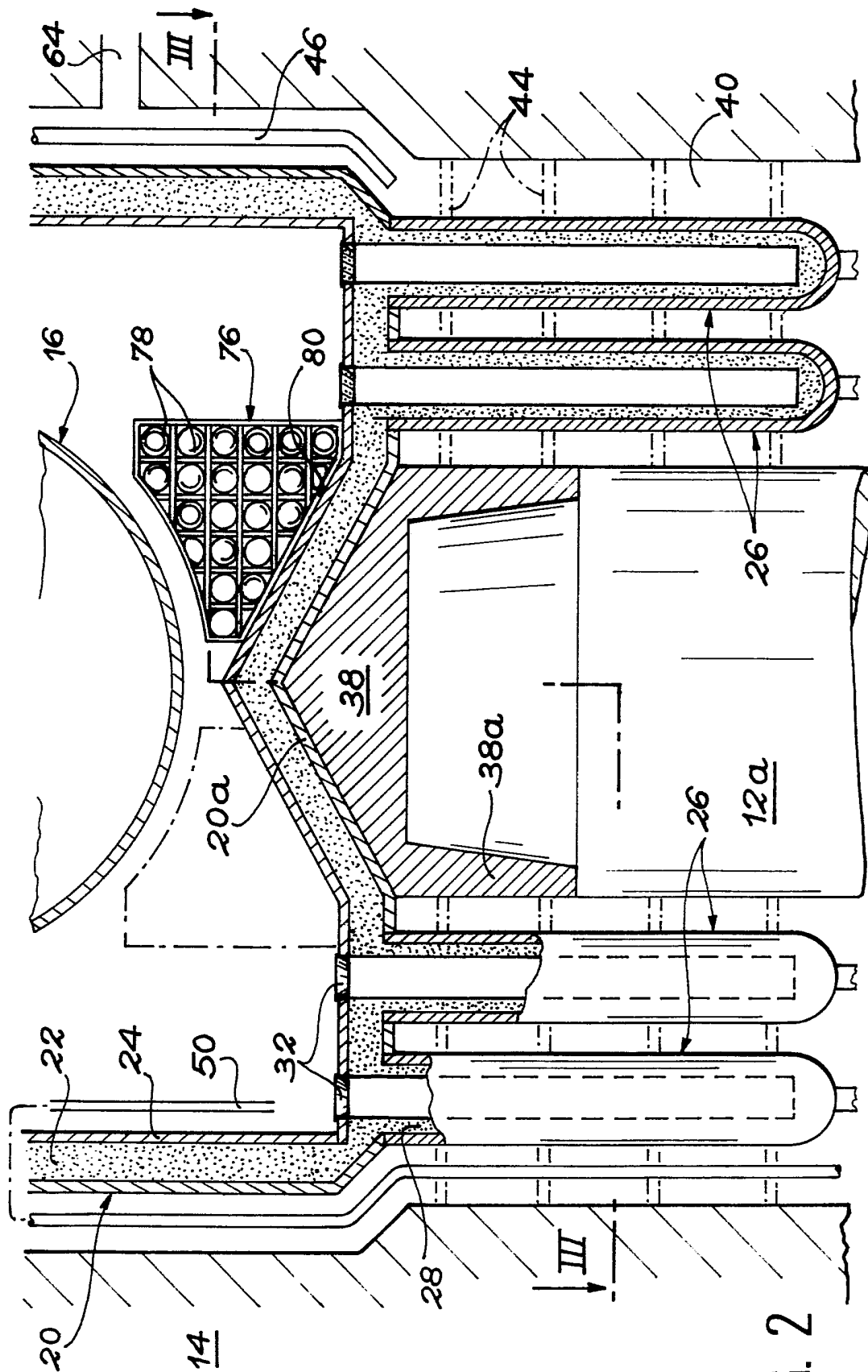


FIG. 2

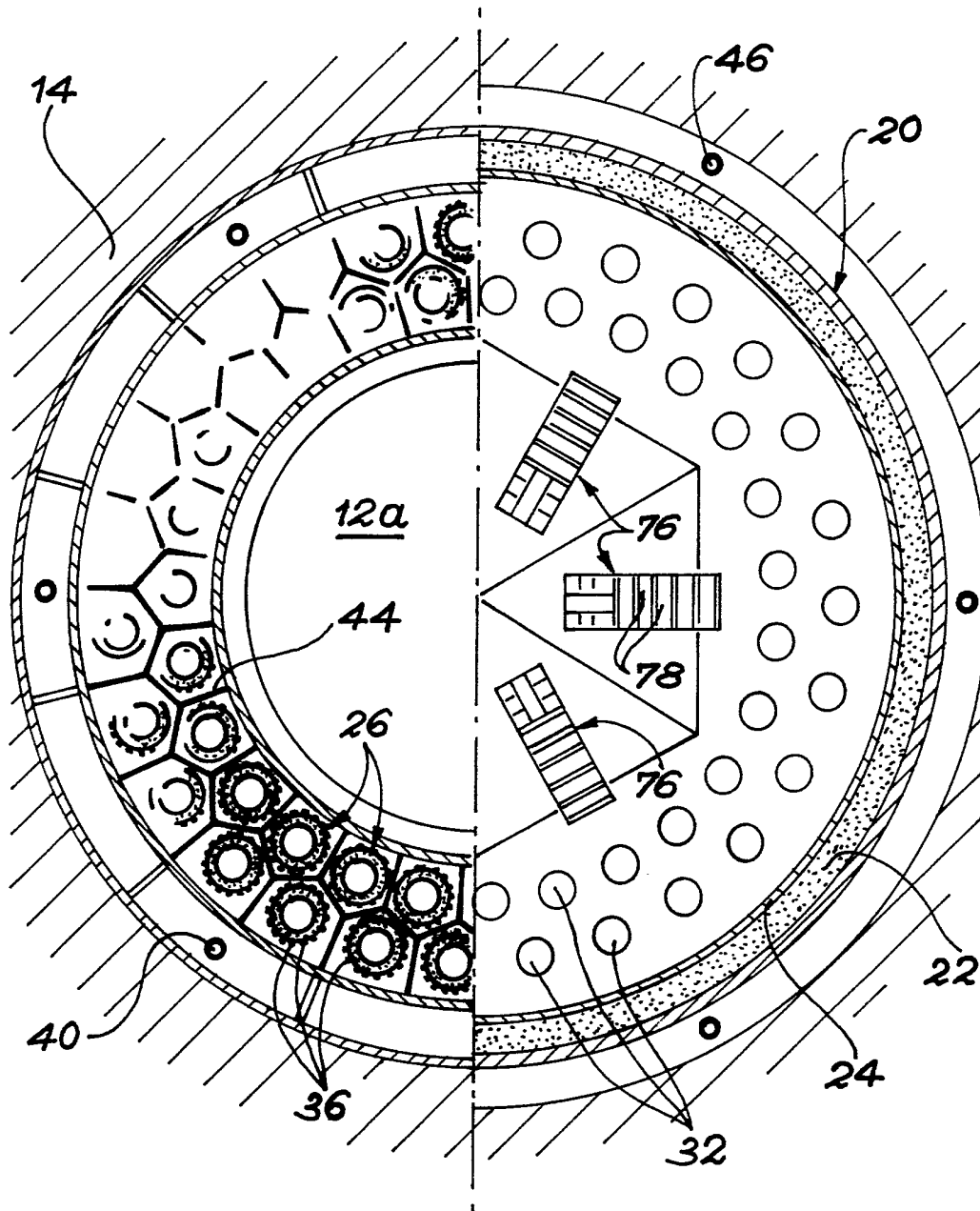


FIG. 3

4/10

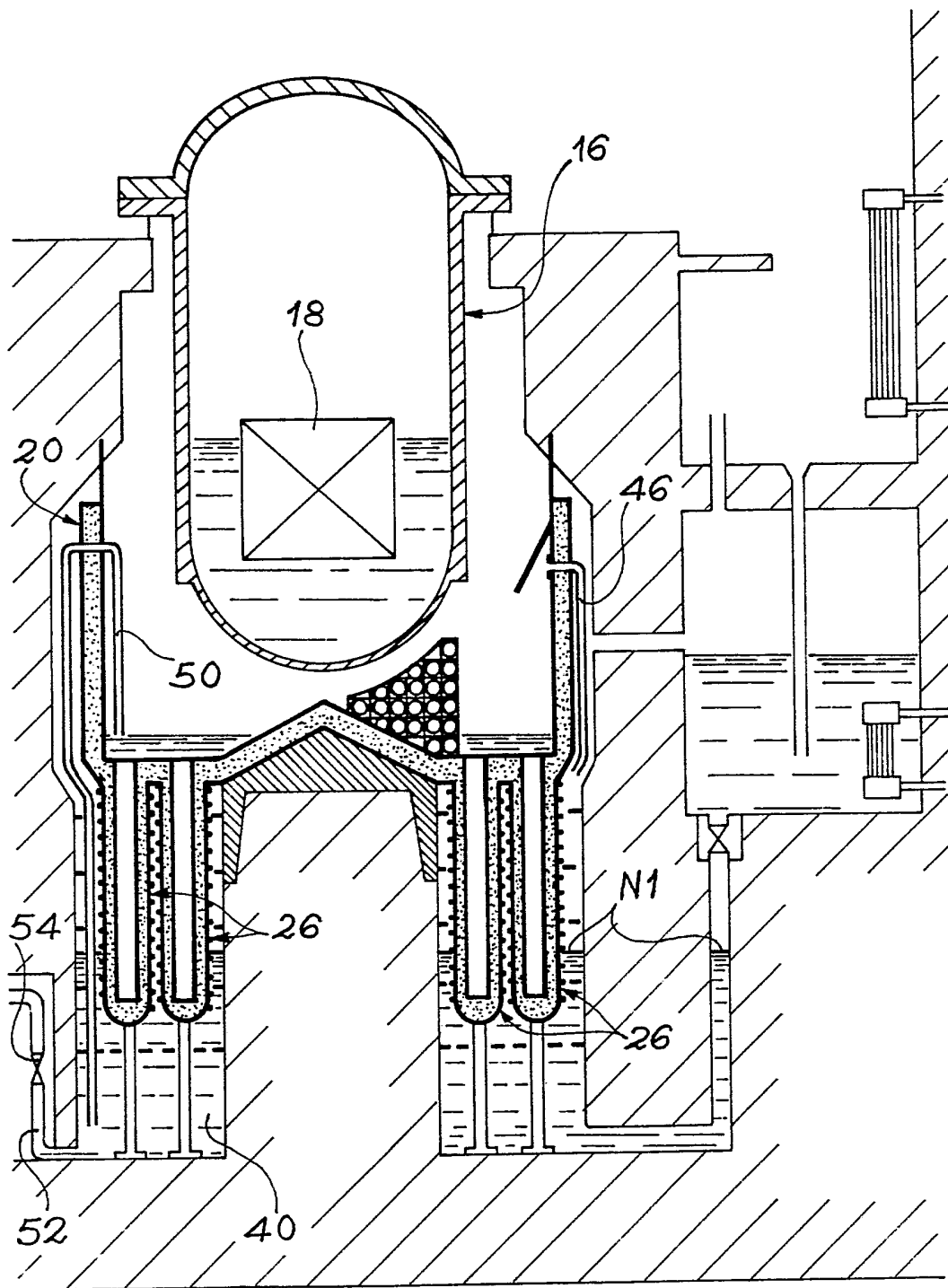


FIG. 4 A

5/10

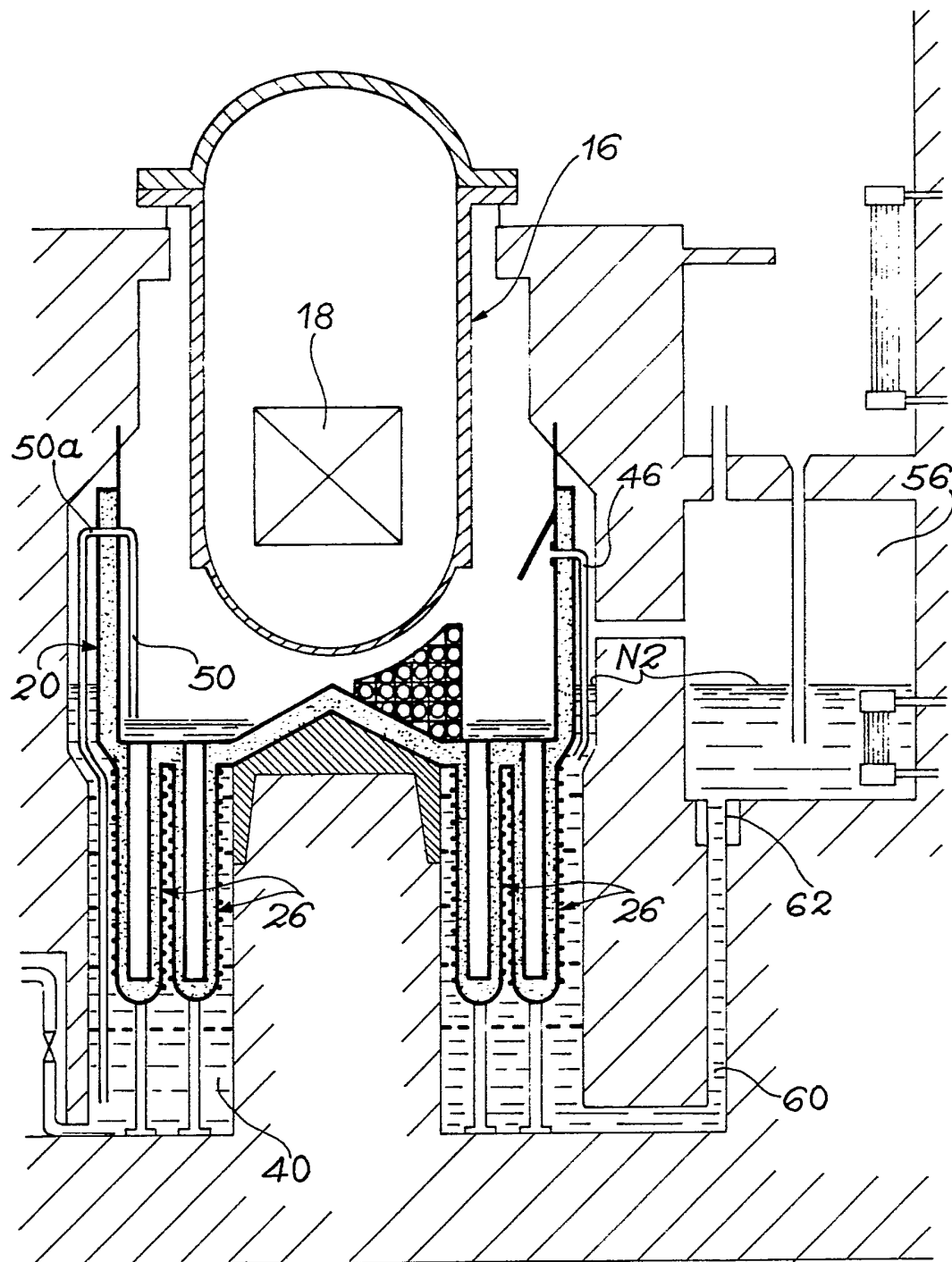


FIG. 4B

6/10

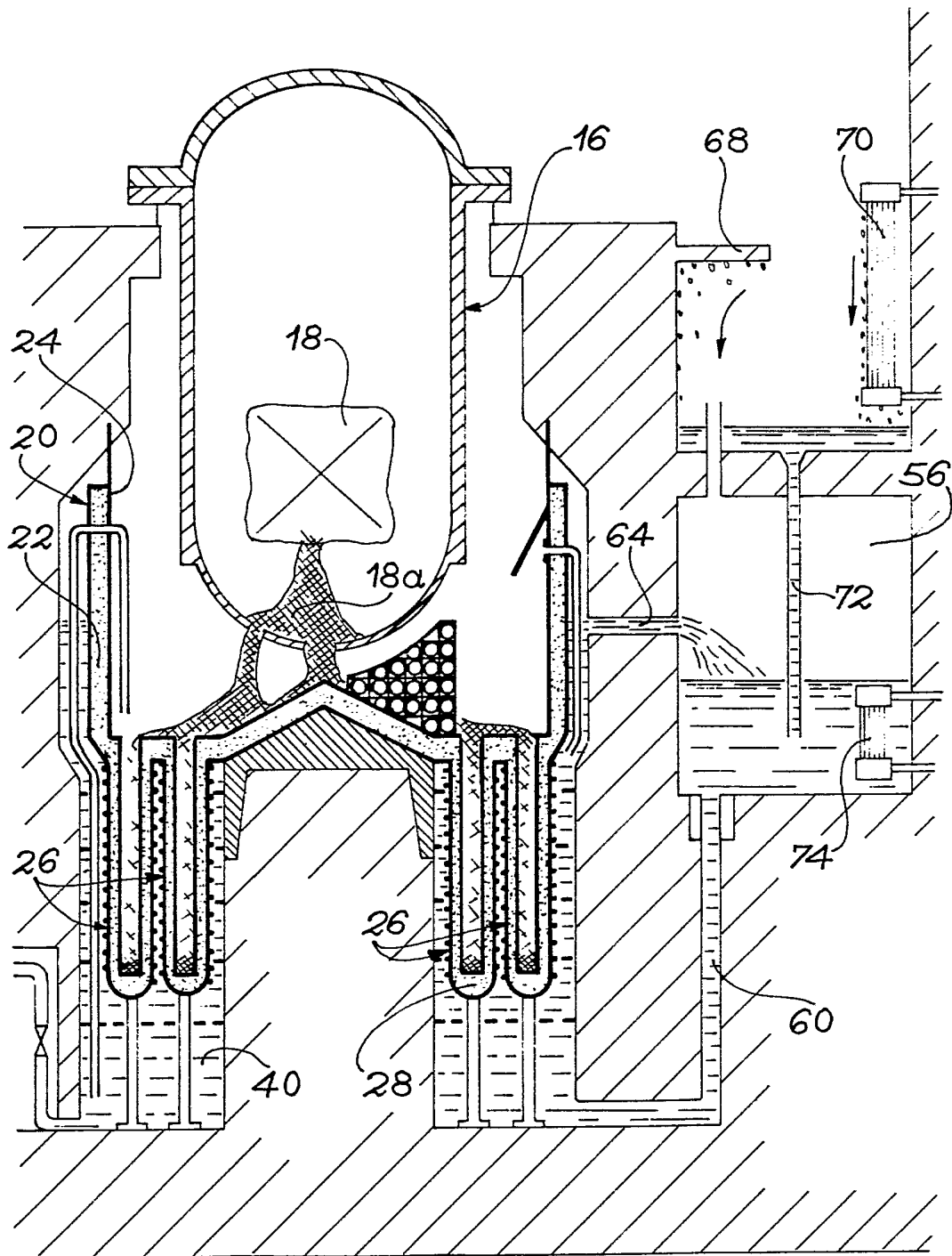


FIG. 4C

7/10

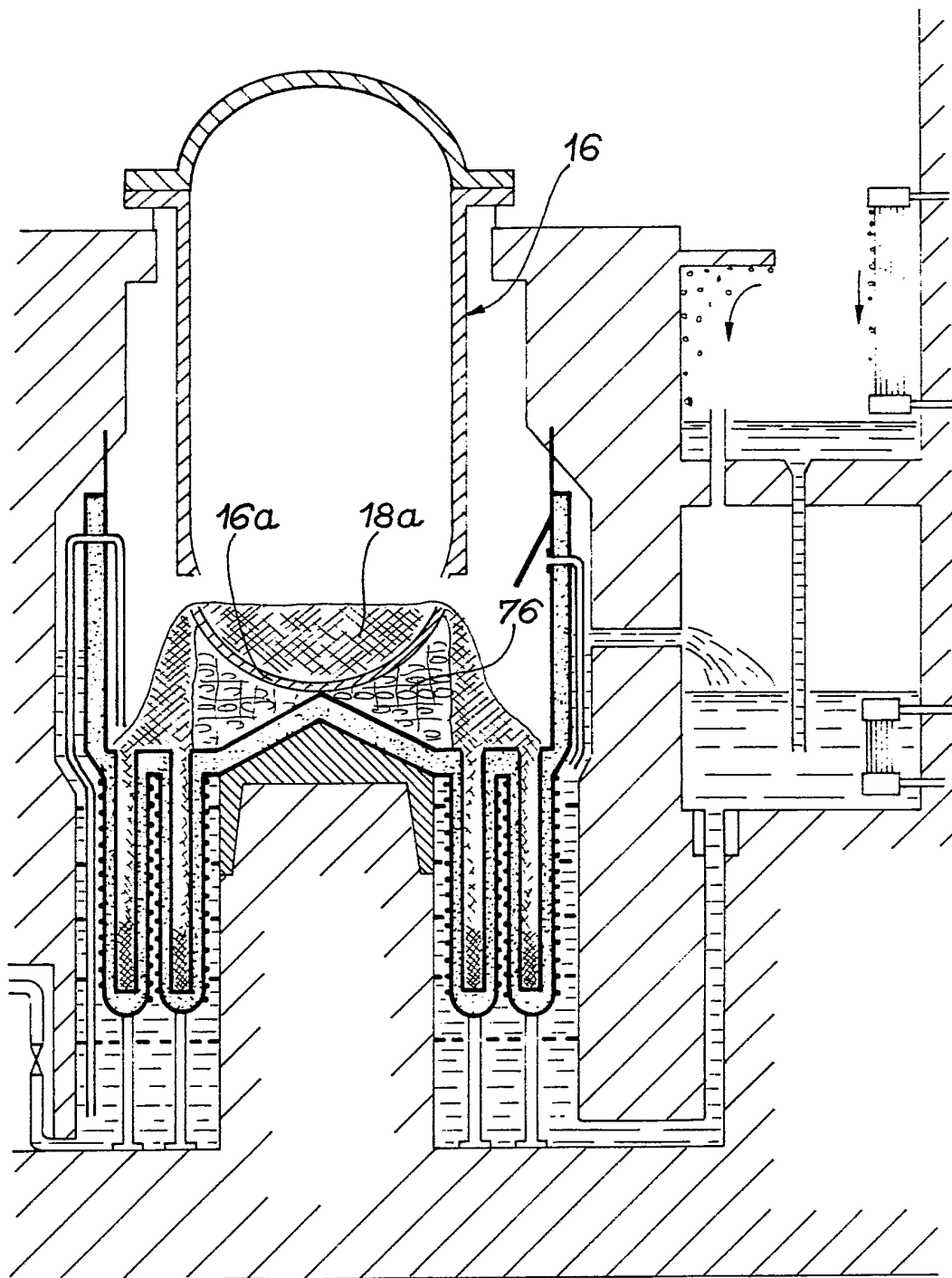


FIG. 4 D

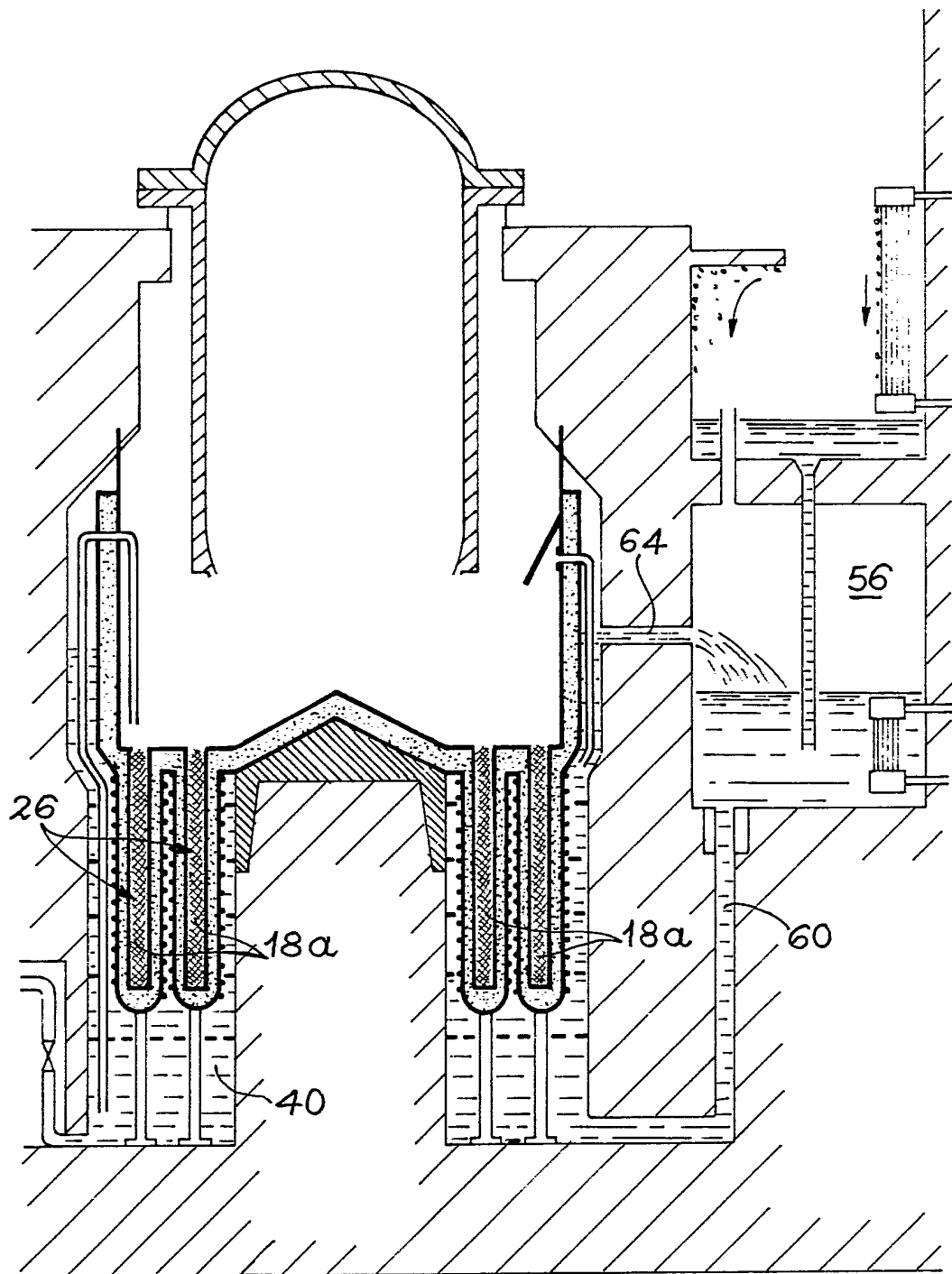


FIG. 4 E

9/10

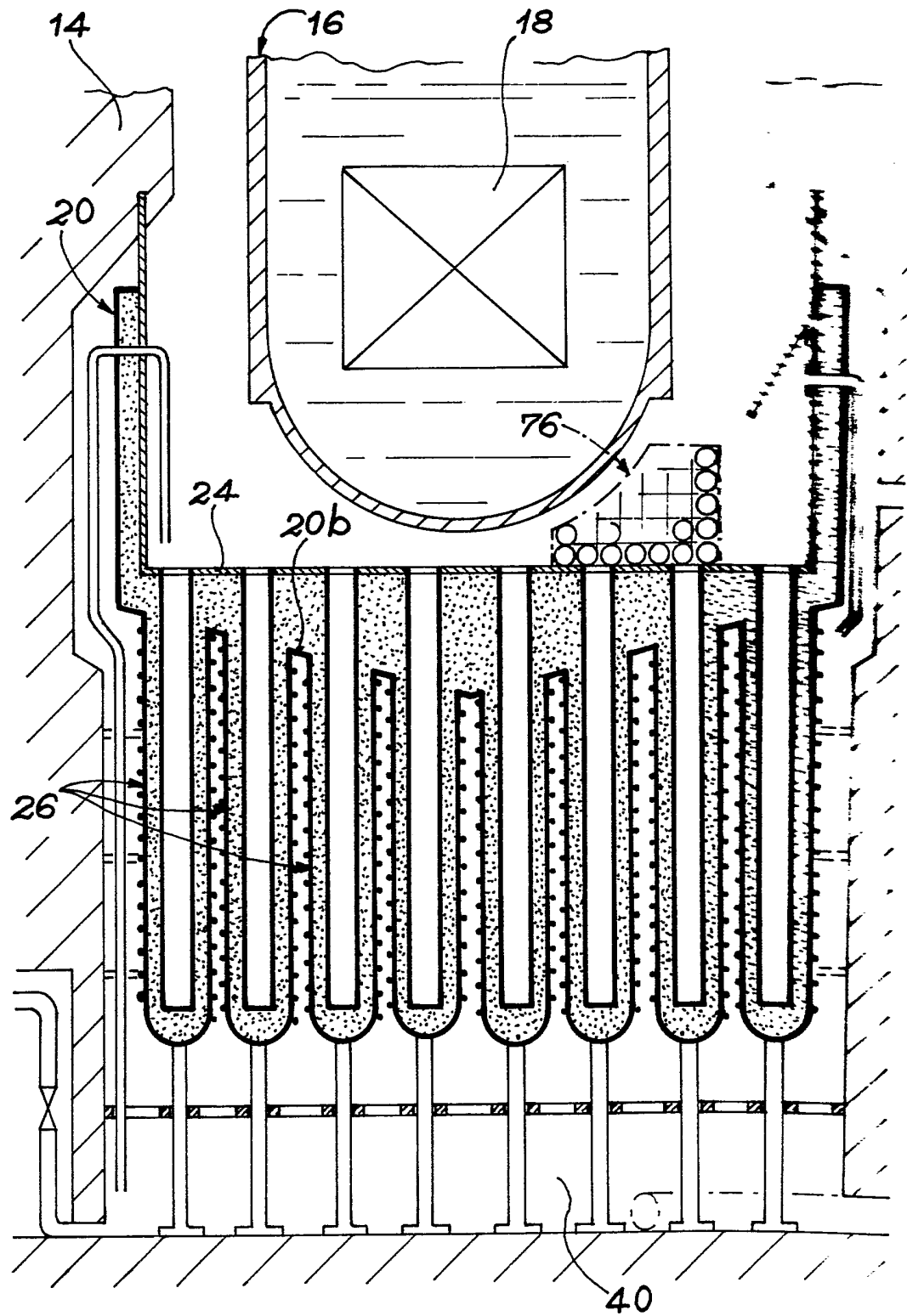


FIG. 5

10 / 10

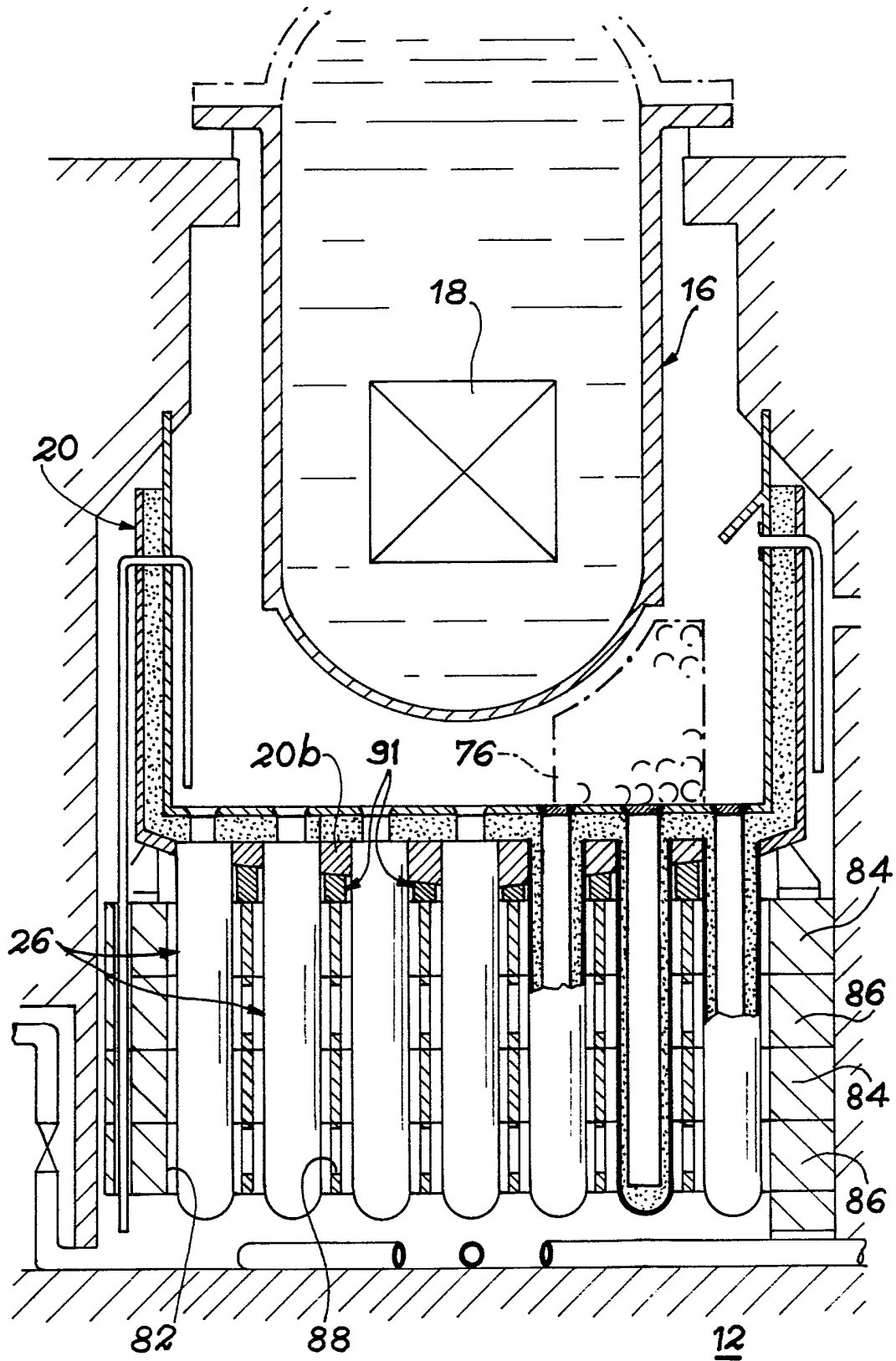


FIG. 6

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

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

N° d'enregistrement
national

FR 9113689
FA 465656

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	WO-A-8 500 921 (R & D ASSOCIATES) * page 7, ligne 10 - page 8, ligne 29; figures 1,2 * ---	1,2,4,6, 10,13, 14,18,22
A	US-A-4 045 284 (ROSEWELL) * colonne 2, ligne 25 - colonne 3, ligne 41; figures 1,2 * ---	1,3,4,6, 18-20
A	DE-A-3 711 480 (FLEISCHMANN, WERNER) * colonne 3, ligne 7 - colonne 4, ligne 41; figures 1-4 * ---	1,3-5,11
A	DE-A-2 459 339 (KRAFTWERK UNION AG) * page 4, alinéa 2 - page 6; figures 1,2 * -----	1-3,22
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		G21C
Date d'achèvement de la recherche 07 JUILLET 1992		Examineur JANDL F.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		