(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 555 794**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **83 18822**

(51) Int Cl⁴ : G 21 C 15/18.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) Date de dépôt : 25 novembre 1983.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 22 du 31 mai 1985.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : *COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE (Etablissement de Caractère Scientifique, Technique et Industriel) et ELECTRICITE DE FRANCE (Service National).* — FR.

(72) Inventeur(s) : Gilbert Arène, Patrick Jogand et Jean Masse.

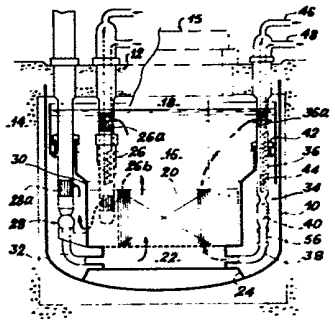
(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Brevatome.

(54) Réacteur nucléaire à neutrons rapides équipé de moyens de refroidissement de secours.

(57) L'invention concerne un réacteur à neutrons rapides équipé de moyens de refroidissement de secours 34.

Ces moyens 34 comprennent un échangeur auxiliaire 36 suspendu à la dalle 12 obturant la cuve 10 contenant le cœur 20 du réacteur, et une conduite 38 reliant directement la sortie de l'échangeur 36 au sommier 22 d'alimentation du cœur. Un clapet 40 est disposé dans la conduite 38. Ce clapet est normalement fermé sous l'effet de la pression régnant dans le sommier 22. Le clapet 40 s'ouvre automatiquement lorsque la pression dans le sommier chute en raison d'un arrêt des pompes primaires 28. L'ensemble échangeur 36 clapet 40 peut être démonté grâce à l'incorporation dans la conduite 38 d'un tronçon 56 autorisant simultanément une certaine dilatation différentielle entre les composants.



FR 2 555 794 - A1

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

2555794

La présente invention a pour objet un réacteur nucléaire à neutrons rapides comprenant des moyens de refroidissement de secours du coeur du réacteur. Ces moyens de refroidissement de secours permettent d'évacuer la puissance résiduelle dégagée par le coeur lorsqu'un incident de fonctionnement provoque l'arrêt des pompes primaires qui assurent normalement la circulation du métal liquide entre le coeur du réacteur et les échangeurs de chaleur principaux du circuit primaire.

Dans les réacteurs nucléaires à neutrons rapides, le coeur du réacteur est immergé dans une cuve remplie de métal liquide et repose sur le fond de cette cuve par l'intermédiaire d'un sommier servant également à alimenter le coeur en métal liquide. Un tel réacteur comprend de plus un certain nombre d'échangeurs de chaleur principaux servant à transférer au fluide circulant dans les différentes boucles du circuit secondaire la chaleur véhiculée par le métal liquide circulant dans le circuit primaire, ainsi qu'un certain nombre de pompes primaires assurant la circulation du métal liquide contenu dans le circuit primaire entre le sommier d'alimentation, le coeur du réacteur et les échangeurs principaux.

On classe généralement les réacteurs nucléaires à neutrons rapides en deux types appelés "réacteurs intégrés et "réacteurs à boucle", selon que les pompes et les échangeurs sont placés à l'intérieur de la cuve contenant le coeur du réacteur ou qu'une partie du circuit primaire est située hors de la cuve. On notera dès à présent que l'invention s'applique indifféremment à l'un et à l'autre de ces deux types de réacteurs.

Lorsqu'un incident de fonctionnement provoque l'arrêt des pompes primaires dans un tel réacteur, la réaction de fission est immédiatement arrêtée par

la commande automatique de la chute de barres absorbantes dans le coeur du réacteur. Toutefois, celui-ci dégage encore une puissance calorifique résiduelle importante qu'il convient d'éliminer de façon sûre et efficace, afin d'éviter une fusion locale du coeur. A cet effet, il est connu de prévoir des moyens de refroidissement de secours du coeur du réacteur comprenant au moins un échangeur de chaleur auxiliaire disposé dans la cuve du réacteur.

Les dispositifs utilisés à cet effet dans les réacteurs du type à circuit intégré mettent en oeuvre une circulation par les échangeurs et les pompes, conduisant à faire circuler du sodium froid du bas vers le haut, ce qui est défavorable à l'instauration d'une circulation en convection naturelle ; et dans le cas des réacteurs du type à boucles il est nécessaire de créer un by-pass du circuit extérieur, entre la zone chaude et la zone froide, pour permettre la convection naturelle à l'intérieur du coeur. Enfin, un certain nombre des dispositifs existants sont tels qu'il se produit en fonctionnement normal, un by-pass du collecteur froid vers la partie du métal liquide circulant dans le circuit primaire ne passe pas dans le coeur du réacteur, ce qui conduit à diminuer le rendement du réacteur.

La présente invention a précisément pour objet un réacteur nucléaire à neutrons rapides équipé de moyens de refroidissement de secours simples et peu encombrants, permettant le retour direct du sodium froid au sommier d'alimentation des assemblages, ne comportant aucune zone contraire à la circulation du métal liquide en convexion naturelle et permettant cependant un démontage des échangeurs auxiliaires nécessaire à leur maintenance.

A cet effet et conformément à l'invention, il est proposé un réacteur nucléaire à neutrons rapi-

des comprenant une cuve remplie de métal liquide, ladite cuve contenant le coeur du réacteur et un sommier d'alimentation et de supportage disposé en dessous du coeur, et un circuit d'évacuation de la chaleur comprenant au moins un échangeur de chaleur principal, au moins une pompe pour faire circuler normalement le métal liquide successivement dans le sommier d'alimentation, dans le coeur et dans l'échangeur, et des moyens de refroidissement de secours du coeur du réacteur, comprenant au moins un échangeur de chaleur auxiliaire disposé dans la cuve du réacteur.

Selon l'invention, un tel réacteur est caractérisé en ce que les moyens de refroidissement de secours comprennent de plus une conduite par laquelle au moins un orifice de sortie de l'échangeur auxiliaire est relié directement au sommier d'alimentation et un clapet normalement fermé monté dans ladite conduite, ce clapet étant sensible à la pression régnant dans le sommier pour s'ouvrir automatiquement lors de l'arrêt de ladite pompe, de façon à établir une circulation naturelle de métal liquide successivement dans le sommier, dans le coeur et dans l'échangeur auxiliaire.

Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, la cuve est obturée par une dalle à laquelle sont suspendus verticalement l'échangeur auxiliaire et une partie sensiblement verticale de la conduite, cette partie verticale de la conduite étant prolongée vers le bas par un tronçon de conduite dont l'extrémité supérieure est reliée à une liaison rotulante autorisant un débattement angulaire de l'axe du tronçon par rapport à la verticale, l'extrémité inférieure dudit tronçon de conduite étant reliée de façon démontable à un berceau de centrage formé sur une autre partie de la conduite prolongeant jusqu'au sommier la-

dite partie verticale, de façon à permettre le démontage de l'échangeur auxiliaire.

De préférence, le clapet est alors logé dans une zone de la partie verticale de la conduite située au-dessus dudit tronçon.

Afin de permettre un ajustement précis du seuil d'ouverture du clapet, celui-ci est de préférence creux et rempli de gaz inerte sous pression.

Des moyens de butée peuvent en outre être prévus entre le clapet et la conduite pour assurer un passage minimum de métal liquide dans la conduite lorsque le clapet est ouvert.

On décrira maintenant, à titre d'exemple non limitatif, un mode de réalisation préféré de l'invention en se référant aux dessins annexés dans lesquels ;

- la figure 1 est une vue en coupe verticale schématique de la chaudière d'un réacteur à neutrons rapides équipé d'un dispositif de refroidissement de secours conformément à l'invention, et

- la figure 2 est une vue en coupe à plus grande échelle, partiellement écorchée, d'un échangeur auxiliaire et d'une partie et de la conduite reliant la sortie de cet échangeur au sommier d'alimentation du coeur du réacteur, conformément à l'invention, une partie de la conduite étant représentée à plus grande échelle sur la partie droite de la figure.

On a représenté de façon schématique sur la figure 1 un réacteur nucléaire à neutrons rapides de type intégré réalisé conformément aux enseignements de la présente invention.

De façon classique, le réacteur de la figure 1 comprend une cuve principale cylindrique 10, d'axe vertical, obturée à son extrémité supérieure par une dalle de fermeture horizontale 12. La cuve 10 est sus-

pendue à la dalle 12, qui repose elle-même par sa périphérie sur une enceinte de béton 14, généralement appelée puits de cuve, dans laquelle est logée la cuve 10. La dalle 12 est munie en son centre d'un système de bouchons tournants 15 supportant de façon connue l'appareillage de manutention des assemblages constituant le coeur, ainsi que l'instrumentation servant à contrôler le fonctionnement du réacteur.

La cuve 10 est remplie d'un métal liquide 16, généralement constitué par du sodium, surmonté d'un ciel de gaz neutre 18, tel que de l'argon.

Le coeur 20 du réacteur est noyé dans le sodium liquide 16 et il repose sur le fond de la cuve 10 par l'intermédiaire d'un sommier 22 d'alimentation et de supportage et d'un platelage 24. Le coeur 20 est disposé pratiquement au centre de la cuve 10, sous le système de bouchons tournants 15.

Conformément à la technique connue des réacteurs à neutrons rapides de type intégré, un certain nombre d'échangeurs de chaleur principaux 26 et de pompes primaires 28 baignent également dans le sodium 16 à l'intérieur de la cuve principale 10. Comme l'illustre la figure 1, ces composants sont généralement suspendus à la dalle de fermeture 12 et disposés dans la zone périphérique située entre le coeur et la paroi verticale de la cuve. Bien qu'on n'ait représenté qu'une seule pompe et qu'un seul échangeur sur la figure 1, afin de ne pas compliquer la compréhension de celle-ci, on sait qu'il existe généralement plusieurs composants de chaque type dans un même réacteur.

Toujours de façon connue, une cuve interne 30 est disposée dans la cuve 10 afin de séparer le sodium chaud sortant du coeur 20 du sodium froid rejeté par les échangeurs 26. Les échangeurs 26 ainsi que les pompes 28 traversent cette cuve interne 30, de

telle sorte que les orifices d'entrée 26a des échangeurs soient situés au-dessus de la cuve interne, alors que les orifices de sortie 26b des échangeurs et les orifices d'aspiration 28a des pompes sont situés en-dessous de la cuve interne. De plus, l'orifice de refoulement axial de chacune des pompes 28 est relié directement au sommier 22 par une conduite 32.

Comme l'illustrent les flèches représentées en traits pleins sur la figure 1, le fonctionnement des pompes 28 permet de refouler dans le sommier 22 le sodium froid prélevé en-dessous de la cuve 30, puis de faire circuler le sodium de bas en haut dans le coeur 20 du réacteur, ce qui a pour effet de le réchauffer, et enfin de faire circuler le sodium ainsi réchauffé à l'intérieur des échangeurs 26, afin de transférer la chaleur accumulée lors de la traversée du coeur à un fluide secondaire, qui est également constitué par du sodium dans la plupart des cas.

La description qui précède ne prétend pas être une description complète et détaillée d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides de type intégré. En effet, les réacteurs de ce type sont bien connus et ont donné lieu à de nombreuses publications telles que celles qui concernent les réacteurs français Phénix et Super Phénix, de sorte que, pour plus de détails, on se reportera à ces publications (ENERGIE NUCLEAIRE, vol. 13, Pages 167 à 256, mai-juin 1971 - BIST N° 182, juin 1973).

Par ailleurs, il est rappelé que l'invention n'est pas limitée à un réacteur nucléaire à neutrons rapides de type intégré tel que représenté schématiquement sur la figure 1 et peut également être utilisé dans un réacteur à neutrons rapides de type à boucle, dans lequel les échangeurs et les pompes sont disposés hors de la cuve principale 10 et reliés à celle-ci par des conduites appropriées.

Dans ces deux types de réacteurs à neutrons rapides, tout incident provoquant l'arrêt des pompes primaires a pour conséquence immédiate la chute automatique de barres absorbantes (non représentées) dans le coeur 20 du réacteur. Une puissance calorifique résiduelle importante continue toutefois à être émise par le coeur, de sorte qu'il est nécessaire d'assurer simultanément une circulation du sodium liquide 16 dans le coeur 20 et un refroidissement du sodium sortant du coeur, ces deux opérations devant autant que possible être réalisées automatiquement et sans l'appoint d'aucune énergie extérieure dès l'arrêt des pompes primaires.

Comme l'illustre très schématiquement la figure 1, ce résultat est obtenu conformément à l'invention en prévoyant à l'intérieur de la cuve 10 un ou plusieurs dispositifs 34 de refroidissement de secours du coeur du réacteur. Chaque dispositif 34 comprend un échangeur de chaleur auxiliaire 36, une conduite 38 reliant l'orifice de sortie de l'échangeur au sommier 22 et un clapet 40 disposé dans la conduite 38.

Comme les échangeurs 26 et comme les pompes 28, chaque échangeur 36 est suspendu à la dalle 12 et disposé verticalement dans l'espace annulaire défini entre la périphérie du coeur 20 et la partie cylindrique de la cuve 10. L'échangeur 36 traverse également la cuve interne 30 et comporte des orifices d'entrée 36a disposés au-dessus de celle-ci, afin de permettre l'entrée dans l'échangeur du sodium primaire chaud sortant du coeur du réacteur.

Comme le montre plus en détail la figure 2, l'étanchéité de la traversée de la cuve interne 30 par la virole externe 36b de l'échangeur 36 est obtenue de façon bien connue au moyen d'un système d'étanchéité 42 à cloche d'argon.

On voit aussi sur la figure 2 que le circuit secondaire de l'échangeur auxiliaire 36 est constitué par un faisceau de tubes hélicoïdaux tels que 44 qui baignent dans le sodium primaire circulant dans la virole 36b. Comme dans les échangeurs principaux, les tubes 44 sont reliés à des collecteurs d'entrée et de sortie (non représentés) situés au-dessus de la dalle 12, dans lesquels débouchent des conduites 46 et 48 (figure 1) d'un circuit secondaire de refroidissement de secours équipé de façon connue de moyens de refroidissement (non représentés) du fluide secondaire tel que du sodium circulant dans les tubes 44.

La conduite 38 comporte une partie sensiblement verticale prolongeant vers le bas la virole 36b de l'échangeur auxiliaire, un coude et une partie sensiblement horizontale débouchant dans le sommier 22.

De façon plus précise, la partie verticale de la conduite 38 comporte, immédiatement en-dessous de l'orifice de sortie axial de l'échangeur auxiliaire 36, une zone 50 dans laquelle est logé le clapet 40. Le diamètre de la conduite 38 dans cette zone 50 est sensiblement plus grand que le diamètre externe du clapet 40, afin de permettre un écoulement important de sodium dans la conduite lorsque le clapet occupe une position basse d'ouverture représentée en traits pleins sur la figure 2. La zone 50 est raccordée à l'extrémité inférieure de la virole 36b par une partie de plus petit diamètre 52, dont le diamètre est au contraire légèrement inférieur au diamètre externe maximum du clapet 40, de telle sorte qu'il définit pour celui-ci un siège de valve sur lequel il est normalement en appui comme on l'a représenté en traits pointillés sur la figure 2.

Le clapet 40 est de forme sensiblement sphérique et caréné en forme d'ogive à ses extrémités su-

périeure et inférieure pour faciliter l'écoulement du sodium lorsqu'il est en position basse.

Il est à noter que le clapet 40 est constitué de préférence par une enceinte remplie de gaz neutre sous pression, par exemple hélium, argon, de telle sorte qu'il se comporte comme un flotteur à l'intérieur de la zone 50. La pression du gaz à l'intérieur du clapet est déterminée en fonction de la pression régnant dans le sommier 22 du réacteur, de telle sorte que le clapet soit plaqué vers le haut contre son siège 52 lorsque les pompes 28 sont en fonctionnement et qu'il s'écarte automatiquement de son siège vers la position basse représentée en traits pleins sur la figure 2 lorsque les pompes primaires sont arrêtées.

Bien que l'équilibre des pressions dans cette dernière position soit conçu de telle sorte que le clapet 40 reste normalement dans la position représentée en traits pleins, la circulation du sodium en convexion naturelle selon les flèches représentées en traits mixtes sur la figure 1 qui s'établit alors, peut avoir pour effet de faire descendre le clapet 40 en-dessous de la position représentée, ce qui conduirait à obturer la conduite 38 et rendrait donc le dispositif de refroidissement de secours selon l'invention inefficace. Afin d'empêcher qu'une telle obturation ne se produise, des moyens tels que des béquilles 54 sont prévues soit sur le plongeur 40 comme représenté, soit dans la partie inférieure tronconique de la zone 50, afin d'assurer à tout moment un passage minimum entre cette partie inférieure tronconique de la zone 50 et le clapet 40.

La description qui précède fait apparaître qu'en fonctionnement normal, le clapet 40 est plaqué contre son siège 52, de telle sorte qu'aucune circulation de sodium primaire ne se produit alors dans

l'échangeur auxiliaire 36 et dans la conduite 38. Toute perte de rendement du réacteur qui en résulte est ainsi évitée.

En revanche, lorsqu'à la suite d'un incident les pompes primaires 28 s'arrêtent, la baisse de pression qui en résulte dans le sommier 22 a immédiatement pour effet de faire descendre le clapet 40 à l'intérieur de la zone 50, ouvrant ainsi la conduite 38. Une circulation du sodium primaire à l'intérieur de l'échangeur auxiliaire 36 est ainsi établie. Comme on l'a représenté en traits mixtes sur la figure 1, cette circulation permet au sodium de circuler de bas en haut depuis le sommier 22 jusqu'aux orifices d'entrée 36a des échangeurs auxiliaires, puis de haut en bas à l'intérieur des échangeurs 36 et dans la conduite 38. Le refroidissement automatique du sodium primaire est ainsi réalisé grâce au fluide circulant dans les tubes 44.

Pour tenir compte des dilatations différentielles qui peuvent se produire entre l'échangeur auxiliaire 36 et la partie horizontale de la conduite 38 débouchant dans le sommier 22 et aussi afin de permettre la maintenance de l'échangeur auxiliaire et du clapet, on prévoit de préférence une liaison souple et démontable entre l'extrémité inférieure de la zone 50 de la conduite dans laquelle est logé le clapet 40 et le coude formé par la conduite 38. Cette liaison est réalisée au moyen d'un tronçon de conduite 56 suspendu par une liaison rotulante 58 à l'extrémité inférieure de la zone 50 et dont l'extrémité inférieure vient se loger de façon étanche et démontable dans un berceau de centrage 60 formé à l'extrémité supérieure de la partie de la conduite fixée au sommier 22. La liaison rotulante 58 permet à l'axe du tronçon de conduite 56 de s'éloigner de la verticale si les dilatations dif-

férentielles des composants du réacteur l'exigent. Le berceau 60 permet le démontage et la maintenance de l'échangeur 36 et du clapet 40.

Pour en faciliter la compréhension, des exemples de réalisation de la liaison rotulante 58 et du berceau de centrage 60 sont représentés à plus grande échelle sur la partie droite de la figure 2.

Ainsi, on voit sur cette partie de la figure 2 que le tronçon de conduite 56 est suspendu à l'extrémité inférieure de la zone 50 par l'intermédiaire de deux axes horizontaux 62 et 64 perpendiculaires entre eux définissant une liaison du type cardan, l'étanchéité étant obtenue par ailleurs au moyen de segments 66.

De même, on voit sur la partie droite de la figure 2 que le tronçon de conduite 56 porte à son extrémité inférieure une couronne de centrage 68 apte à coopérer avec une pièce de centrage 70 afin de centrer l'extrémité inférieure du tronçon de conduite 56 dans le berceau 60 lorsque le tronçon 56 est mis en place. Ici encore, l'étanchéité est obtenue au moyen de segments 72 ou de tout autre dispositif équivalent tel que des couronnes à labyrinthe ou des bourrelets annulaires.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation qui vient d'être décrit à titre d'exemple, mais en couvre toutes les variantes. En particulier, bien que la disposition du clapet 40 qui vient d'être décrite permette d'en réaliser la maintenance en même temps que celle de l'échangeur auxiliaire 36, cette disposition pourrait être modifiée, le clapet pouvant être placé en tout autre endroit à l'intérieur de la conduite 38. De même, bien que le tronçon 56 permettant d'assurer le démontage de l'échangeur corresponde à une réalisation préférée de

l'invention, ce tronçon pourrait être supprimé et remplacé par une partie rotulante non démontable, une zone démontable pouvant notamment être prévue au niveau de l'extrémité inférieure de l'échangeur.

REVENDICATIONS

1. Réacteur nucléaire à neutrons rapides comprenant une cuve (10) remplie de métal liquide, ladite cuve contenant le coeur (20) du réacteur et un sommier (22) d'alimentation et de supportage disposé en-dessous du coeur et un circuit d'évacuation de la chaleur comportant au moins un échangeur de chaleur principal (26), au moins une pompe (28) pour faire circuler normalement le métal liquide successivement dans le sommier d'alimentation, dans le coeur et dans l'échangeur de chaleur, et des moyens de refroidissement de secours (34) du coeur du réacteur, comprenant au moins un échangeur de chaleur auxiliaire (36) disposé dans la cuve du réacteur, caractérisé en ce que les moyens de refroidissement de secours (34) comprennent de plus une conduite (38) par laquelle un orifice de sortie de l'échangeur auxiliaire (36) est relié directement au sommier d'alimentation (22) et un clapet (40) normalement fermé monté dans ladite conduite, ce clapet étant sensible à la pression régnant dans le sommier pour s'ouvrir automatiquement lors de l'arrêt de ladite pompe (28), de façon à établir une circulation naturelle de métal liquide successivement dans le sommier, dans le coeur et dans l'échangeur auxiliaire.

2. Réacteur nucléaire selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite cuve (10) est obturée par une dalle (12) à laquelle sont suspendus verticalement l'échangeur auxiliaire (36) et une partie sensiblement verticale de la conduite (38), cette partie verticale de la conduite étant prolongée vers le bas par un tronçon de conduite (56) dont l'extrémité supérieure est reliée à une liaison rotulante (58) autorisant un débattement angulaire de l'axe du tronçon par rapport à la verticale, l'extré-

mité inférieure dudit tronçon de conduite étant reçue de façon démontable dans un berceau de centrage (60) formé sur une autre partie de la conduite prolongeant jusqu'au sommier ladite partie verticale, de façon à permettre le démontage de l'échangeur auxiliaire (36).

3. Réacteur nucléaire selon la revendication 2, caractérisé en ce que le clapet (40) est logé dans une zone (50) de ladite partie verticale de la conduite située au-dessus dudit tronçon de conduite (56).

4. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le clapet (40) est creux et rempli de gaz inerte sous pression.

5. Réacteur nucléaire selon la revendication 4, caractérisé en ce que des moyens de butée (54) sont prévus entre le clapet (40) et la conduite (38) pour assurer un passage minimum de métal liquide dans la conduite lorsque le clapet est ouvert.

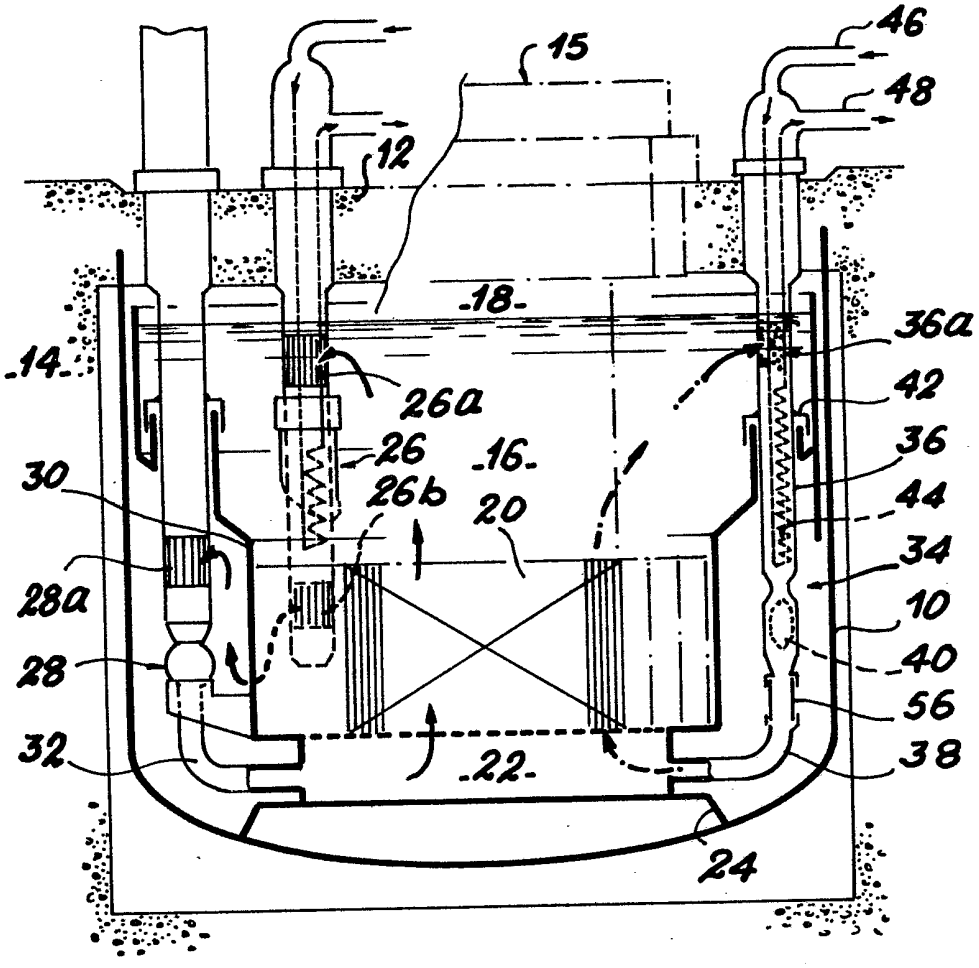

46
15
48
12
18
14
36a
26a
42
26
16
36
30
26b
20
44
34
28a
10
28
40
56
32
22
38
24

FIG.1

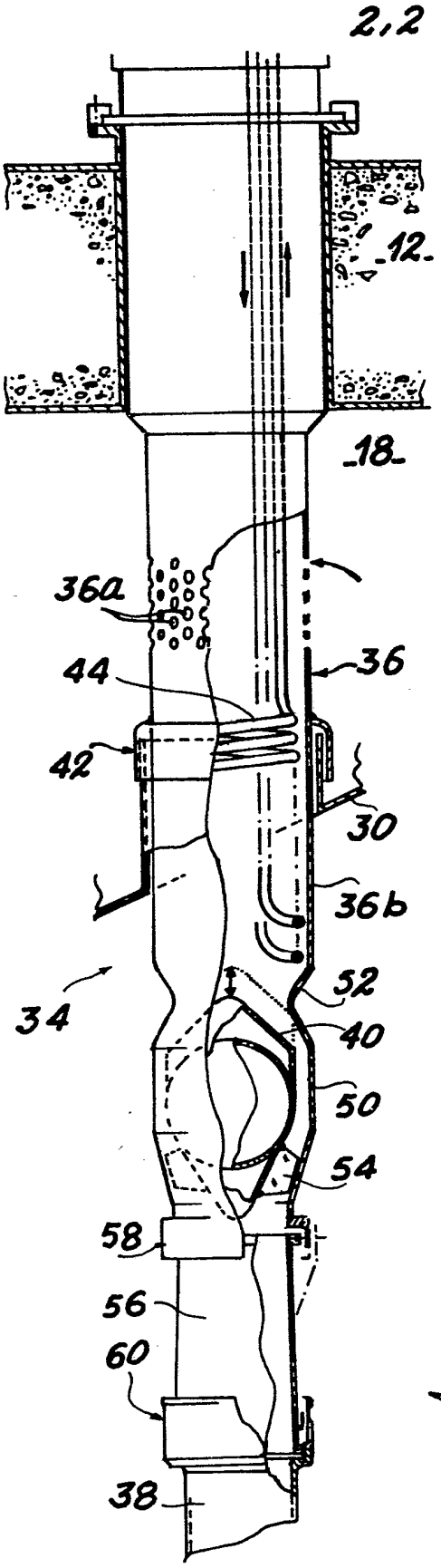
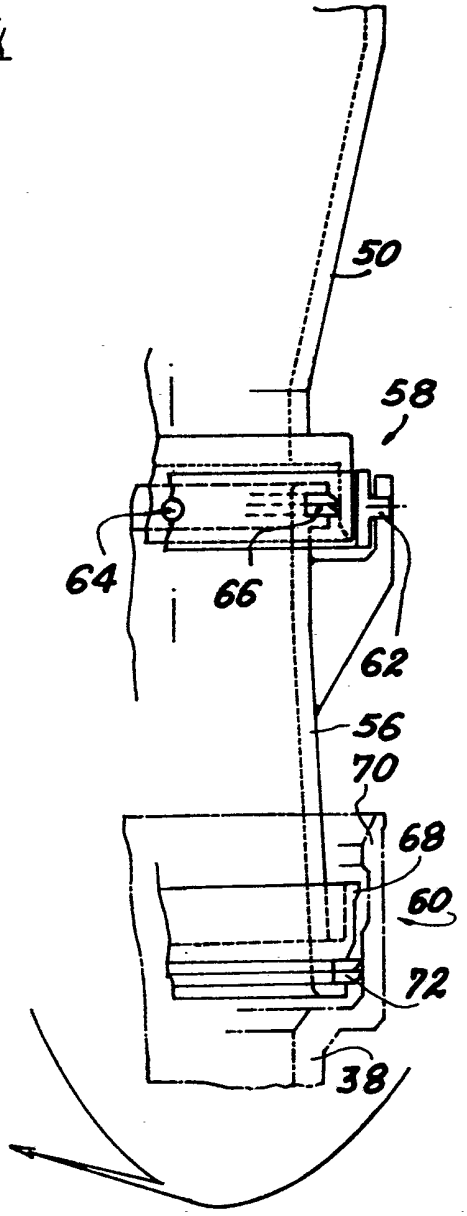

22
12
18
36a
44
36
42
30
36b
34
52
40
50
54
58
56
60
38

FIG. 2


50
58
64
66
62
56
70
68
60
72
38