

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
PARIS
—

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

2 583 865

②1 N° d'enregistrement national :

85 09327

⑤1 Int Cl⁴ : F 28 D 15/00; G 21 D 5/12.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 19 juin 1985.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 52 du 26 décembre 1986.

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

⑦1 Demandeur(s) : *COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE, établissement de caractère scientifique, tech-
nique et industriel.* — FR.

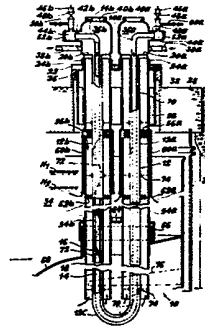
⑦2 Inventeur(s) : Zephyr Tilliette.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Brevatome.

⑤4 Echangeur de chaleur à tubes en U coaxiaux à écoulement intermédiaire de gaz neutre et réacteur nucléaire à neutrons rapides comportant des échangeurs de ce type.

⑤7 L'échangeur de chaleur 10 comprend un faisceau de doubles tubes en U 12 qui plongent dans un fluide caloporteur chauffant tel que du sodium liquide 34. On fait circuler un gaz neutre tel que de l'hélium dans l'espace inter-tubes 18, à une pression légèrement supérieure à celle de l'eau circulant dans les tubes intérieurs 14. Chacune des branches verticales 12a, 12b du faisceau de tubes est entourée par une virole 54a, 54b dans laquelle le sodium circule de haut en bas, entre des fenêtres d'entrée 56a, 56b, 62a, 62b et l'extrémité inférieure ouverte des viroles. Les fluides chauffés hélium et eau circulent dans le sens descendant dans une branche et dans le sens ascendant dans l'autre branche du faisceau de tubes en U. Les entrées et les sorties de ces fluides chauffés sont situées séparément à la partie supérieure de l'échangeur. Cet échangeur peut notamment être utilisé comme générateur de vapeur et intégré directement dans la cuve principale 30 d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides de type intégré ou dans une cuve séparée du réacteur.



FR 2 583 865 - A1

D

Echangeur de chaleur à tubes en U coaxiaux à écoulement
intermédiaire de gaz neutre et réacteur nucléaire à
neutrons rapides comportant des échangeurs de ce type

La présente invention a pour objet un échangeur de chaleur comprenant des tubes en U coaxiaux entre lesquels circule un gaz neutre tel que de l'hélium. L'invention concerne également l'application d'un tel échangeur, sous la forme de générateurs de vapeur, à différents types de réacteurs nucléaires à neutrons rapides refroidis par un fluide caloporteur qui peut être du sodium liquide.

Dans les réacteurs nucléaires à neutrons rapides, les générateurs de vapeur sodium/eau constituent des composants "critiques", en raison de la réaction chimique violente qui risque de se produire si le sodium et l'eau viennent en contact et de la sévérité des échanges thermiques sodium/eau-vapeur.

C'est pour cette raison que dans les réacteurs nucléaires à neutrons rapides de type intégré, tels que les réacteurs français PHENIX et SUPER-PHENIX, dans lesquels l'ensemble du circuit primaire est disposé à l'intérieur d'une même cuve, on a recours à un circuit intermédiaire de sodium placé entre des échangeurs sodium/sodium internes à la cuve et des générateurs de vapeur sodium/eau placés à l'extérieur de cette dernière. Cette disposition a pour but d'éviter qu'une éventuelle réaction sodium/eau à l'intérieur des générateurs de vapeur ne se répercute jusqu'au coeur du réacteur. Il est certain que la présence d'un tel circuit intermédiaire de sodium est pénalisante à la fois du point de vue du coût de l'installation et du point de vue de l'efficacité thermodynamique du réacteur.

En conséquence, l'existence d'un échangeur de chaleur sodium/eau pouvant le cas échéant être implanté directement dans la cuve du réacteur grâce à une

grande fiabilité mécanique et fonctionnelle éliminant pratiquement toute possibilité de fuite de l'eau ou de la vapeur vers le sodium, permettrait de diminuer de façon sensible le coût de ces réacteurs et d'en améliorer l'efficacité thermodynamique.

La présente invention a précisément pour objet un échangeur de chaleur sodium/eau présentant à la fois une fiabilité mécanique et une fiabilité fonctionnelle assez élevées pour qu'on puisse envisager sans crainte l'implantation éventuelle de cet échangeur de chaleur, sous la forme d'un générateur de vapeur, directement dans la cuve d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides de type intégré. L'application de l'échangeur de chaleur selon l'invention n'est toutefois pas limitée aux réacteurs de ce type et peut notamment s'étendre aux réacteurs à neutrons rapides du type à boucles, dans lesquels les générateurs de vapeur sont placés dans des cuves distinctes de la cuve principale contenant le coeur du réacteur.

Conformément à l'invention, ce résultat est obtenu au moyen d'un échangeur de chaleur à circulation intermédiaire de gaz neutre tel que de l'hélium, apte à être monté dans une cuve contenant un fluide caloporteur liquide chauffant tel que du sodium, caractérisé en ce qu'il comprend :

- un faisceau de doubles tubes en U plongeant dans le fluide caloporteur contenu dans la cuve, ce faisceau étant constitué de tubes intérieurs et de tubes extérieurs, et comportant une branche verticale descendante, une branche verticale ascendante et une partie inférieure cintrée joignant lesdites branches ;
- une chambre d'entrée de gaz et une chambre de sortie de gaz, chacune de ces chambres étant délimitée à son extrémité inférieure par une plaque à tubes gaz/sodium sur laquelle sont fixées de façon étanche les

- extrémités correspondantes des tubes extérieurs ;
- au moins une chambre d'entrée d'un fluide chauffé, tel que de l'eau et au moins une chambre de sortie dudit fluide chauffé séparées respectivement de la chambre d'entrée de gaz et de la chambre de sortie de gaz par une plaque à tubes fluide chauffé/gaz sur laquelle sont fixées de façon étanche les extrémités correspondantes des tubes intérieurs ;
 - deux viroles entourant respectivement chacune des branches verticales du faisceau, ces viroles étant fixées aux plaques à tubes gaz/fluide caloporteur, ouvertes à leurs extrémités inférieures et munies de fenêtres d'entrée de fluide caloporteur à leurs extrémités supérieures ;
 - une pièce de transition fixée aux viroles en-dessous des fenêtres d'entrée de fluide caloporteur, pour séparer dans ladite cuve le fluide caloporteur entrant dans l'échangeur par les fenêtres d'entrée du fluide caloporteur sortant par les extrémités inférieures des viroles.

La structure de cet échangeur de chaleur se caractérise par sa grande simplicité et par l'absence de liaison rigide entre les tubes internes et les tubes externes du faisceau des tubes en U. On obtient ainsi une haute fiabilité mécanique puisque les sollicitations dues aux dilatations différentielles sont évitées.

De plus, la circulation intermédiaire d'un gaz chimiquement neutre tel que l'hélium, qui présente une bonne efficacité thermique et des effets réduits sur les structures, permet d'assurer une séparation dynamique entre l'eau et le sodium tout en assurant le transfert thermique entre ces deux fluides. Ainsi, dans le cas d'une fuite éventuelle d'eau ou de vapeur, celle-ci est fortement diluée et entraînée par le gaz, ce

qui permet son élimination par un dispositif extérieur de traitement et de séchage. De ce point de vue, l'adoption d'une pression dans le circuit eau/vapeur légèrement inférieure à celle de l'hélium élimine pratiquement toutes possibilités de fuites de l'eau ou de la vapeur vers le sodium.

Il faut encore noter que la grande longueur d'échange permise par la configuration en U des tubes de l'échangeur selon l'invention permet d'avoir recours à un débit de gaz intermédiaire relativement faible qui peut être obtenu au moyen d'un circuit compact. De ce fait, les conséquences d'une éventuelle fuite importante vers le sodium se trouvent limitées en raison du faible volume de gaz intermédiaire concerné.

Conformément à un mode de réalisation préféré de l'invention, les viroles entourant les branches verticales du faisceau présentent des fenêtres d'entrée principales de sodium placées au-dessus d'un niveau normal du sodium dans la cuve et des fenêtres d'entrée auxiliaires de sodium placées en-dessous d'un niveau minimal du sodium dans la cuve, chaque virole étant munie d'une cloche fixée au-dessus des fenêtres d'entrée principales et plongeant dans le sodium jusqu'à un niveau inférieur audit niveau minimal, pour constituer un siphon d'alimentation en sodium de cette virole.

De préférence, les tubes extérieurs sont lisses, les tubes intérieurs étant munis sur leur surface extérieure d'ergots de centrage et, dans la branche ascendante du faisceau, d'ailettes longitudinales ou hélicoïdales assurant à la fois une augmentation de l'échange thermique dans cette branche afin de compenser la diminution de l'écart de température entre fluides chauffant et chauffé et de répartir l'ébullition de l'eau entre les deux branches et le maintien des tubes intérieurs dans les tubes extérieurs.

Toujours selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les chambres d'entrée et de sortie d'eau sont placées latéralement par rapport aux cham-
5
10
15
20
25
30
35
bres d'entrée et de sortie de gaz et séparées de ces dernières par des plaques à tubes eau/gaz sensiblement verticales, les extrémités des tubes intérieurs fixées sur ces plaques à tubes eau/gaz comportant des parties horizontales, les chambres d'entrée et de sortie de gaz étant obturées à leur extrémité supérieure par des couvercles amovibles et les chambres d'entrée et de sortie d'eau étant obturées par des couvercles amovibles placés en vis-à-vis des plaques à tubes eau/gaz.

De préférence, l'échangeur de chaleur selon l'invention comprend au moins une tubulure débouchant dans la chambre d'entrée d'eau et au moins une tubulure débouchant dans la chambre de sortie d'eau, ces tubulures pouvant être raccordées à un circuit d'eau externe par l'intermédiaire de moyens de fermeture permettant d'isoler l'échangeur par rapport à ce circuit et comprenant des moyens pour injecter un gaz de vidange apte à chasser l'eau hors de l'échangeur.

De façon à permettre l'implantation de l'échangeur de chaleur à partir du haut à l'intérieur de la cuve, les plaques à tubes gaz/sodium sont fixées de préférence sur une pièce support horizontale entourant lesdites viroles, cette pièce support étant apte à reposer sur une dalle de fermeture de la cuve, pour assurer le supportage de l'échangeur.

L'invention a également pour objet l'application d'un tel échangeur de chaleur, sous la forme d'un générateur de vapeur, à un réacteur nucléaire à neutrons rapides de type intégré et à un réacteur à neutrons rapides du type à boucles.

On décrira maintenant, à titre d'exemple non limitatif, un mode de réalisation préféré d'un échan-

geur de chaleur conforme à l'invention ainsi que deux applications de cet échangeur dans des réacteurs nucléaires à neutrons rapides de types différents, en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

- 5 - la figure 1 est une vue de face, en coupe longitudinale schématique, d'un échangeur de chaleur conforme à l'invention, sur laquelle un seul double tube du faisceau de tubes en U a été représenté à plus grande échelle, pour faciliter la compréhension ;
- 10 - la figure 2 est une vue en coupe longitudinale à plus grande échelle de la partie supérieure de l'échangeur de chaleur de la figure 1 ;
- la figure 3 est une vue en coupe verticale schématique de la cuve d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides de type intégré dans laquelle est placé
- 15 un générateur de vapeur conforme à l'invention, et
- la figure 4 représente une cuve autonome contenant un générateur de vapeur conforme à l'invention et prévue pour être reliée à la cuve principale
- 20 d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides du type à boucles.

Conformément à l'invention, l'échangeur de chaleur 10 représenté sur la figure 1 comprend un faisceau de doubles tubes en U 12, un seul de ces doubles tubes étant représenté à plus grande échelle. Chacun

25 des doubles tubes en U 12 comprend un tube intérieur 14 à l'intérieur duquel circule de l'eau, puis de la vapeur, et un tube extérieur 16 délimitant avec le tube intérieur 14 un espace annulaire 18 dans lequel circule

30 un gaz neutre tel que de l'hélium. Le jeu appréciable existant entre les tubes intérieur et extérieur et l'absence d'exigence de concentricité permet le cintrage de ces doubles tubes.

Chacun des doubles tubes 12 du faisceau comprend une branche verticale à fluide chauffé descendant

35

12a, une branche verticale à fluide chauffé ascendant 12b et une partie cintrée inférieure 12c joignant les branches verticales.

5 Les extrémités supérieures des branches descendante et ascendante des tubes extérieurs 16 sont
fixées de façon étanche sur deux plaques à tubes horizontales 20a et 20b, dites plaques à tubes gaz/sodium, situées côte-à-côte et au même niveau. Ces plaques à
10 tubes 20a et 20b reposent sur une plaque horizontale de supportage 22, respectivement par l'intermédiaire de deux jupes 24a et 24b. La plaque de supportage 22 repose elle-même, par l'intermédiaire d'une pièce 26, sur
15 une dalle de fermeture 28 d'une cuve 30, dans laquelle plongent les doubles tubes 12. De façon plus précise, la pièce 26 repose sur la dalle 28 à la périphérie d'une ouverture 32 formée dans celle-ci et par laquelle les doubles tubes 12 de l'échangeur plongent dans le sodium liquide 34 contenu dans la cuve 30.

20 Les plaques à tubes 20a et 20b constituent les parois inférieures d'une chambre d'entrée de gaz 36a et d'une chambre de sortie de gaz 36b respectivement. Une tubulure d'entrée de gaz 38a et une tubulure de sortie de gaz 38b débouchent respectivement dans les
25 chambres 36a et 36b. A leur extrémité supérieure, chacune des chambres 36a et 36b est obturée par un couvercle amovible 40a et 40b respectivement. Le démontage de ces couvercles permet d'inspecter les plaques à tubes 20a et 20b.

30 Les extrémités supérieures des branches descendante et ascendante des tubes intérieurs 14 traversent librement les plaques à tubes 20a et 20b et sont repliées à 90° à l'intérieur des chambres 36a et 36b, pour se terminer par des parties sensiblement horizontales 14a et 14b. Les extrémités de ces parties
35 horizontales 14a et 14b des tubes intérieurs 14 sont fixées

de façon étanche sur des plaques à tubes verticales 42a et 42b, dites plaques à tubes eau/gaz, constituant une partie de la paroi latérale des chambres 36a et 36b respectivement.

5 Derrière les plaques à tubes 42a et 42b, les tubes intérieurs 14 débouchent respectivement dans une chambre d'entrée d'eau 44a et dans une chambre de sortie d'eau-vapeur 44b. Une tubulure d'entrée d'eau 46a équipée d'une vanne 48a débouche dans la chambre 44a.
10 De façon comparable, une tubulure de sortie d'eau-vapeur 46b équipée d'une vanne 48b débouche dans la chambre de sortie de vapeur 44b.

15 Des tuyauteries 50a et 50b sont raccordées sur les tubulures 46a et 46b, entre les vannes 48a et 48b et les chambres 44a et 44b respectivement. Ces tuyauteries 50a et 50b servent à raccorder le générateur de vapeur à un circuit permettant d'injecter un gaz de vidange dans les tubes intérieurs 14.

20 Chacune des chambres 44a et 44b est obturée par un couvercle amovible 52a et 52b respectivement, placé en vis-à-vis de la plaque à tubes 42a, 42b correspondante.

25 La circulation du sodium liquide 34 autour des branches descendantes 12a et des branches ascendantes 12b du faisceau de double tubes 12 est canalisée au moyen de deux viroles 54a et 54b fixées respectivement aux plaques à tubes 20a et 20b et entourant respectivement chacune des branches verticales du faisceau.

30 A un niveau supérieur au niveau normal N_1 de sodium liquide 34 dans la cuve 30, chacune des viroles 54a et 54b comprend des fenêtres d'entrée principales 56a et 56b. Ces fenêtres sont placées à un niveau aussi proche que possible des plaques à tubes 20a et 20b, afin que l'échange thermique entre le sodium liquide
35 circulant autour du faisceau de doubles tubes 12 et

L'eau vapeur circulant dans les tubes internes 14 s'effectue sur une surface aussi grande que possible. Dans l'exemple représenté sur la figure, les fenêtres 56a et 56b sont placées juste en-dessous d'une pièce d'adaptation 58 entourant les viroles 54a et 54b au niveau de la dalle 28, cette pièce 58 étant suspendue à la plaque de supportage 22.

La montée du sodium liquide 34 jusqu'aux fenêtres d'entrée principales 56a et 56b est obtenue en créant autour de chacune des viroles 54a et 54b un effet de siphon, au moyen de deux cloches 60a et 60b respectivement fixées aux viroles 54a et 54b juste au-dessus des fenêtres 56a et 56b. Les cloches 60a et 60b plongent dans le sodium liquide 34 jusqu'à un niveau inférieur au niveau minimal N_2 du sodium dans la cuve.

De préférence, approximativement au même niveau que l'extrémité inférieure des cloches 60a et 60b, chacune des viroles 54a et 54b comprend de plus des fenêtres d'entrée auxiliaires calibrées 62a et 62b autorisant une circulation descendante de sodium à l'intérieur des viroles par convection naturelle en cas d'arrêt des pompes de circulation.

Les viroles 54a et 54b sont ouvertes à leurs extrémités inférieures, qui sont situées au niveau de la jonction des branches verticales 12a et 12b des doubles tubes avec la partie inférieure cintrée 12c.

Dans leur partie centrale, c'est-à-dire bien en-dessous des fenêtres 62a et 62b, les viroles 54a et 54b sont fixées de façon étanche sur une pièce de transition 64. La périphérie de cette pièce 64 coopère par un système d'étanchéité 66 à cloche de gaz avec un redan 68 séparant à l'intérieur de la cuve 30 le sodium chaud admis dans l'échangeur 10 par les fenêtres d'entrée 56a et 56b du sodium froid sortant par l'extrémité inférieure des viroles 54a et 54b.

En raison de leur forme en U, les doubles tubes 12 absorbent facilement les conséquences de faibles différences de température entre les branches descendante et ascendante. Les températures des tubes 12 de chaque branche sont en effet très voisines en raison du coefficient d'échange modéré par convection de gaz.

Les tubes extérieurs 16 sont lisses et se dilatent librement dans le sens vertical à partir des plaques à tubes 20a et 20b.

Les branches descendantes et les parties inférieures cintrées des tubes intérieurs 14 sont également lisses, et ne comportent que des ergots de centrage espacés 70 qui permettent un maintien correct des tubes intérieurs dans les tubes extérieurs. Dans la branche ascendante du faisceau, les tubes intérieurs 14 peuvent également être lisses et munis d'ergots de centrage sur leurs faces externes. Toutefois, ils comportent de préférence sur leurs faces externes des ailettes longitudinales ou hélicoïdales 72 assurant simultanément le centrage des tubes intérieurs dans les tubes extérieurs et un échange thermique plus efficace, afin d'équilibrer les puissances thermiques échangées et de répartir l'ébullition de l'eau sur les deux branches.

En outre, les tubes intérieurs 14 sont de faible diamètre et d'épaisseur modérée, ce qui leur confère une bonne souplesse. Cette souplesse ainsi que l'espace annulaire dont ils disposent à l'intérieur des tubes extérieurs leur permet également d'échapper aux contraintes transversales ou horizontales de dilatation. La dilatation différentielle verticale entre les branches des tubes intérieurs est absorbée quant à elle par les parties horizontales 14a et 14b des tubes internes 14.

A l'intérieur des viroles 54a et 54b, le positionnement des doubles tubes 12 du faisceau est assu-

ré de manière classique par des grilles horizontales 74. Il est à noter que les grilles 74 situées à la partie inférieure des viroles 54a et 54b assurent un guidage latéral des tubes 12, tout en autorisant une certaine souplesse transversale des tubes, c'est-à-dire une déformation de ceux-ci dans le plan passant par les axes des branches descendantes 12a et montantes 12b des tubes 12. Cette configuration permet de prendre en compte les possibles différences de dilatation transversale entre les branches des tubes à la partie inférieure de l'échangeur.

De préférence, un ou plusieurs dispositifs 76 sont prévus à l'intérieur de la cuve 30 pour assurer le guidage des viroles 54a et 54b, c'est-à-dire empêcher leur déplacement horizontal, tout en permettant la dilatation verticale de ces viroles par rapport à la cuve.

Le fonctionnement de l'échangeur de chaleur qui vient d'être décrit en se référant aux figures 1 et 2 est le suivant.

Sous l'effet des pompes équipant le circuit primaire du réacteur dans lequel est placé l'échangeur 10, le sodium 34 circule de bas en haut à l'intérieur des viroles 54a et 54b, entre les fenêtres d'entrée 56a et les extrémités inférieures des viroles. Il entre à une température d'environ 550°C et ressort à une température voisine de 400°C.

Simultanément, l'eau constituant le fluide secondaire du générateur pénètre dans les tubes internes 14 par la ou les chambres d'entrée 44a, pour ressortir par les chambres 44b à l'état de vapeur. Les températures d'entrée et de sortie de l'eau et de la vapeur sont respectivement d'environ 250°C et d'environ 500°C. La pression de l'eau/vapeur est en outre légèrement inférieure à celle de l'hélium, de sorte que les

tubes intérieurs ne sont sollicités que par une très faible différence de pression. Cette caractéristique élimine pratiquement toute possibilité de fuite d'eau/vapeur vers le sodium et constitue donc un gage
5 de haute fiabilité fonctionnelle.

Enfin, l'hélium du circuit intermédiaire pénètre dans l'espace inter-tubes 18 par la chambre 36a à une température voisine de 250°C, pour ressortir par la chambre 36b à une température d'environ 520°C. Sa pres-
10 sion est modérée et se limite à environ 7 MPa. L'écoulement de l'hélium se fait donc dans le même sens que celui de l'eau.

L'échange thermique entre l'eau et le sodium s'effectue donc à co-courant dans les branches descen-
15 dantes 12a des tubes et à contre-courant dans les branches ascendantes 12b.

Dans le cas d'un générateur de vapeur, une partie de la vaporisation s'effectue dans la branche descendante des tubes, ce qui est contraire à la prati-
20 que courante mais correspond cependant à certaines réalisations. Toutefois, une bonne stabilité peut être obtenue en jouant sur différents facteurs parmi lesquels on citera notamment la présence d'un diaphragme à forte perte de charge à l'entrée de chaque tube inté-
25 rieur 14, et la possibilité de contrôler l'échange thermique par l'hélium, indépendamment des régimes d'écoulement de l'eau et du sodium.

Grâce à l'échangeur de chaleur décrit, un échange thermique satisfaisant peut être obtenu entre
30 le sodium et l'eau/vapeur, en faisant circuler l'hélium à un débit relativement faible. Il est à noter que l'échange thermique par l'hélium en circulation permet à la structure d'absorber l'écart de température important existant entre le sodium et l'eau à l'entrée de la
35 branche descendante et d'éviter que les plaques à tubes

sodium-hélium 20a et 20b et les tubes 14 et 16 ne soient soumis à des sollicitations anormales.

5 De façon générale, la présence du gaz intermédiaire permet d'admettre des écarts de température beaucoup plus importants que dans les échangeurs de chaleur à deux fluides puisque le gaz intermédiaire sert alors de tampon thermique.

10 En plus de ces différentes fonctions, l'hélium en circulation dans l'espace inter-tubes 18 constitue un moyen de contrôle efficace des tubes du faisceau d'autant plus que son volume est faible en raison d'un concept possible d'une boucle d'hélium compacte située à proximité du réacteur et associée à chaque générateur de vapeur.

15 De plus, dans la configuration décrite en se référant aux figures 1 et 2, une isolation de l'échangeur par rapport au reste du circuit secondaire peut être obtenue facilement en fermant les vannes 48a et 48b. En cas d'incident rapidement détecté par le contrôle de la pureté du gaz et de sa pression, un gaz sous pression peut alors être injecté par la canalisation 50a pour vidanger les tubes intérieurs 14. La conception des chambres d'entrée et de sortie d'eau et de gaz permet en outre d'accéder facilement aux plaques à tubes correspondantes lorsqu'une intervention est nécessaire.

20 En outre, il est à remarquer que la disposition des chambres 44a et 44b latéralement par rapport à l'ensemble de l'échangeur de chaleur évite la présence d'un volume important d'eau directement au-dessus du faisceau de tubes, ce qui est plus satisfaisant du point de vue de la sûreté. On pourrait toutefois placer les chambres d'entrée et de sortie de l'eau immédiatement au-dessus des chambres d'entrée et de sortie d'hélium, en équipant ces chambres de couvercles

35

d'accès placés latéralement. Dans ce cas, les tubes intérieurs 14 devraient présenter une forme en hélice dans les chambres d'entrée et de sortie de gaz, afin de compenser les dilatations différentielles verticales.

5 Il est à noter que plusieurs modules d'échange de chaleur tels que le module décrit précédemment en se référant à la figure 1 peuvent être placés côte à côte pour constituer l'échangeur proprement dit.

10 L'échangeur sodium/eau à doubles tubes en U décrit précédemment en se référant aux figures 1 et 2 peut notamment être utilisé comme générateur de vapeur et placé soit dans une cuve satellite de la cuve principale d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides du type à boucles, soit directement dans la cuve principale
15 du réacteur. Cette dernière utilisation permet de simplifier l'installation et de la rendre plus compacte.

La mise en place d'un générateur de vapeur du type décrit précédemment en se référant aux figures 1
20 et 2 directement dans la cuve principale d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides de type intégré est illustrée par la figure 3.

Sur cette figure, la cuve 30 constitue la cuve principale d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides de type intégré. En d'autres termes, le coeur 78
25 du réacteur, les pompes primaires 82 et les échangeurs de chaleur constitués ici par des générateurs de vapeur 10 réalisés conformément à l'invention sont placés directement à l'intérieur de la cuve 30. Celle-ci est en outre remplie de sodium liquide 34 et obturée à son
30 extrémité supérieure par la dalle de fermeture 28 à laquelle sont suspendus les générateurs de vapeur 10.

Le coeur 78 du réacteur repose de façon connue sur le fond de la cuve 30 par un sommier d'alimentation et de supportage 80. Un redan 68 que traversent
35

Les générateurs de vapeur 10 et les pompes 82 délimitent à l'intérieur de la cuve 30 un collecteur chaud 34a situé principalement au-dessus du coeur 78 et un collecteur annulaire froid 34b situé à la périphérie de celui-ci. Comme on l'a décrit précédemment en se référant à la figure 1, l'étanchéité entre les collecteurs 34a et 34b est obtenue au niveau des générateurs de vapeur 10 par des pièces de transition 64 fixées de façon étanche autour des viroles 54a et 54b et coopérant avec la cuve interne 68 par des systèmes d'étanchéité à cloches de gaz 66.

Au moins un dispositif 76 est prévu au voisinage de l'extrémité inférieure de chacun des générateurs de vapeur, pour maintenir horizontalement les viroles 54a et 54b, tout en les laissant libres de se dilater verticalement.

Sous l'action des pompes primaires 82, le sodium 34 traverse de bas en haut le coeur 78 du réacteur, pour prélever une partie de la chaleur dégagée par la réaction de fission. Le sodium ainsi réchauffé pénètre dans les générateurs de vapeur 10 par les fenêtres d'entrée 56a et 56b (figures 1 et 2) et circule de bas en haut à l'intérieur des viroles 54a et 54b, autour des doubles tubes du faisceau. Le sodium refroidi sort dans le collecteur froid 34b par l'extrémité inférieure des viroles 54a et 54b, avant d'être repris par les pompes, qui le refoulent dans le sommier d'alimentation 80 par des conduites 84.

Chaque générateur de vapeur 10 peut se présenter sous la forme de modules séparés, ou par groupes de deux modules, ce qui permet de rendre les traversées de la dalle 28 circulaires.

Il est à noter que la présence de fenêtres d'entrée auxiliaires 62a et 62b (figures 1 et 2) sur les générateurs de vapeur 10 leur permet d'assurer les

fonctions d'échangeurs de refroidissement du réacteur à l'arrêt, ce qui permet de faire l'économie des boucles spécialisées utilisées habituellement. La réduction de coût du réacteur apportée par la suppression du circuit intermédiaire de sodium est encore accrue par cette disparition.

La figure 4 représente une autre application de l'échangeur de chaleur décrit précédemment en se référant aux figures 1 et 2, dans le cas où celui-ci constitué un générateur de vapeur 10 placé dans une cuve annexe 30' distincte de la cuve principale (non représentée) contenant le coeur d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides.

La cuve 30' est suspendue à une dalle 28 sur laquelle repose également le générateur de vapeur 10. De façon plus précise, la dalle 28 présente une ouverture 32 à la périphérie de laquelle prend appui une pièce annulaire 26 à laquelle est suspendue la cuve 30'. La plaque 22 du générateur de vapeur repose directement sur la pièce 26.

La pièce de transition 64 est raccordée de façon étanche à la paroi verticale de la cuve 30, par l'intermédiaire d'un système d'étanchéité à cloche de gaz 66. Une conduite d'arrivée de sodium 90 en provenance de la cuve principale du réacteur débouche dans la cuve 30 au-dessus de la pièce de transition 64 et une conduite retour 92 débouche dans la cuve 30 en-dessous de la pièce de transition, pour ramener le sodium vers la cuve principale, sous l'action d'une pompe (non représentée).

De préférence, des tubulures de liaison 86 traversent la plaque 22 pour déboucher dans l'atmosphère de gaz neutre surplombant le sodium à l'intérieur de la cuve 30'. Ces tubulures 86 permettent de contrôler cette atmosphère.

Une tubulure de vidange 88 peut en outre être prévue au fond de la cuve 30'.

Comme dans l'application décrite précédemment, au moins un dispositif de guidage 76 est fixé sur la paroi de la cuve 30' pour maintenir horizontalement la partie inférieure des viroles 54a et 54b.

Bien entendu, d'autres applications du générateur de vapeur selon l'invention peuvent être envisagées sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Echangeur de chaleur à circulation intermédiaire de gaz neutre, apte à être monté dans une cuve (30, 30') contenant un fluide caloporteur liquide chauffant (34), caractérisé en ce qu'il comprend :
- 5 - un faisceau de doubles tubes en U (12) plongeant dans le fluide caloporteur contenu dans la cuve, ce faisceau étant constitué de tubes intérieurs (14) et de tubes extérieurs (16) délimitant un espace annulaire dans lequel circule le gaz, et comportant une branche 10 verticale à fluide chauffé descendant (12a), une branche verticale à fluide chauffé ascendant (12b) et une partie inférieure cintrée (12c) joignant lesdites branches ;
 - 15 - une chambre d'entrée de gaz (36a) et une chambre de sortie de gaz (36b), chacune de ces chambres étant délimitée à son extrémité inférieure par une plaque à tubes gaz/fluide caloporteur (20a, 20b) sur laquelle sont fixées de façon étanche les extrémités correspondantes des tubes extérieurs (16) ;
 - 20 - au moins une chambre d'entrée d'un fluide chauffé (44a) et au moins une chambre de sortie dudit fluide chauffé (44b) séparées respectivement de la chambre d'entrée de gaz (36a) et de la chambre de sortie de 25 gaz (36b) par une plaque à tubes fluide chauffé/gaz (42a, 42b) sur laquelle sont fixées de façon étanche les extrémités correspondantes des tubes intérieurs (14) ;
 - 30 - deux viroles (54a, 54b) entourant respectivement chacune des branches verticales (12a, 12b) du faisceau, ces viroles étant fixées aux plaques à tubes gaz/fluide caloporteur (20a, 20b), ouvertes à leurs extrémités inférieures et munies de fenêtres d'entrée de fluide caloporteur (56a, 56b, 62a, 62b) à leurs 35 extrémités supérieures ;

- une pièce de transition (64) fixée aux viroles (54a, 54b) en-dessous des fenêtres d'entrée de fluide caloporteur, pour séparer dans ladite cuve le fluide caloporteur entrant dans l'échangeur par les fenêtres d'entrée du fluide caloporteur sortant par les extrémités inférieures des viroles.

2. Echangeur de chaleur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les viroles (54a, 54b) présentent des fenêtres d'entrée principales de fluide caloporteur (56a, 56b) placées au-dessus d'un niveau normal (N_1) du fluide caloporteur dans la cuve et des fenêtres d'entrée auxiliaires calibrées de fluide caloporteur (62a, 62b) placées en-dessous d'un niveau minimal (N_2) du fluide caloporteur dans la cuve, chaque virole étant munie d'une cloche (60a, 60b) fixée au-dessus des fenêtres d'entrée principales (56a, 56b) et plongeant dans le fluide caloporteur jusqu'à un niveau inférieur audit niveau minimal (N_2), pour constituer un siphon d'alimentation en fluide caloporteur de cette virole.

3. Echangeur de chaleur selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les tubes extérieurs (16) sont lisses, les tubes intérieurs (14) étant munis sur leur surface extérieure d'ergots de centrage (70) et, dans la branche ascendante du faisceau, d'ailettes longitudinales ou hélicoïdales (72).

4. Echangeur de chaleur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les chambres d'entrée (44a) et de sortie (44b) de fluide chauffé sont placées latéralement par rapport aux chambres d'entrée (36a) et de sortie (36b) de gaz et séparées de ces dernières par des plaques à tubes fluide chauffé/gaz (42a, 42b) sensiblement verticales, les extrémités des tubes intérieurs fixées sur ces plaques à tubes fluide chauffé/gaz comportant des parties hori-

zontales (14a, 14b), les chambres d'entrée et de sortie de gaz étant obturées à leur extrémité supérieure par des couvercles amovibles (40a, 40b) et les chambres d'entrée et de sortie de fluide chauffé étant obturées
5 par des couvercles amovibles (52a, 52b) placés en vis-à-vis des plaques à tubes fluide chauffé/gaz.

5. Echangeur de chaleur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une tubulure (46a) débouchant dans la
10 chambre d'entrée de fluide chauffé (44a) et au moins une tubulure (46b) débouchant dans la chambre de sortie de fluide chauffé (44b), lesdites tubulures pouvant être raccordées à un circuit de fluide chauffé externe par l'intermédiaire de moyens de fermeture (48a, 48b)
15 permettant d'isoler l'échangeur par rapport à ce circuit et comprenant des moyens (50a, 50b) pour injecter un gaz de vidange apte à chasser le fluide chauffé hors de l'échangeur.

6. Echangeur de chaleur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les plaques à tubes gaz/fluide caloporteur (20a, 20b) sont fixées sur une pièce support horizontale (22) entourant lesdites viroles (54a, 54b), cette pièce support étant apte à reposer sur une dalle de fermeture
20 (28) de la cuve, pour assurer le supportage de l'échangeur.

7. Echangeur de chaleur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la pression du gaz circulant entre les tubes intérieurs (14) et extérieurs (16) est légèrement supérieure à la
30 pression du fluide chauffé circulant dans les tubes intérieurs (14).

8. Réacteur nucléaire à neutrons rapides comprenant une cuve principale (30) remplie de fluide caloporteur liquide chauffant (34) et contenant le coeur
35

(78) du réacteur, au moins un échangeur de chaleur (10) et au moins une pompe (82) apte à faire circuler le fluide caloporteur entre le coeur du réacteur et l'échangeur de chaleur, une cuve (68) interne à ladite cuve principale séparant le fluide caloporteur chaud sortant du coeur du réacteur du fluide caloporteur froid sortant de l'échangeur de chaleur, caractérisé en ce que ledit échangeur de chaleur (10) est réalisé conformément à l'une quelconque des revendications précédentes et constitue un générateur de vapeur qui traverse le redan (68) de façon étanche par l'intermédiaire d'un système d'étanchéité (66) à cloche de gaz, interposé entre ladite pièce de transition (64) et la cuve interne.

15 9. Réacteur nucléaire à neutrons rapides, comprenant une cuve principale remplie de fluide caloporteur liquide chauffant et contenant le coeur du réacteur, au moins une cuve secondaire (30') remplie de fluide caloporteur (34) et contenant au moins un échangeur de chaleur (10), une conduite aller (90) et une
20 conduite retour (92) reliant la cuve principale à la cuve secondaire, et au moins une pompe apte à faire circuler le fluide caloporteur entre le coeur du réacteur et l'échangeur de chaleur, caractérisé en ce que
25 ledit échangeur de chaleur (10) est réalisé conformément à l'une quelconque des revendications précédentes et constitue un générateur de vapeur, un système d'étanchéité à cloche de gaz (66) étant interposé entre ladite pièce de transition (64) et la cuve secondaire
30 (30'), à un niveau inférieur au niveau auquel la conduite aller (90) débouche dans la cuve secondaire et supérieur au niveau auquel la conduite retour (92) débouche dans la cuve secondaire.

35 10. Réacteur nucléaire selon l'une quelconque des revendications 8 et 9, caractérisé en ce que

L'extrémité inférieure desdites viroles (54a, 54b) est maintenue latéralement par des moyens de guidage (76).

11. Echangeur de chaleur selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le fluide caloporteur est du sodium liquide et le gaz neutre de l'hélium.

1.4

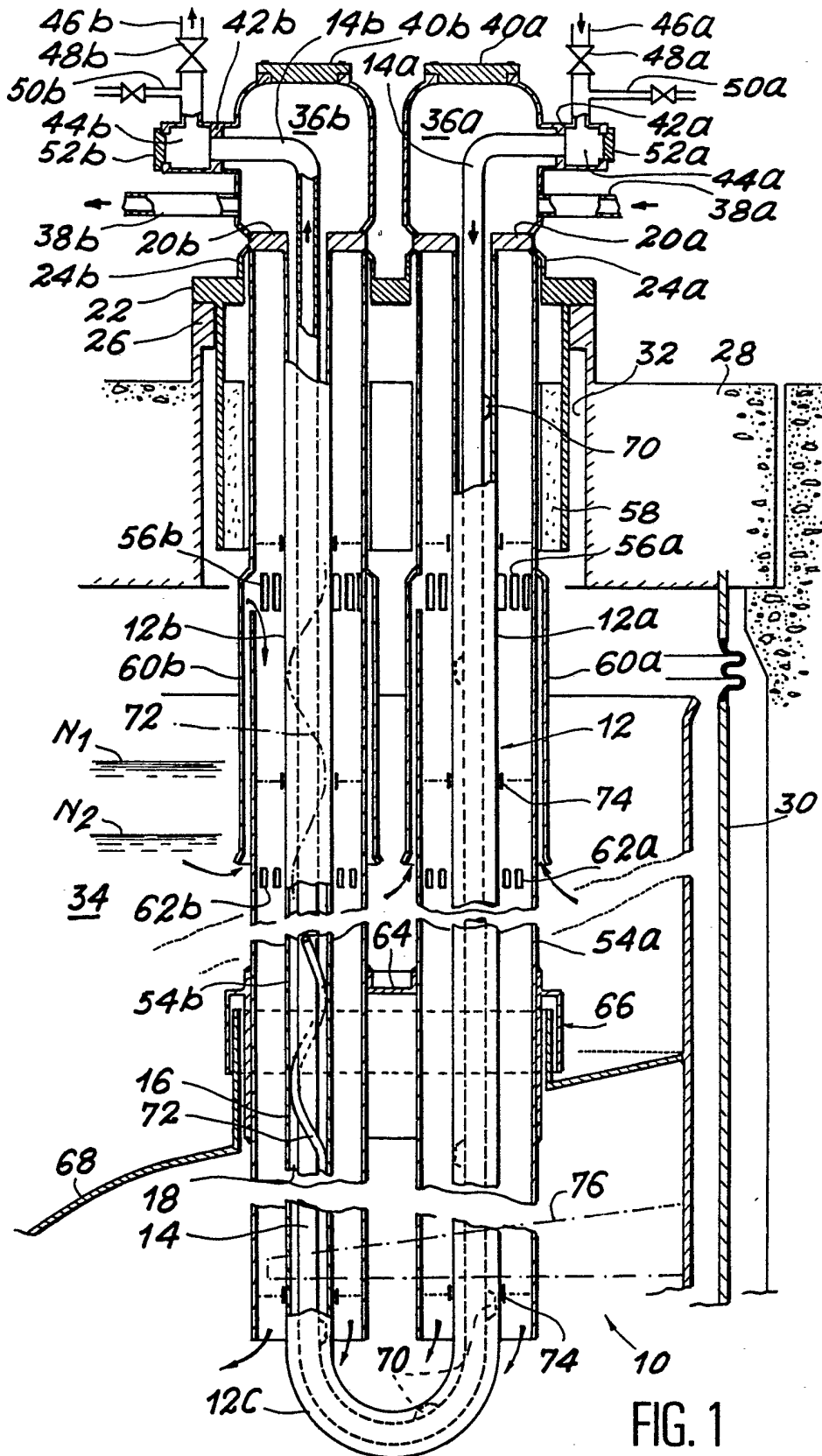


FIG. 1

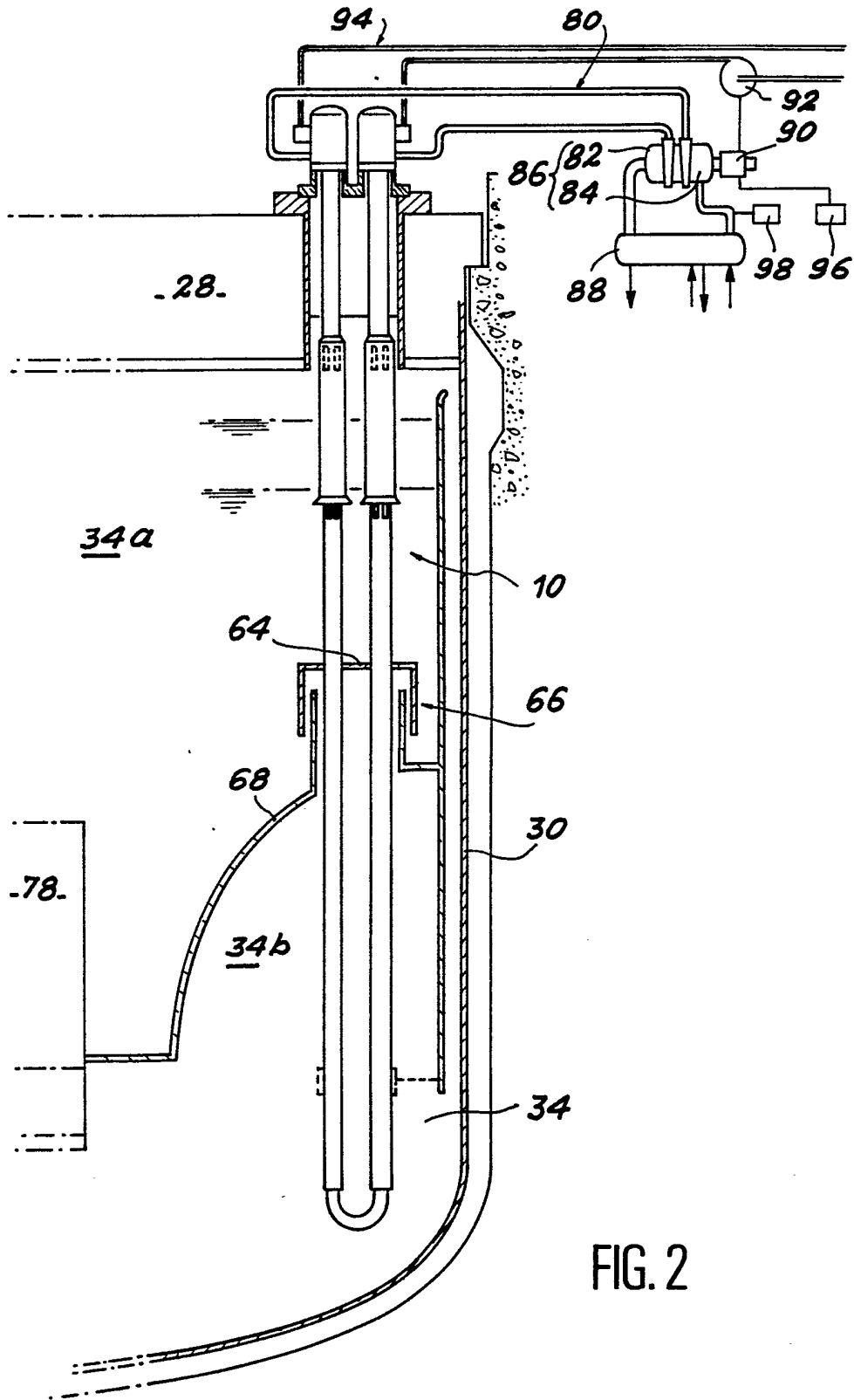


FIG. 3

