

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 29 octobre 1982.

③③ Priorité

④③ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 18 du 4 mai 1984.

⑥③ Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦① Demandeur(s) : *NOVATOME, société anonyme.* — FR.

⑦② Inventeur(s) : Jean-Jacques Dumay et Claude Malaval.

⑦③ Titulaire(s) :

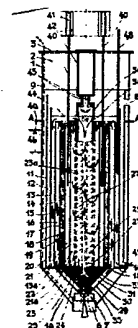
⑦④ Mandataire(s) : Lucien Bouget.

⑤④ Dispositif de purification du métal liquide de refroidissement d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides.

⑤⑦ L'invention concerne un dispositif de purification du métal liquide de refroidissement d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides par piègeage à froid des impuretés.

Le dispositif comporte une pompe 6 de mise en circulation du métal liquide, des moyens de refroidissement du métal à épurer et des moyens de réchauffage du métal épuré ainsi qu'un filtre 24 en fibres métalliques. Il est constitué par un ensemble de chambres annulaires à axe vertical fermées à leur partie inférieure par une plaque de base 10 et délimitées et séparées les unes des autres par un ensemble d'enveloppes cylindriques métalliques coaxiales. Le dispositif comporte, de l'extérieur vers l'intérieur, une chambre de dégazage 12, une chambre renfermant un échangeur-économiseur 14, 16, une paroi d'isolation thermique 18, une chambre de refroidissement 20 et une chambre d'épuration 22 à la partie centrale de laquelle se trouve une cartouche filtrante 24. A la partie centrale de la cartouche 24 est ménagé un canal 25 de recueil du métal liquide épuré en communication avec un bassin de recueil 44 du métal liquide épuré surmontant le dispositif.

L'invention s'applique, en particulier, aux réacteurs nucléaires à neutrons rapides de type intégré, refroidis par du sodium liquide.



Dispositif de purification du métal liquide de refroidissement d'un
réacteur nucléaire à neutrons rapides.

L'invention concerne un dispositif de purification du métal liquide de refroidissement d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides.

Les réacteurs nucléaires à neutrons rapides utilisent généralement un métal liquide tel que le sodium comme fluide caloporteur. Pendant
5 le fonctionnement du réacteur, ce sodium liquide qui circule dans la cuve au contact du coeur et des différentes parties de l'équipement interne de la cuve du réacteur se charge d'impuretés telles que des oxydes, des hydrures dissous dans le sodium ou telles que des particules solides en suspension.

Il est donc nécessaire d'épurer le métal liquide caloporteur en
10 cours d'utilisation du réacteur.

On utilise généralement des dispositifs complexes permettant de prélever une partie du sodium liquide, de le refroidir et de le faire passer sur un filtre constitué par des fibres métalliques, par exemple en acier inoxydable. Les impuretés contenues par le métal liquide précipitent
15 préférentiellement sur les fibres métalliques du filtre si la température du métal liquide est suffisamment basse. On opère ainsi un piégeage à froid des impuretés.

De tels dispositifs permettant le piégeage à froid des impuretés comportent une pompe de mise en circulation du métal liquide, un échangeur
20 économiseur permettant d'assurer un transfert de chaleur entre le métal non épuré chaud et le métal épuré refroidi, un dispositif de refroidissement supplémentaire du métal liquide à épurer et une cartouche de filtration en fibres métalliques.

De tels dispositifs peuvent être immergés dans la cuve du réac-
25 teur, ces dispositifs sont alors dits intégrés, ou encore montés à l'extérieur de la cuve sur un circuit de métal liquide en dérivation et ces dispositifs sont alors dits dérivés.

De tels dispositifs ont été décrits par exemple dans les brevets français 2.246.942 et 2.395.570. Ces dispositifs ont une structure complexe
30 dans laquelle les différents éléments les constituant sont placés les uns au-dessus des autres dans la direction axiale du dispositif. La longueur de ces ensembles est donc relativement grande et lorsqu'on les dispose verticalement à l'intérieur d'une cuve de réacteur nucléaire à neutrons rapides, leur tenue aux contraintes externes, par exemple lors d'un séisme, peut s'avérer
35 insuffisante. Ces ensembles comportent de nombreuses tuyauteries de raccordement entre leurs différents organes.

Dans le cas du dispositif décrit dans le brevet 2.246.942, la cartouche filtrante constitue un ensemble mécanique comportant un tube central de circulation du sodium et un déversoir de sodium à sa partie supérieure.

Le dispositif décrit dans le brevet 2.395.570 comporte un circuit
5 de sodium extrêmement complexe comportant de nombreux éléments de raccordement tubulaires.

Dans le cas des deux dispositifs, le serpentin de refroidissement du sodium à épurer est d'autre part incorporé au dispositif de façon que son démontage est difficile à réaliser et qu'il se trouve contaminé par le
10 sodium à épurer venant de la cuve contenant le coeur du réacteur.

En cas de fuite sur ce serpentin de refroidissement, son démontage est malaisé et nécessite une opération complète de décontamination.

Les dispositifs connus de l'art antérieur sont donc complexes dans leur structure ; ceci accroît les coûts de réalisation et d'entretien
15 de ces dispositifs qui présentent d'autre part une grande longueur, de nombreuses tuyauteries de raccordement entre leurs organes et en conséquence une résistance aux sollicitations externes telles que celles dues aux séisme qui peut être insuffisante. Ces dispositifs sont également soumis à des contraintes d'origine thermique qui peuvent être importantes et qui nécessitent de prévoir des tuyauteries de liaison de forme spéciale (lyre).
20

Le but de l'invention est donc de proposer un dispositif de purification du métal liquide de refroidissement d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides, par piégeage à froid des impuretés, comportant une pompe de mise en circulation du métal liquide, des moyens de refroidissement du métal liquide à épurer et des moyens de réchauffage du métal liquide épuré
25 comprenant en particulier un échangeur économiseur assurant un transfert de chaleur entre le métal non épuré et le métal épuré, ainsi qu'un filtre en fibres métalliques pour le dépôt des impuretés, dispositif qui soit d'une structure simple et résistante facilitant la conception, la construction et l'entretien du dispositif et améliorant sa tenue aux contraintes d'origine
30 mécaniques ou thermiques.

Dans ce but, le dispositif de purification est constitué par un ensemble de chambres annulaires à axe vertical fermées à leur partie inférieure par au moins une plaque de base horizontale assurant la teneur mécanique et la fixation de l'ensemble, délimitées et séparées les unes des
35 autres par un ensemble d'enveloppes cylindriques métalliques coaxiales, le dispositif comportant de l'extérieur vers l'intérieur :
- une chambre de dégazage du métal purifié ouverte à sa partie supérieure,

- une chambre renfermant l'échangeur économiseur dont la partie recevant le métal liquide chaud non épuré est en communication à la partie inférieure de la chambre de l'échangeur économiseur avec la sortie de la pompe de circulation du métal liquide et dont la partie recevant le métal liquide épuré est en communication également à la partie inférieure de la chambre de l'échangeur économiseur avec la partie inférieure de la chambre de dégazage et avec un conduit de sortie du métal épuré,
- une paroi d'isolation thermique annulaire coaxiale aux chambres,
- une chambre de refroidissement remplie de métal liquide épuré et reliée à des moyens de refroidissement,
- une chambre de refroidissement et d'épuration du métal liquide en communication par sa partie supérieure avec la partie de l'échangeur économiseur où circule le métal non épuré refroidi et par sa paroi latérale interne, avec la surface latérale externe d'une cartouche filtrante annulaire coaxiale aux chambres,
- un canal central de recueil du métal liquide épuré, dirigé suivant l'axe de la cartouche filtrante en communication par son extrémité supérieure avec un bassin de recueil du métal liquide épuré surmontant le dispositif, limité extérieurement par l'enveloppe cylindrique interne de la chambre de dégazage et en communication avec la partie de l'échangeur économiseur par où pénètre le métal liquide épuré.

Afin de bien faire comprendre l'invention, on va maintenant décrire à titre d'exemples non limitatifs, plusieurs modes de réalisation de dispositifs de purification du métal liquide de refroidissement d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides.

La figure 1 représente, dans une vue en coupe par un plan vertical de symétrie, un dispositif de purification selon l'invention, de type intégré, comportant un échangeur économiseur selon un premier mode de réalisation.

La figure 1a représente une demi-vue en coupe suivant A de la figure 1.

La figure 1b représente une vue en perspective d'une portion de la partie supérieure du dispositif de purification, au niveau d'une sortie d'un dispositif de refroidissement.

La figure 1c représente une coupe suivant C de la figure 1b.

La figure 1d représente une coupe suivant D de la figure 1b.

La figure 2 représente dans une vue en coupe par un plan vertical de symétrie un dispositif de purification suivant l'invention, de type déri-

vé, comportant un échangeur économiseur suivant un second mode de réalisation.

La figure 3 représente dans une vue en coupe par un plan vertical de symétrie un dispositif de purification suivant l'invention comportant un
5 échangeur économiseur suivant un troisième mode de réalisation.

La figure 3a est une demi-vue en coupe suivant A de la figure 3.

La figure 4 est une vue en coupe par un plan vertical de symétrie d'un dispositif de purification comportant un échangeur économiseur suivant un quatrième mode de réalisation.

10 La figure 4a est une demi-vue en coupe suivant A de la figure 4.
La figure 5 est une vue en perspective d'un dispositif de refroidissement externe d'un dispositif de purification suivant l'invention.

La figure 6a est une vue en coupe de la partie inférieure d'un dispositif de purification montrant une première variante d'exécution de la
15 partie inférieure des chambres et du moyen de pompage relié à l'entrée de l'échangeur économiseur.

La figure 6b est une vue en coupe par un plan vertical de symétrie de la partie inférieure d'un dispositif de purification suivant l'invention montrant une seconde variante d'exécution de la partie inférieure
20 des chambres et du moyen de pompage relié à l'entrée de l'échangeur économiseur.

La figure 7 représente, dans une vue en coupe par un plan vertical de symétrie, un dispositif de purification comparable au dispositif représenté à la figure 1 et comportant un moyen de pompage additionnel pour
25 le réglage du niveau de métal liquide dans le bassin de recueil du métal épuré.

Sur les figures 1, la et lb, on voit un dispositif de purification de type intégré comportant une enveloppe externe 1 reliée à sa partie supérieure à un bouchon 2 dont le flasque supérieur 3 vient reposer sur la
30 dalle fermant la cuve du réacteur lorsque le dispositif est introduit dans la cuve par un trou traversant la dalle dont l'épaisseur correspond sensiblement à l'épaisseur du bouchon 2. La partie inférieure de l'enveloppe 1 renfermant le dispositif de purification proprement dit pénètre alors sous le niveau 4 du sodium liquide remplissant la cuve. En réalité, le niveau 4
35 peut se déplacer entre le niveau maximum 4a et le niveau minimum 4b. L'enveloppe 1 comporte une partie inférieure tronconique la entourant la partie inférieure du dispositif de purification. Cette partie du dispositif de purification comporte une pompe-débitmètre 6-7 assurant le pompage du sodium

à épurer dans la cuve du réacteur et le contrôle du débit de sodium pompé dans la cuve. Un tel ensemble pompe-débitmètre pour métal liquide, sans tuyauterie de raccord, fabriqué par la Société NOVATOME, permet de simplifier la réalisation de la partie inférieure du dispositif de purification.

5 L'enveloppe 1 est remplie de gaz inerte, par exemple de l'argon et communique avec l'argon de couverture de la cuve par une ouverture 8 en partie supérieure. Dans l'enveloppe 1 remplie d'argon passent les câbles 9 d'alimentation et de recueil du signal de la pompe-débitmètre 6-7.

10 Le dispositif de purification proprement dit disposé à l'intérieur de l'enveloppe 1 comporte une plaque de base 10 sur laquelle sont fixées les différentes viroles constituant les enveloppes des chambres annulaires coaxiales du dispositif de purification. La plaque de base 10 est fixée sur l'enveloppe 1 à sa périphérie au niveau de la jonction de la partie tronconique 1a.

15 Les viroles successives constituent à la fois la paroi externe d'une chambre et la paroi interne de la chambre adjacente. Toutes ces viroles sont coaxiales et disposées verticalement. Les deux premières viroles 11 et 13 délimitent une première chambre annulaire 12 qui est en communication par l'intermédiaire de découpes 13a dans la virole 13, au-dessus de la
20 plaque de base 10, avec la chambre suivante 14 délimitée par les viroles 13 et 15.

La chambre annulaire suivante 16 délimitée par les viroles 15 et 17 est en communication par des trous 10a ménagés dans la plaque 10 avec le
25 dispositif d'alimentation en métal liquide à épurer qui sera décrit ultérieurement.

La première chambre annulaire 12 est ouverte à sa partie supérieure et débouche dans l'atmosphère d'argon remplissant l'enveloppe 1.

Les viroles 17 et 19 ménagent un espace annulaire 18 rempli par un matériau réfractaire permettant l'isolation thermique de la partie
30 périphérique externe du dispositif de purification de la partie interne.

La première chambre annulaire 20 de la partie interne du dispositif de purification est délimitée par les viroles 19 et 21 alors que la chambre suivante 22 est délimitée par la virole 21 et par une virole 23 comportant un ensemble d'ouvertures 23a sur sa surface latérale. Ces ouvertures 23a permettent de mettre en communication la chambre 22, par l'intermédiaire de sa surface latérale interne 23, avec la surface latérale externe
35 25 également percée d'ouvertures, d'une cartouche filtrante 24 en fibres d'acier inoxydable.

La cartouche filtrante 24 est limitée à sa partie interne par une virole 27 percée d'ouvertures 27a et délimitant un canal 25 à la partie centrale du dispositif de purification, suivant l'axe vertical de celui-ci.

Les moyens d'alimentation en métal liquide à épurer du dispositif de purification comportent, en dehors de la pompe-débitmètre 6-7, une chambre d'alimentation 30 délimitée par des viroles tronconiques 29 et 31 et communiquant avec les trous 10a de la plaque de base 10.

A l'intérieur de la virole 31 est disposée une pièce calorifuge 33 comportant à sa partie intérieure un bouchon 35 percée d'ouvertures permettant la vidange du métal liquide remplissant le dispositif de purification, lorsqu'on soulève la cartouche filtrante 24.

La virole 27 limitant le canal central 25 est reliée à sa partie supérieure à une virole 34 comportant des ouvertures 34a et solidaire de la cartouche filtrante 24.

La virole 13 a son bord supérieur libre et constitue l'enveloppe externe d'un bassin de recueil du métal liquide épuré dans lequel débouchent les ouvertures 34a.

En se reportant aux figures 1 et la à 1d, on va maintenant décrire la partie supérieure du dispositif de purification montrant la façon dont sont reliées les différentes viroles constituant les chambres successives. Ces différentes viroles sont toutes disposées à l'intérieur de la virole 13 constituant l'enveloppe externe du bassin de recueil du fluide épuré.

Les viroles 15, 17, 21 et 23 délimitant respectivement les chambres 14 et 22 sont fixées à leur partie supérieure à une plaque horizontale annulaire 37 cependant que les viroles 17, 19 et 21 sont reliées à une plaque annulaire horizontale 38 à un niveau inférieur au niveau de la plaque 37.

La plaque 37 est percée d'ouvertures en forme de haricot dont la section est visible sur la figure 1a. Au niveau de ces ouvertures 37a, la plaque 38 est percée d'ouvertures 38a dont la section correspond à la section des ouvertures 37a coupées par le bord de la virole 19. Quatre cheminées 39 sont disposées au niveau de ces ouvertures et fixées aux viroles 17 et 21 et aux plaques 37 et 38. Ces cheminées 39 permettent d'avoir accès depuis le dessus à la chambre annulaire 20 dans laquelle plongent des caloducs 40 reliés à leur partie supérieure à un échangeur de chaleur externe 41.

Entre les cheminées 39, les plaques horizontales 37 et 38 délimi-

tent un passage pour le métal liquide de la chambre annulaire 16 à la chambre annulaire 22.

A sa partie centrale le bouchon du dispositif de purification supporte le bouchon de levage de la cartouche filtrante 42. Ce bouchon porte des pinces 44 à sa partie inférieure qui peuvent s'engager dans la partie intérieure de la virole 34 pour le levage de la cartouche filtrante et son démontage.

La virole 17 comporte une partie supérieure 17b constituant un soufflet permettant la dilatation longitudinale de cette virole.

Nous allons maintenant décrire le fonctionnement du dispositif de purification représenté à la figure 1 et aux figures 1a à 1d.

Le sodium liquide est aspiré dans la cuve par la pompe 6 dont le débit est mesuré par le débitmètre 7 de l'ensemble pompe-débitmètre et ce sodium liquide à épurer pénètre dans la chambre d'admission 30 entre les viroles tronconiques. Ce sodium à épurer pénètre ensuite dans la chambre annulaire 16 par les trous 10a de la plaque de base 10. Le sodium à épurer chaud parcourt la chambre 16 de bas en haut jusqu'à sa partie supérieure où il s'écoule à l'intérieur de la chambre annulaire de refroidissement et de purification 22.

La chambre annulaire 20 est remplie par du sodium liquide épuré à l'intérieur duquel plongent les caloducs 40. Le sodium à épurer pénétrant dans la chambre 22 par son extrémité supérieure entre donc en contact thermique par l'intermédiaire de la virole 21 avec le sodium refroidi par les caloducs 40. Ce sodium refroidi traverse alors les ouvertures 23a ménagées dans la surface latérale de la virole 23 et la cartouche filtrante 24 au contact des fibres métalliques de laquelle les impuretés se solidifient et se séparent du sodium liquide qui arrive épuré dans le canal de recueil 25 en communication par sa partie supérieure avec la virole 34, elle-même en communication par les ouvertures 34a avec le bassin de recueil 44 du sodium liquide épuré. Ce bassin de liquide épuré 44 est en communication à sa périphérie avec la chambre annulaire 14 dans laquelle le sodium épuré se déplace de haut en bas en contact avec la surface externe de la virole 15 dont la surface interne est en contact avec le métal liquide à épurer chaud parcourant la chambre annulaire 16 de bas en haut. Les chambres adjacentes 14 et 16 constituent dans ce mode de réalisation l'échangeur économiseur permettant le réchauffage du sodium épuré et le refroidissement du sodium à épurer avant son entrée dans la chambre 22 où un refroidissement supplémentaire du sodium liquide se produit au contact de la virole 21 refroidie par

le sodium remplissant la chambre 20.

La partie inférieure de la chambre 14 est mise en communication par les ouvertures 13a de la virole 13 avec la chambre de dégazage 12, si bien que les bulles de gaz éventuellement présentes dans le sodium épuré remontent dans la chambre 12 et s'éliminent dans la couverture gazeuse remplissant l'enveloppe 1.

La partie inférieure des viroles 13, 11 et de l'enveloppe 1 comportent également des ouvertures ménageant au moins un conduit 45 de sortie du métal épuré pour son recyclage dans la cuve du réacteur.

On a figuré par des flèches le sens de circulation du sodium à l'intérieur de tout le dispositif de purification.

La virole interne 21 de la chambre de refroidissement 20 comporte à sa partie inférieure une ouverture 21a de très petite dimension permettant la vidange du sodium épuré remplissant la chambre annulaire de refroidissement 20, par exemple pour l'entretien du dispositif de purification ou lors de son démontage.

Cette ouverture de vidange 21a de très petite dimension ne permet pas une circulation de sodium épuré du bassin 44 vers la chambre 22, avec un débit notable. Le sodium épuré remplissant la chambre de refroidissement est donc pratiquement statique.

Ainsi qu'il est visible sur la figure 1d, les jonctions entre les plaques 37 et 38, les viroles 17 et 21 et les cheminées 39 ne sont pas parfaitement étanches et permettent un certain déplacement relatif des viroles et des plaques. Cependant, cette étanchéité est suffisante pour empêcher l'introduction de sodium non épuré à l'intérieur de la chambre de refroidissement 20. Cette chambre contient donc en permanence un sodium statique ne renfermant pas d'impuretés.

Une sonde 48 plongeant dans le bassin de recueil 44 et dans la chambre 14 permet de contrôler le niveau du métal épuré dans le bassin 44. Les indications de cette sonde de niveau sont utilisées pour réguler le débit de la pompe 6 mesuré par le débitmètre 7.

Les caloducs 40 sont reliés à leur partie supérieure à un échangeur de chaleur 41 disposé au-dessus de la dalle. Cet échangeur est du type à refroidissement par air ou par eau.

La partie du dispositif de purification disposée à l'intérieur de la paroi d'isolation thermique 18 ne reçoit que du sodium refroidi puisque le sodium à épurer pénétrant à la partie supérieure de la chambre de purification 22 a circulé suivant toute la hauteur de la chambre 16 en contact

avec le sodium épuré refroidi circulant de haut en bas dans la chambre de sortie 14, les chambres annulaires adjacentes 14 et 16 constituant l'échangeur économiseur du dispositif de purification.

De même la chambre 20 contient du sodium refroidi à une température encore inférieure par les caloducs 40.

Au contraire, la partie du dispositif de purification disposée à l'extérieur de la paroi d'isolation thermique 18 reçoit du sodium chaud qui circule par exemple dans la chambre 16 en provenance de la cuve et dans le bas de la chambre de sortie 14 de la chambre de dégazage 12, le sodium épuré s'étant réchauffé dans l'échangeur économiseur au contact du sodium chaud circulant dans la chambre 16. Le sodium épuré ressort par le conduit 45 à une température voisine du sodium venant de la cuve et entrant dans la chambre d'admission 30.

La structure représentée sur la figure 1 permet une libre dilatation de toutes les viroles qui sont fixées sur la plaque de base 10 par une de leurs extrémités. Il en est ainsi des viroles coniques limitant la chambre d'admission 30 et des viroles cylindriques limitant les différentes chambres annulaires du dispositif de purification.

On voit en effet sur la figure 1b que les plaques 37 et 38 disposées à la partie supérieure des viroles cylindriques sont montées sur celles-ci par l'intermédiaire d'une liaison permettant des déplacements axiaux sous l'effet de la dilatation. La virole externe 17 de la paroi d'isolation thermique 18 en contact avec le sodium chaud de la chambre 16 comporte à sa partie supérieure un soufflet 17b qui permet d'absorber les déplacements relatifs dans la direction axiale de la plaque 38 et de la virole 17. C'est le seul soufflet de dilatation qui soit nécessaire dans l'ensemble du dispositif de purification.

La plaque 37 reliée de façon rigide à la virole 15 comporte une collerette de fermeture 47 visible sur les figures 1c et 1d permettant de la raccorder à la virole 23 avec une étanchéité suffisante, tout en permettant les déplacements axiaux relatifs de cette virole et de la plaque 37.

Sur la figure 2, on voit un dispositif de purification pratiquement identique au dispositif représenté à la figure 1 et placé en dérivation sur un réservoir 50 recevant à sa partie inférieure 50a du sodium à épurer par une conduite 51 et recevant en retour le sodium épuré dans sa partie 50b.

On ne fera pas une description complète du dispositif de purification dont les éléments identiques à ceux déjà décrits en se référant à la

figure 1 portent les mêmes repères.

A la différence du dispositif décrit en se référant à la figure 1, le dispositif de la figure 2 ne comporte pas d'enveloppe externe 1 et reçoit le sodium à épurer par une conduite 52 branchée sur la pompe 6. Le conduit 45 fait retour à la partie 50b du réservoir 50.

L'échangeur économiseur constitué par les chambres 14 et 16 comporte d'autre part des déflecteurs 55 et 56 disposés en hélice sur les viroles 15 et 17 respectivement, à l'intérieur des chambres 14 et 16 respectivement.

Ces hélices servent de raidisseurs pour les viroles de l'échangeur économiseur et obligent le sodium chaud et le sodium froid à emprunter un parcours hélicoïdal à l'intérieur de l'échangeur économiseur, en supprimant les circulations parasites de sodium liquide contrariant les échanges thermiques.

En effet, il est nécessaire d'avoir des espaces annulaires 14 et 16 de très faible épaisseur, de l'ordre du centimètre, pour favoriser les échanges thermiques. De même, la virole intermédiaire 15 de l'échangeur économiseur doit avoir une épaisseur faible de l'ordre de 2 mm. Les calculs thermiques montrent d'autre part que dans le cas de réacteurs nucléaires à neutrons rapides, les espaces annulaires peuvent avoir une très grande hauteur, de l'ordre de 4 à 5 mètres. Il est donc nécessaire d'utiliser des raidisseurs des viroles constituant l'échangeur économiseur et d'éviter les circulations parasites du sodium liquide par thermo-siphons, défavorables aux échanges thermiques.

Dans le cas du mode de réalisation représenté à la figure 1 on divise les espaces annulaires 14 et 16 de l'échangeur économiseur en canaux verticaux par des tôles servant à la fois de déflecteurs et de raidisseurs.

Dans le mode de réalisation décrit à la figure 2, on améliore encore la circulation du sodium en disposant des déflecteurs 55 et 56 en hélice à l'intérieur des deux espaces annulaires de l'échangeur économiseur. Cette amélioration se fait au prix d'une légère complication de la construction du dispositif de purification.

Sur les figures 3 et 3a on voit un dispositif de purification tout-à-fait comparable au dispositif représenté à la figure 1 en ce qui concerne sa partie disposée à l'intérieur de la paroi d'isolation thermique 18 recevant le sodium froid mais dont l'échangeur économiseur est réalisé d'une manière différente. Cet échangeur économiseur comporte un ensemble de

tubes 60 fixés à leur partie inférieure sur la plaque de base 10 au niveau des orifices 10a, la plaque 10 servant de plaque tubulaire inférieure à l'échangeur économiseur. Ils débouchent à leur partie supérieure dans un espace limité par deux plaques horizontales 64 et 65 permettant de collecter le sodium à épurer et de le diriger vers la chambre de refroidissement et de purification 22.

Les tôles 64 et 65 sont percées suivant des ouvertures permettant de faire pénétrer des caloducs 40 dans la chambre de refroidissement 20 par des cheminées 69 passant par les ouvertures des plaques 64 et 65.

Les tubes 60 baignent, à l'intérieur d'une chambre 61 limitée par les viroles 13 et 17, dans le sodium épuré refroidi s'écoulant depuis le bassin de recueil 44 dans la chambre annulaire 61. Le dégazage du sodium liquide épuré et sa sortie du dispositif de purification se fait de façon identique à ce qu'il en était pour le dispositif représenté à la figure 1, la chambre annulaire 61 étant reliée à sa partie inférieure à la chambre de dégazage 12 et au conduit de sortie 45 du sodium épuré.

Sur les figures 4 et 4a on voit un dispositif de purification dont la partie interne recevant le sodium refroidi est identique à la partie correspondante du dispositif représenté à la figure 1 et dont l'échangeur économiseur présente une forme différente. Cet échangeur économiseur est constitué par un ensemble de doubles tubes coaxiaux 70 disposés suivant un parcours hélicoïdal à l'intérieur d'une paroi d'isolation thermique de grande épaisseur 71. Cette paroi d'isolation thermique 71 est limitée par des viroles 72 et 73 comportant des soufflets 72a et 73a à leur partie supérieure.

Le tube interne de chacun des doubles tubes coaxiaux est en communication à sa partie inférieure, par l'intermédiaire des orifices 10a de la plaque de base 10, avec l'espace 30 d'arrivée du sodium liquide chaud à épurer. Le tube coaxial externe est en communication, à sa partie inférieure, avec la partie inférieure de la chambre de dégazage 12 et avec le conduit d'évacuation du sodium épuré 45.

Ainsi qu'il est visible aux figures 4 et 4a, la partie supérieure du tube coaxial interne est en communication avec la chambre de refroidissement et de purification 22 à sa partie supérieure. La partie supérieure du tube coaxial externe est en communication avec le bassin 44 de recueil du sodium liquide épuré. De cette façon, le sodium liquide chaud à épurer circule de bas en haut suivant un parcours hélicoïdal dans les tubes internes 70a et de haut en bas suivant un parcours hélicoïdal dans les tubes exter-

nes 70b. Comme dans les modes de réalisation décrits précédemment, les échanges thermiques se font à contre-courant.

Sur la figure 5, on voit un dispositif de refroidissement externe pouvant remplacer les caloducs 40 et le dispositif 41 décrit en se référant à la figure 1. Un tel dispositif de refroidissement comporte des tubes 75 en épingle dont la partie inférieure peut être introduite dans la chambre de refroidissement 20 d'un dispositif de purification tel que représenté aux figures 1, 2 et 3.

Ces tubes sont introduits dans la chambre 20 par les cheminées 39. Ils passent à leur partie supérieure dans un échangeur 76 du type sodium-air, l'air de refroidissement étant insufflé par un ventilateur 77 à l'intérieur de canaux de refroidissement 78. La boucle supérieure des épingles 75 est reliée à une conduite torique 79 elle-même mise en communication avec un vase d'expansion 80. Un garnissage 81 permet de venir placer les tubes 75 à l'intérieur d'une ouverture prévue dans le bouchon du dispositif de purification. Le sodium circule par thermo-siphon à l'intérieur des tubes 75 en abandonnant ses calories dans l'échangeur 76.

Sur la figure 6a on voit une variante de réalisation de la partie inférieure des chambres annulaires du dispositif de purification tel que représenté par exemple à la figure 1.

Dans cette variante d'exécution, les viroles coaxiales successives sont reliées à une plaque de base 10b pour l'enveloppe 1 et les viroles 11, 13 et 15, à une plaque de base 10c pour la virole 17 et à une plaque de base 10d pour les viroles 19, 21 et 23. La chambre d'alimentation 30 est limitée par les plaques 10b et 10c et une pièce d'isolation thermique épaisse 85 est disposée entre les plaques de base 10c et 10d, à la partie inférieure de la paroi d'isolation 18. La pompe électromagnétique 6 est donc disposée immédiatement en-dessous de la plaque de base 10b. A l'intérieur de la pièce massive d'isolation 85 est disposé le bouchon 35 en-dessous de la cartouche filtrante 24. La pièce massive d'isolation 85 sépare thermiquement, de façon complète, la partie du dispositif renfermant du sodium chaud de la partie du dispositif renfermant du sodium refroidi.

Sur la figure 6b, on voit une seconde variante de réalisation de la partie inférieure du dispositif de purification où la pompe électromagnétique 6 et la chambre d'admission 30 du sodium chaud à épurer ont été disposées à l'intérieur de la pièce d'isolation thermique 85 de grande épaisseur au-dessus de la plaque 10b. Cette disposition est particulièrement intéressante car l'ensemble du dispositif se trouve à l'intérieur de l'enceinte dé-

limitée par l'enveloppe 1 et par la plaque 10b.

Les dispositions représentées aux figures 6a et 6b ont l'avantage d'assurer la fermeture de toutes les chambres renfermant du sodium chaud par une même plaque de base et la fermeture de toutes les parties inférieures des chambres renfermant du sodium froid par une autre plaque de base.

On évite ainsi des dilatations différentielles entraînant des déformations de la plaque de base.

Le dispositif de purification représenté à la figure 7 est en tout point identique au dispositif de purification représenté à la figure 1 mais il comporte en outre une pompe électromagnétique de réglage 86 intercalée entre les chambres annulaires 12 et 14 et branchée à leur partie inférieure.

Une telle pompe de réglage refoulant le sodium liquide de la chambre annulaire 12 vers la chambre annulaire 14 permet de faire monter le niveau libre dans le bassin de recueil du sodium épuré jusqu'au moment où ce niveau dépasse le niveau supérieur de la virole 13. Le sodium liquide épuré se déverse alors directement dans la chambre annulaire 12 où s'effectue son dégazage puis sa sortie par le conduit 45 sans passage dans l'échangeur économiseur constitué par les chambres annulaires 14 et 16. On évite ainsi de refroidir le métal chaud ce qui peut être intéressant dans le cas d'une purification intégrée dans un réacteur nucléaire pendant la manutention du combustible ou des composants de ce réacteur. En effet, pendant ces manutentions, le sodium de la cuve est à une température assez basse (180°C).

La pompe de réglage est reliée à la chambre d'admission 30 par un tuyau de petit diamètre 87 permettant la vidange.

On voit que les principaux avantages du dispositif selon l'invention sont qu'il peut être réalisé d'une manière pratiquement identique qu'il soit du type intégré ou dérivé, que sa structure est particulièrement simple et qu'en particulier la cartouche ne comporte aucune partie mécanique ni aucune tuyauterie interne. Cette cartouche peut donc être facilement démontée et jetée si cela est nécessaire. L'ensemble du module est disposé sur une plaque de base servant de support au module et permettant la fixation des viroles qui sont ainsi libres de se dilater d'un côté de la plaque de base. Ceci conduit à de faibles contraintes thermiques.

D'autre part, la structure annulaire permet d'avoir un dispositif qui soit plus court que les dispositifs de l'art antérieur et qui résiste mieux aux séismes. Cette structure est particulièrement compacte et sa section est identique sur la quasi totalité de sa longueur.

Le refroidissement étant assuré par des caloducs ou par des tubes d'échange de chaleur en épingles plongeant dans une chambre de refroidissement facilement démontables, l'entretien et la réparation de cette partie du dispositif sont particulièrement faciles et ne nécessitent pas d'opération complexe de décontamination.

Enfin, un tel dispositif de purification est d'une structure simple ne comportant pas de tuyauterie de liaison interne, le métal liquide se déplaçant uniquement à l'intérieur de chambres annulaires en communication les unes avec les autres, à l'une de leurs extrémités.

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation qui viennent d'être décrits ; elle en comporte au contraire toutes les variantes.

C'est ainsi qu'on peut imaginer d'autres modes de réalisation de l'échangeur économiseur et du dispositif de refroidissement externe.

On peut également imaginer l'utilisation d'autres types de dispositifs filtrants à la partie centrale du dispositif de purification. On peut par exemple imaginer l'utilisation de tôles perforées ou de grillage ou d'une alternance de tôles perforées et de tissus filtrants métalliques.

Le dispositif suivant l'invention peut être utilisé pour la purification de tout métal liquide de refroidissement d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides. Ce dispositif peut être utilisé comme dispositif intégré ou comme dispositif en dérivation.

REVENDICATIONS

- 1.- Dispositif de purification de métal liquide de refroidissement d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides, par piègeage à froid des impuretés, comportant une pompe (6) de mise en circulation du métal liquide, des moyens de refroidissement du métal liquide à épurer et des moyens de réchauffage du métal liquide épuré, comprenant en particulier un échangeur économiseur assurant le transfert de chaleur entre le métal non épuré et le métal épuré ainsi qu'un filtre (24) en fibres métalliques pour le dépôt des impuretés,
- 5 caractérisé par le fait qu'il est constitué par un ensemble de chambres annulaires à axe vertical fermées à leur partie inférieure par au moins une plaque de base horizontale (10) assurant la tenue mécanique et la fixation de l'ensemble délimitées et séparées les unes des autres par un ensemble d'enveloppes cylindriques métalliques coaxiales, le dispositif comportant
- 10 de l'extérieur vers l'intérieur :
- une chambre (12) de dégazage du métal purifié ouverte à sa partie supérieure,
 - une chambre (14-16, 61) renfermant l'échangeur économiseur dont la partie (16,60) recevant le métal liquide chaud non épuré est en communication, à
 - 20 la partie inférieure de la chambre (14-16, 61) de l'échangeur économiseur, avec la sortie de la pompe (6) de circulation du métal liquide et dont la partie (14,61) recevant le métal liquide épuré est en communication, également à la partie inférieure de la chambre de l'échangeur-économiseur, avec la partie inférieure de la chambre de dégazage (12) et avec un conduit (45)
 - 25 de sortie du métal épuré,
 - une paroi (18) d'isolation thermique annulaire coaxiale aux chambres,
 - une chambre de refroidissement (20) remplie de métal liquide épuré et reliée à des moyens de refroidissement(40),
 - une chambre de refroidissement et d'épuration du métal liquide (22) en
 - 30 communication par sa partie supérieure avec la partie de l'échangeur-économiseur où circule le métal non épuré (16, 60) et par sa paroi latérale interne (23) avec la surface latérale externe d'une cartouche filtrante (24) annulaire coaxiale aux chambres,
 - un canal central (25) de recueil du métal liquide épuré dirigé suivant
 - 35 l'axe de la cartouche filtrante(24), en communication par son extrémité supérieure avec un bassin (44) de recueil du métal liquide épuré surmontant le dispositif, limité extérieurement par l'enveloppe cylindrique interne (13) de la chambre de dégazage et en communication avec la partie (14, 61)

de l'échangeur économiseur par où pénètre le métal liquide épuré.

2.- Dispositif de purification suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que l'échangeur-économiseur est constitué par deux chambres annulaires coaxiales adjacentes (14, 16) séparées par une virole métallique (15) au travers de laquelle s'effectuent les échanges thermiques, la chambre externe (14) étant une chambre de réchauffage et de sortie du métal liquide purifié communiquant par sa partie inférieure avec la partie inférieure de la chambre de dégazage (12) et avec un conduit de sortie (45) du métal purifié et par sa partie supérieure avec le bassin de recueil du métal liquide purifié (44),
la chambre interne (16) étant une chambre d'arrivée et de refroidissement du métal liquide à épurer, en communication par sa partie inférieure avec la sortie de la pompe de circulation du métal liquide à épurer (6) et par sa partie supérieure avec la chambre de refroidissement et d'épuration (22) du métal liquide.

3.- Dispositif de purification suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que l'échangeur économiseur est constitué par des tubes (60) disposés suivant la direction axiale, à l'intérieur d'une chambre annulaire (61) comprise entre l'enveloppe cylindrique interne (13) de la chambre de dégazage (12) et la paroi d'isolation thermique (18) reliée à sa partie supérieure au bassin de recueil du métal liquide épuré (44) et à sa partie inférieure à la chambre de dégazage (12) et au conduit de sortie du métal épuré (45), à l'intérieur de laquelle circule le métal liquide épuré et refroidi, les tubes (60) étant reliés à l'une de leurs extrémités à la sortie de la pompe de circulation du métal liquide (6) à épurer et à leur autre extrémité à la chambre annulaire (22) de refroidissement et d'épuration du métal liquide.

4.- Dispositif de purification suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que l'échangeur économiseur est constitué par un ensemble de doubles tubes coaxiaux (70) disposés en hélice à l'intérieur d'une chambre (71) remplie de matériau d'isolation thermique comprise entre l'enveloppe cylindrique interne (72) de la chambre de dégazage (12) et l'enveloppe cylindrique externe (73) de la chambre de refroidissement (20), le tube interne du double tube coaxial (70) étant relié à sa partie inférieure à la sortie de la pompe de circulation de métal liquide (6) et à sa partie supérieure à la chambre annulaire de refroidissement et de purification (22), et la partie externe des doubles tubes coaxiaux (70) étant en communication à sa partie supérieure avec le bassin de recueil du métal liquide

épuré (44) et à sa partie inférieure avec la chambre de dégazage (12) et avec le conduit de sortie du métal liquide épuré (45).

5.- Dispositif de purification suivant la revendication 2, caractérisé par le fait que des plaques de raidissement et de déflexion du métal liquide (55, 56) sont disposées verticalement à l'intérieur des deux
5 chambres annulaires coaxiales adjacentes (14, 16) constituant l'échangeur économiseur sur toute la longueur de ces chambres pour le raidissement de la structure et le guidage du métal liquide.

6.- Dispositif de purification suivant la revendication 2, caractérisé par le fait que des raidisseurs (55, 56) sont disposés à l'inté-
10 rieur des chambres annulaires adjacentes (14, 16) constituant l'échangeur économiseur, suivant des hélices ayant pour axe l'axe commun des chambres annulaires, suivant toute la longueur de ces chambres et dans le sens trans-
versal, pour le raidissement de la structure et le guidage du métal liquide
15 suivant des parcours hélicoïdaux.

7.- Dispositif de purification suivant la revendication 2, caractérisé par le fait que la chambre annulaire d'arrivée et de refroidis-
sement du métal liquide à épurer (16), la chambre de refroidissement (20)
et la chambre d'épuration du métal liquide (22) sont fermées à leur partie
20 supérieure par un jeu de plaques horizontales (37 et 38) mettant en communi-
cation la chambre d'arrivée et de refroidissement (16) du métal liquide à
épurer avec la chambre d'épuration du métal liquide (22) et isolant du mé-
tal liquide à épurer la chambre de refroidissement (20), des ouvertures
(37a et 38a) étant prévues dans ces plaques (37 et 38) et des cheminées de
25 passage (39) étant disposées au niveau de ces ouvertures (37a et 38a) pour
l'introduction dans la chambre de refroidissement (20) de dispositifs de
prélèvement de chaleur (40) faisant partie des moyens de refroidissement
externes de cette chambre.

8.- Dispositif de purification suivant l'une quelconque des reven-
30 dications 1 à 7, caractérisé par le fait que les moyens de refroidissement (40) du métal li-
quide épuré de la chambre de refroidissement (20) sont constitués par des
caloducs plongeant dans le métal liquide remplissant cette chambre reliés à
l'extérieur du dispositif de purification à un échangeur de chaleur (41) du
35 type à refroidissement par air.

9.- Dispositif de purification suivant l'une quelconque des reven-
dications 1 à 7, caractérisé par le fait que les moyens de refroidissement du fluide épuré

remplissant la chambre de refroidissement sont constitués par des tubes en épingles (75) remplis de sodium liquide d'échange et plongeant par leur partie inférieure dans le métal liquide remplissant la chambre de refroidissement (20) et pénétrant par leur partie supérieure dans un dispositif de refroidissement par air (76).

10.- Dispositif de purification suivant l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé par le fait que les différentes enveloppes cylindriques des chambres annulaires sont toutes fixées à leur partie inférieure sur une plaque de base (10) unique percée d'ouvertures (10a) pour le passage du métal liquide à épurer, une chambre d'admission (30) du métal liquide en communication avec les ouvertures (10a) de la plaque de base (10) étant disposée sous cette plaque (10) et en communication avec la sortie de la pompe de circulation du métal liquide (6).

11.- Dispositif de purification suivant l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé par le fait que les enveloppes cylindriques (19, 21, 23) limitant les chambres de refroidissement (20) et d'épuration (22) sont reliées à une première plaque de base horizontale (10d) et que les enveloppes cylindriques (15, 17, 11, 13) de l'échangeur économiseur et de la chambre de dégazage (12) sont reliées à au moins une plaque de base horizontale (10b) différente de la première plaque (10d).

12.- Dispositif de purification suivant la revendication 11, caractérisé par le fait que la pompe (6) est disposée au-dessus de la plaque de base (10b) supportant les enveloppes cylindriques (15, 17, 11, 13) de l'échangeur économiseur et de la chambre de dégazage (12), l'ensemble des éléments du dispositif de purification se trouvant au-dessus de cette plaque de base inférieure (10b).

13.- Dispositif de purification suivant l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé par le fait qu'il est de type intégré et disposé à l'intérieur d'une enveloppe (1) remplie d'un gaz inerte.

14.- Dispositif de purification suivant la revendication 2, caractérisé par le fait qu'une pompe électromagnétique de réglage (86) est disposée entre la chambre de dégazage (12) et la chambre de sortie du métal liquide épuré (14) de façon à refouler le métal liquide dans cette chambre (14) jusqu'à un niveau supérieur à l'extrémité supérieure de l'enveloppe cylindrique interne (13) de la chambre de dégazage (12).

- 15.- Dispositif de purification suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4
- caractérisé par le fait que la pompe de mise en circulation du métal liquide est une pompe-débitmètre (6-7) permettant également la mesure du débit
- 5 du métal liquide entrant dans le dispositif de purification.

Fig 1

1/5

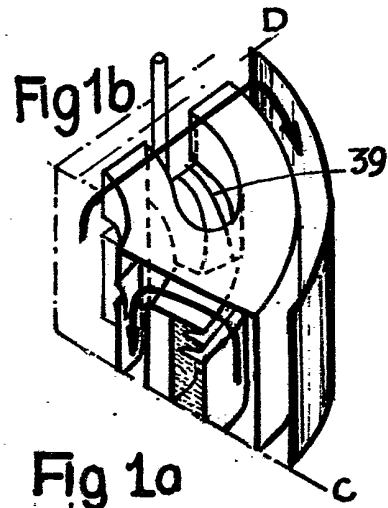
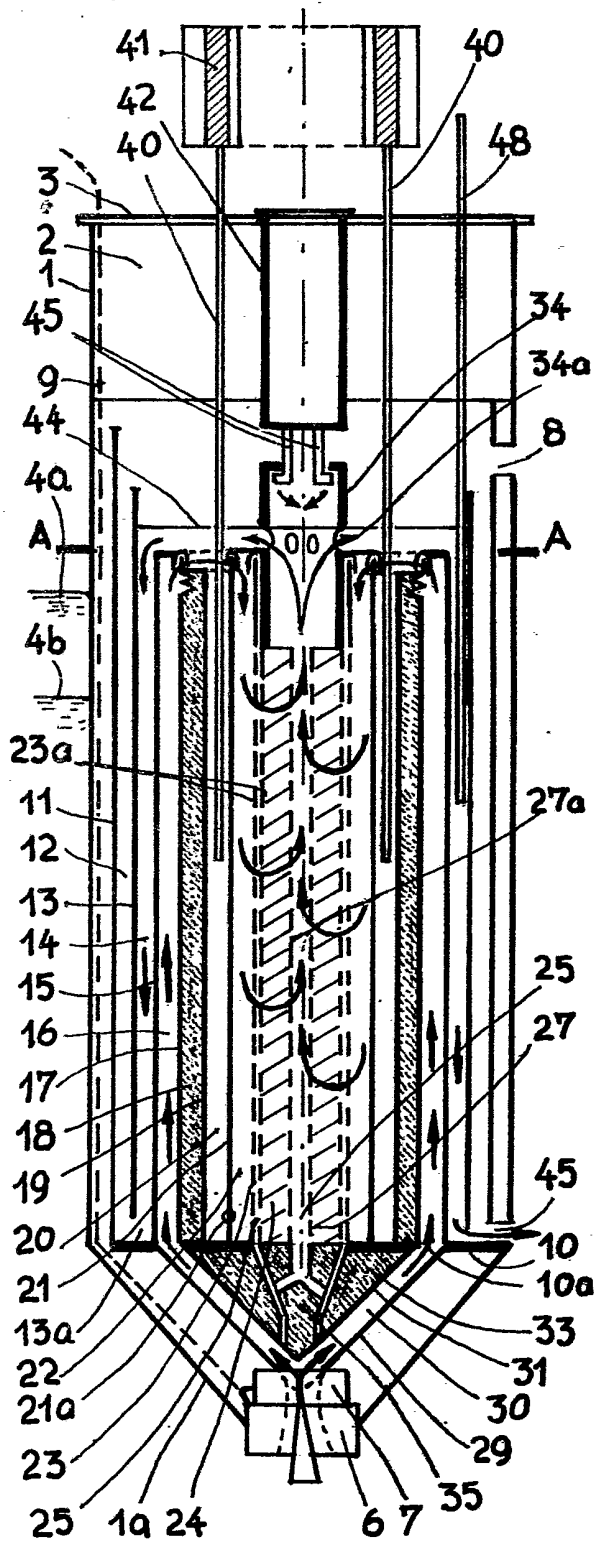


Fig 1a

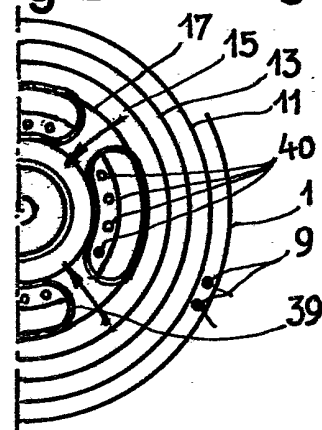


Fig 1c

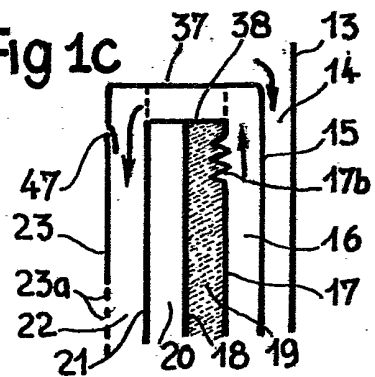
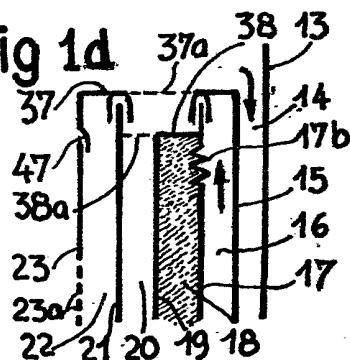
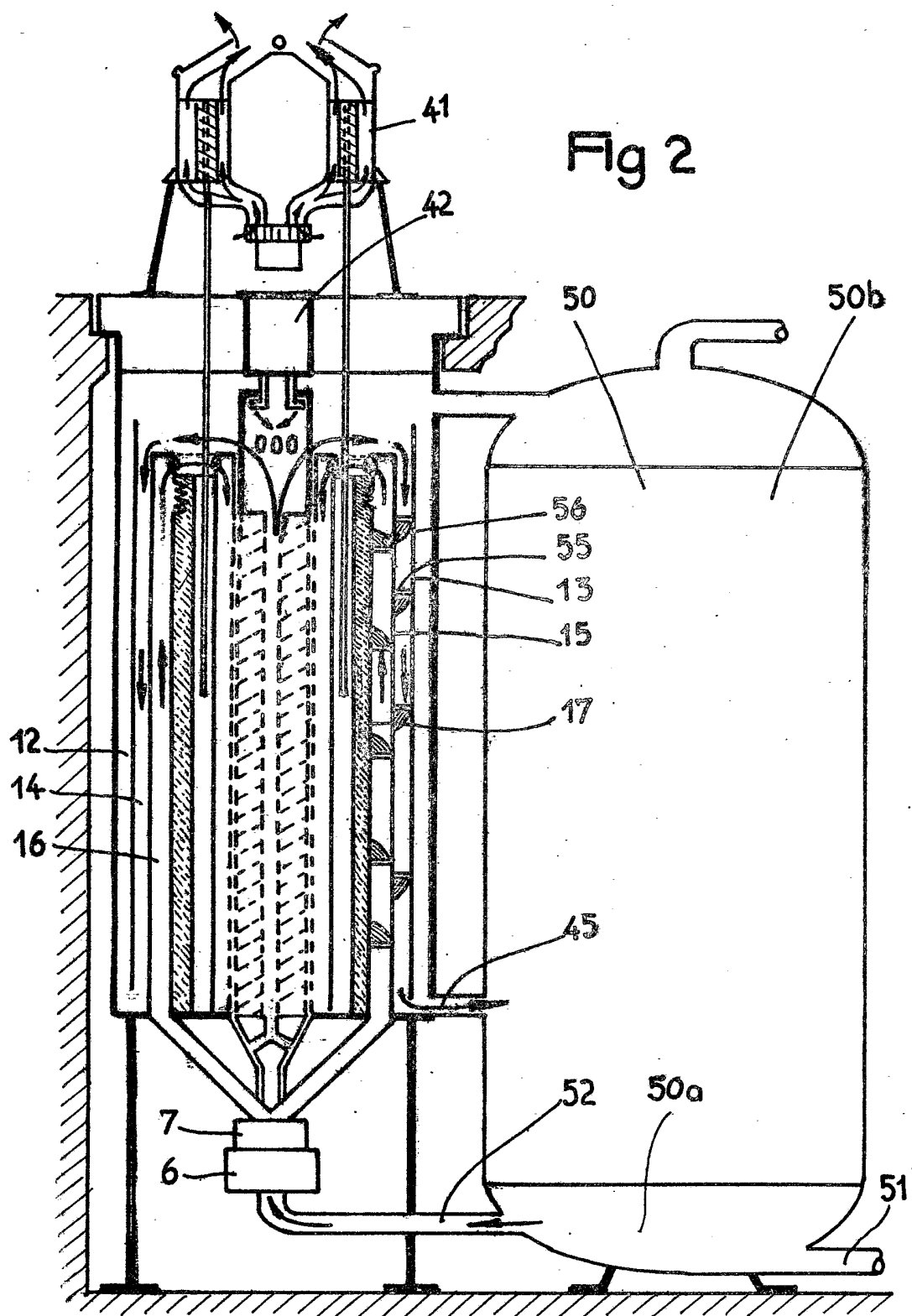


Fig 1d



2/5

Fig 2



3/5

Fig 3

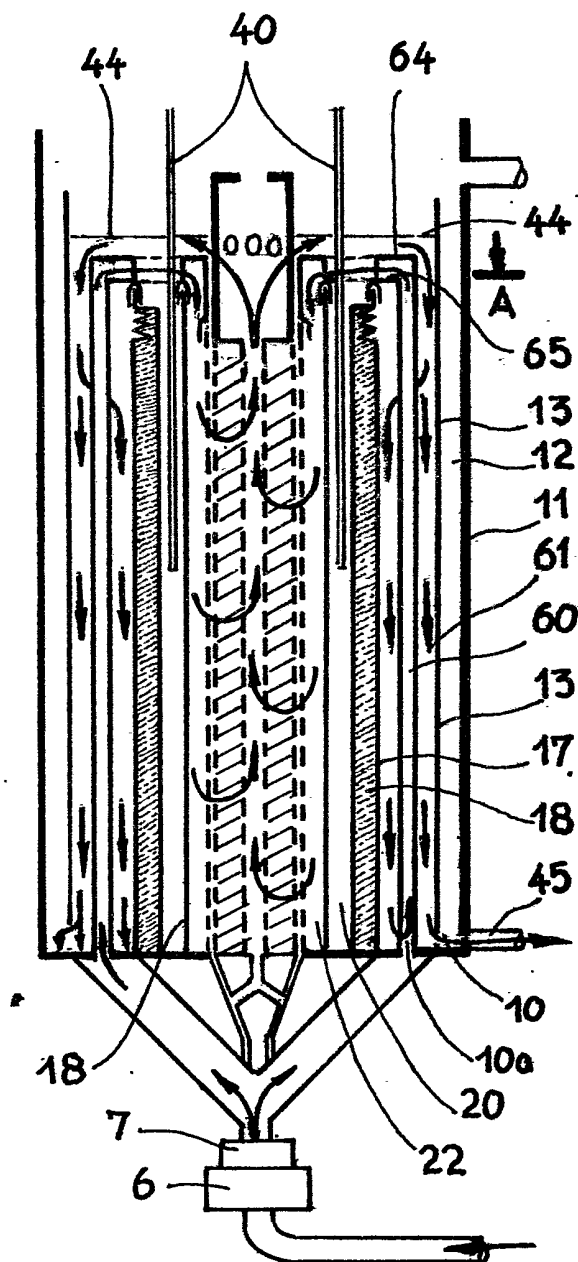


Fig 3a

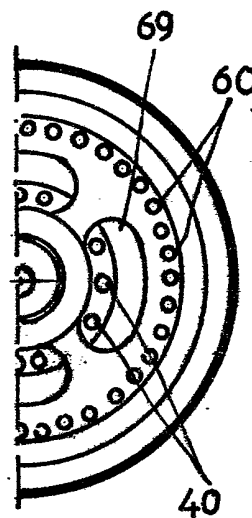


Fig 4a

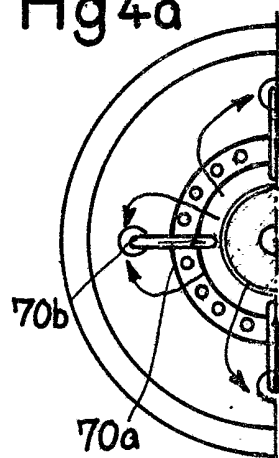


Fig 4

4/5

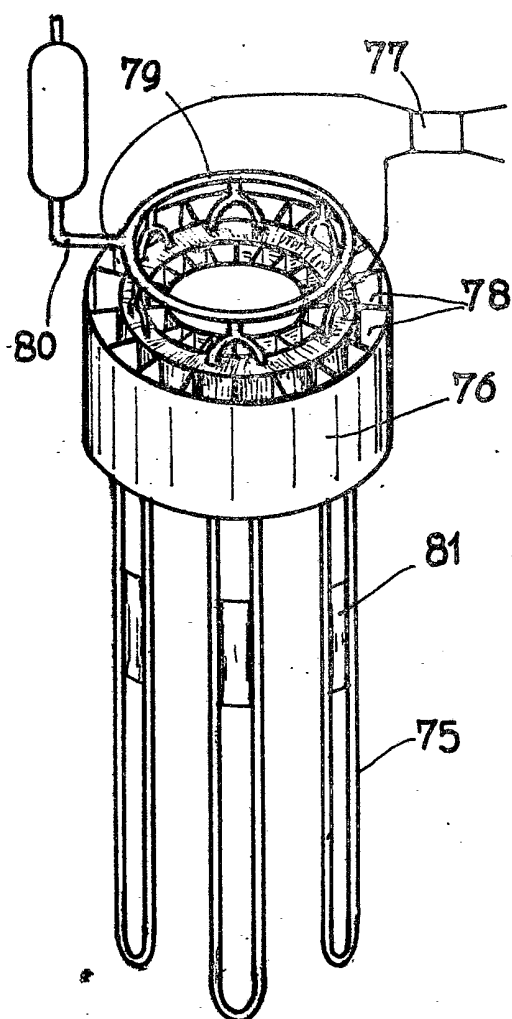
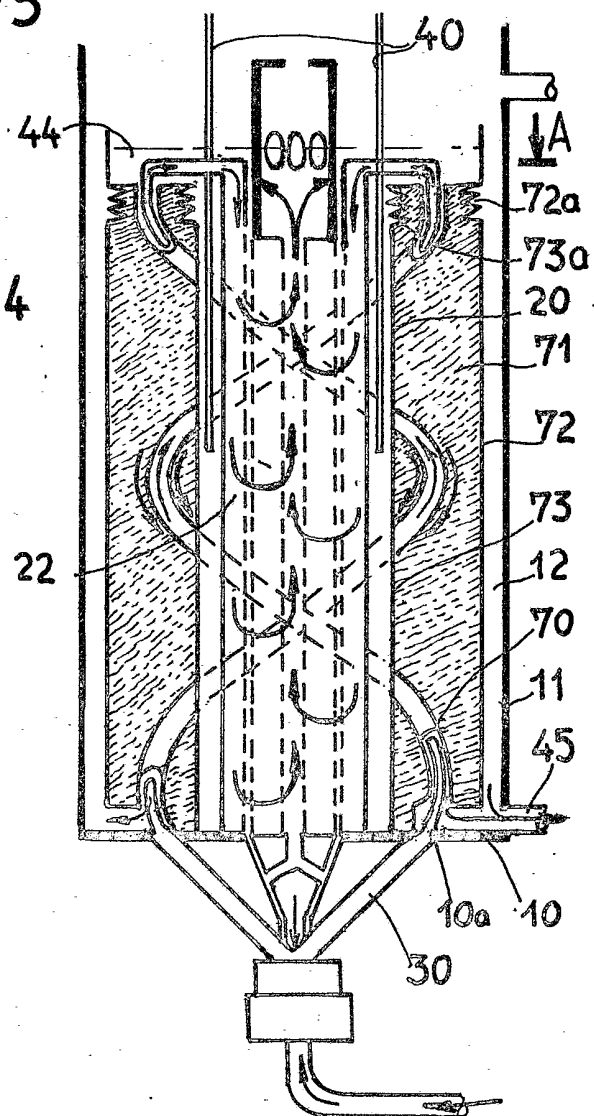


Fig 5

5/5

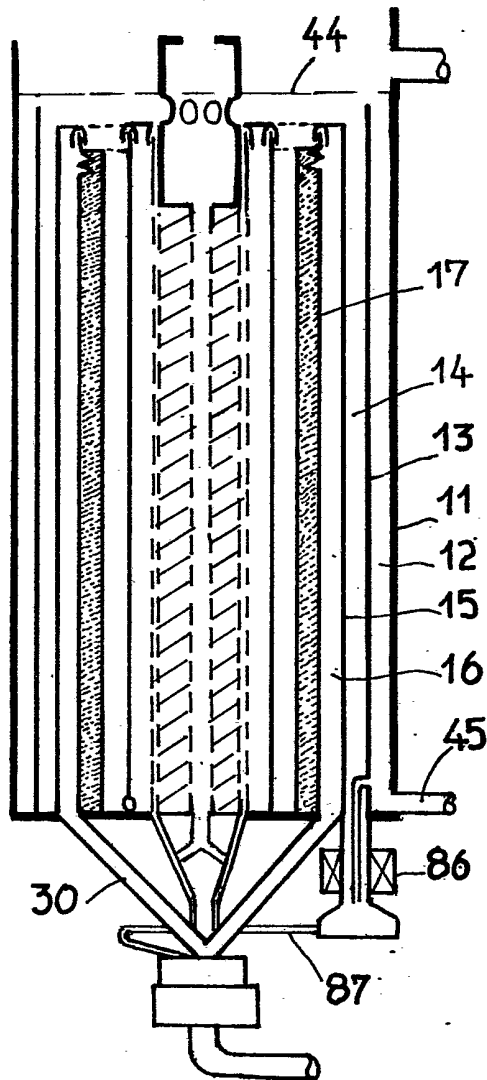


Fig 7

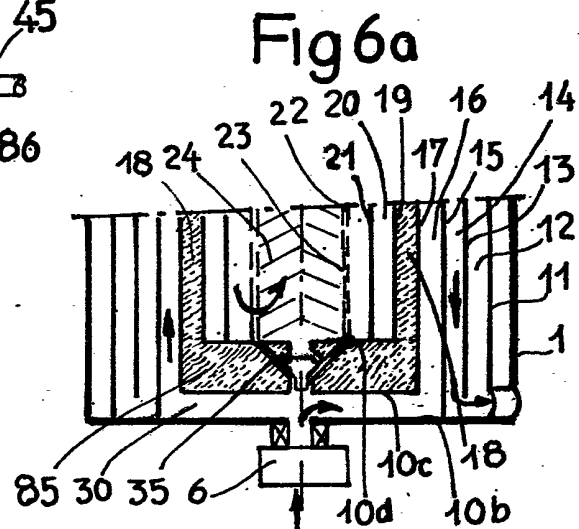


Fig 6a

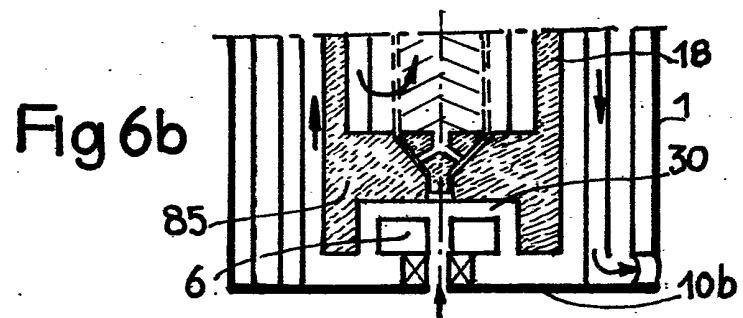


Fig 6b