

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 09006

(54)

Echangeur thermique modulaire.

(51)

Classification internationale (Int. Cl.³). F 28 D 7/10; G 21 D 5/08.

(22)

Date de dépôt 22 avril 1980.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée :

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 43 du 23-10-1981.

(71)

Déposant : ELECTRICITE DE FRANCE (Service National) et COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE, résidant en France.

(72)

Invention de : Lucien Fabre, Michel Hery, Robert Lheureux, Gilbert Gros et Guy Petit.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Brevatome,
25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.

La présente invention concerne un échangeur thermique du type comprenant une enveloppe cylindrique à axe vertical dans laquelle la chaleur véhiculée par un fluide primaire circulant dans des tubes est transférée
5 à un fluide secondaire.

Des échangeurs de ce type sont utilisés notamment dans les réacteurs nucléaires afin de transférer la chaleur produite par la fission nucléaire dans le coeur du réacteur entre les circuits primaire et secondaire ou secondaire
10 et tertiaire de ce dernier. En particulier, des échangeurs thermiques de ce type peuvent être utilisés pour assurer un transfert de chaleur entre deux métaux liquides. Ces métaux liquides peuvent être constitués par exemple par du plomb et un mélange eutectique plomb-bismuth qui
15 circulent respectivement dans les circuits secondaire et tertiaire d'un réacteur à sel fondu, ou par le sodium qui circule dans les circuits primaire et secondaire des réacteurs à neutrons rapides.

Dans le cas particulier des réacteurs à sel fondu, l'échange de chaleur entre le sel du circuit
20 primaire et le plomb du circuit secondaire se fait par contact direct, de sorte que de fines gouttelettes de sel sont entraînées par le plomb. Les températures des tubes dans lesquels circule le plomb à l'intérieur de l'échangeur assurant le transfert thermique entre le plomb et le mélange
25 plomb-bismuth du circuit tertiaire sont inférieures au point de fusion du sel entraîné par le plomb. Le sel risque donc de se déposer sur les parois des tubes de l'échangeur. Cette situation peut conduire à un bouchage des tubes ou à une
30 défaillance affectant le faisceau d'échange.

La présente invention a principalement pour objet la réalisation d'un nouvel échangeur thermique permettant de résoudre les difficultés qui viennent d'être
35 mentionnées. Plus précisément, l'invention a pour objet la réalisation d'un échangeur thermique permettant d'isoler par des vannes un module défaillant sans que les performances globales de l'échangeur ne soient sensiblement

affectées, tout en autorisant une intervention à distance et de courte durée pour remplacer la partie défailante de l'échangeur. L'invention a également pour objet de réaliser un échangeur dont l'encombrement et le prix sont voisins de ceux d'un échangeur classique du même type.

De plus, bien que l'échangeur selon l'invention soit particulièrement adapté à la réalisation de l'échange de chaleur entre le plomb secondaire et le mélange tertiaire plomb-bismuth dans les réacteurs à sel fondu, l'invention n'est pas limitée à ce type d'échangeur et s'applique aussi, notamment, aux échangeurs sodium/sodium équipant les réacteurs à neutrons rapides.

Afin de satisfaire aux exigences mentionnées précédemment, un échangeur thermique comprenant une enveloppe cylindrique à axe vertical dans laquelle la chaleur véhiculée par un fluide primaire circulant dans des tubes est transférée à un fluide secondaire se caractérise selon la présente invention en ce que les tubes sont agencés en modules démontables disposés en couronne à l'intérieur de l'enveloppe, cette dernière présentant un couvercle amovible autorisant le montage et le démontage des modules.

Grâce à cette structure particulière, il est possible d'isoler un module sans affecter de façon sensible le fonctionnement de l'échangeur et d'intervenir à distance pour remplacer un module défailant.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, chaque module est constitué d'un faisceau de tubes droits verticaux dont la section droite s'inscrit dans un secteur de l'enveloppe, les tubes débouchant à leurs extrémités dans des boîtes d'entrée et de sortie qui communiquent avec des tuyauteries traversant l'enveloppe de l'échangeur.

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, dite à modules vidangeables, les tuyauteries d'entrée et de sortie de chaque module traversent l'enveloppe de l'échangeur respectivement au-dessus et en-dessous des

modules, de sorte que chaque module peut être vidangé avant son démontage. Ce premier mode présente l'avantage de permettre une manutention des modules à température ambiante après vidange des fluides primaire et secondaire contenus dans l'échangeur.

Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, dite à modules non vidangeables, les tuyauteries d'entrée et de sortie de chaque module traversent l'enveloppe de l'échangeur au-dessus des modules. Dans cette solution, il n'est pas possible de vidanger les modules, de sorte que la manutention de ces derniers doit être effectuée à chaud. Cependant, le montage et le démontage des raccords disposés dans les tuyauteries d'entrée et de sortie sont facilités par le fait qu'ils sont tous placés au-dessus du module à proximité immédiate du couvercle de l'enveloppe cylindrique.

On décrira maintenant, à titre d'exemple non limitatif, deux modes de réalisation de l'invention en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

la figure 1 est une vue en coupe longitudinale schématique d'un échangeur thermique à axe vertical dont les tubes sont agencés en modules vidangeables,

la figure 2 est une vue en coupe selon la ligne II-II de la figure 1,

la figure 3 est une vue en coupe longitudinale schématique d'un échangeur thermique à axe vertical dont les tubes sont agencés en modules non vidangeables, et

la figure 4 est une vue en coupe selon la ligne IV-IV de la figure 3.

Dans le mode de réalisation des figures 1 et 2, l'échangeur thermique selon l'invention comprend une enveloppe cylindrique 10 d'axe vertical, dont le fond de forme bombée est muni en son centre d'une tubulure d'entrée 12 du fluide secondaire et dont le haut est obturé par un couvercle ou calotte démontable 14, de forme bombée. La

jonction étanche entre le couvercle 14 et la virole cylindrique de l'enveloppe 10 est réalisée au moyen d'une bride boulonnée munie d'un joint d'étanchéité annulaire. Une ou des tubulures de sortie 16 sont prévues à la partie supérieure de la virole cylindrique et disposées radialement par rapport à l'axe vertical de cette virole.

Le fluide secondaire qui circule entre la tubulure d'entrée 12 et les tubulures de sortie 16 est constitué par un mélange eutectique plomb/bismuth lorsque l'échangeur est disposé entre le circuit secondaire et le circuit tertiaire d'un réacteur à sel fondu. Lorsque l'échangeur est disposé entre le circuit primaire et le circuit secondaire d'un réacteur à neutrons rapides, ce fluide est constitué par du sodium.

Conformément à la présente invention, l'échangeur comprend également des modules démontables 18 disposés en couronne à l'intérieur de l'enceinte 10 et qui sont constitués par des faisceaux de tubes droits verticaux 20. Le fluide primaire qui circule dans les tubes 20 peut être constitué par le plomb du circuit secondaire d'un réacteur à sel fondu ou par le sodium du circuit primaire d'un réacteur à neutrons rapides.

De façon plus précise, seize modules dont la section droite s'inscrit dans un secteur de l'enveloppe 10 comme l'illustre la figure 2 sont régulièrement répartis à l'intérieur de cette dernière. Chacun des modules 18 comprend deux plaques à tubes 22 auxquelles sont fixés les tubes 20, un collecteur supérieur d'entrée 24, un collecteur inférieur de sortie 26, une tuyauterie d'entrée 28 débouchant dans le collecteur 24 et une tuyauterie de sortie 30 débouchant dans le collecteur de sortie 26. Des raccords 32 et 34 de type à serrage par demi-colliers susceptibles d'être montés et démontés à distance au moyen d'un outillage approprié sont disposés sur les canalisations d'entrée 28 et de sortie 30 à l'intérieur de l'enveloppe 10. Ces raccords peuvent notamment être du type connu sous la marque "CONOSEAL".

Dans le mode de réalisation représenté sur les figures 1 et 2, les tuyauteries d'entrée 28 traversent la virole cylindrique de l'enveloppe 10 au-dessus des modules 18 et en-dessous des tubulures de sortie 16, alors que les tuyauteries de sortie 30 traversent la virole cylindrique de l'enveloppe 10 en-dessous des modules 18. Plus précisément, les tuyauteries d'entrée 28 et de sortie 30 traversent la virole cylindrique par des parties radiales dont les axes sont disposés dans deux plans horizontaux situés respectivement au-dessus et en-dessous des modules 18. Des manchettes thermiques 36 et 38 sont prévues pour raccorder les tuyauteries 28 et 30 à la virole cylindrique de l'enveloppe 10.

Afin d'acheminer le fluide secondaire pénétrant par la tubulure d'entrée 12 vers les modules 18, un noyau cylindrique 40 est disposé dans l'axe de l'enveloppe 10 et présente en vis-à-vis de la tubulure d'entrée 12 une extrémité en forme d'ogive 42. L'extrémité en forme d'ogive 42 du noyau 40 est reposé sur des éléments appropriés 44 qui maintiennent le noyau 40 espacé de la tubulure d'entrée 12 tout en permettant au fluide secondaire de s'acheminer jusqu'aux modules 18. Le diamètre du noyau 40 au niveau des modules 18 est légèrement inférieur au diamètre de l'espace cylindrique défini entre ces derniers, de façon à permettre au fluide secondaire d'entrer et de sortir des modules 18 sans permettre un passage direct de ce fluide vers les tubulures de sortie 16. L'extrémité supérieure du noyau 40 est centrée par des éléments en étoile démontables 46 fixés à la virole cylindrique de l'enveloppe 10 entre les tubulures de sortie 16 et la traversée de cette virole par les tuyauteries 28.

Cette configuration particulière du noyau 40 permet d'effectuer facilement sa dépose qui est absolument indispensable au montage et au démontage des modules 18 dans la variante de réalisation des figures 1 et 2.

Un baffle 48 est disposé dans l'espace annulaire défini entre la virole cylindrique de l'enveloppe 10 et les

modules 18. Comme le noyau 40, le baffle 48 a pour but d'acheminer le fluide secondaire provenant de la tubulure 12 vers les modules 18, c'est-à-dire de permettre l'entrée et la sortie de ce fluide entre les tubes des faisceaux constituant les différents modules sans autoriser le passage direct du fluide secondaire vers les tubulures de sortie 16. A cet effet, le diamètre interne du baffle 48 est légèrement supérieur au diamètre externe de l'enveloppe définie par les modules 18.

Dans le mode de réalisation représenté sur les figures 1 et 2, on remarquera que les tubes droits verticaux 20 des modules 18 présentent des ondulations 50, des lyres de dilatation, ou toute autre forme équivalente permettant de compenser la dilatation différentielle entre les tubes 20 et l'enveloppe 10 à laquelle sont reliées les tuyauteries d'entrée 28 et de sortie 30 qui déterminent la position relative des collecteurs d'entrée 24 et de sortie 26.

Dans la structure particulière qui vient d'être décrite en se référant aux figures 1 et 2, il est possible d'isoler un module par des vannes placées sur les tubulures 28 et 30 entre l'échangeur et les sous-collecteurs le reliant au réacteur sans modifier de façon notable les performances de l'échangeur. Il est également possible de le changer à distance en un temps relativement court suivant le processus exposé ci-après. Cela devient nécessaire lors d'un bouchage des tubes 20 ou d'une défaillance quelconque affectant le faisceau de tubes de l'un des modules 18. Tel peut être le cas notamment lorsque l'échangeur est disposé entre le circuit secondaire et le circuit tertiaire d'un réacteur à sel fondu. En effet, dans ce type de réacteur, le plomb fondu du circuit secondaire pénètre à une température d'environ 550°C dans les tubes 20 et en ressort à une température d'environ 350°C, de telle sorte que les gouttelettes de sel du circuit primaire véhiculées par le plomb se trouvent à une température inférieure à leur point de fusion et

peuvent se déposer sur les parois des tubes 20.

Chaque faisceau modulaire comporte des éléments de structure de type connu, par exemple des grilles entretoises (non représentées) leur assurant une bonne tenue
5 mécanique et servant d'entretoises entre les tubes 20. En outre des pièces de guidage 52 et 54 solidaires de l'enveloppe 10 de l'échangeur, sur lesquelles prennent appui les modules, permettent de limiter les contraintes sur les tuyauteries 28 et 30 et facilitent la mise en place des
10 faisceaux modulaires.

Le changement d'un module 18 s'effectue en isolant du circuit primaire l'échangeur dans lequel il se trouve au moyen de vannes d'isolement externes placées directement à la sortie du réacteur (non représentées) et en vidangeant
15 l'échangeur du fluide secondaire qu'il contient par la tubulure d'entrée 12. Dans le mode de réalisation des figures 1 et 2, les modules 18 sont également vidangés du fluide primaire par des purges placées sur les sous-collecteurs dans lesquels débouchent les tuyauteries de sortie 30.
20 Ainsi, les opérations de manutention peuvent ensuite être effectuées à la température ambiante.

La manutention proprement dite, effectuée de préférence à distance au moyen d'un appareillage approprié de type connu en soi, débute par le démontage du couvercle
25 14. Le noyau central 40 peut alors être déposé après démontage des éléments de centrage 46 en étoile. Cette dépose du noyau 40 est nécessaire pour permettre d'accéder au raccord démontable 34 disposé en-dessous du module 18 à remplacer. Les raccords 32 et 34 de ce module sont ensuite démontés et
30 le module est extrait par la partie supérieure de l'enveloppe 10 et remplacé par le même module remis en état ou par un autre module dont la mise en place et l'installation s'effectuent dans l'ordre inverse des opérations qui viennent d'être décrites, le module extrait peut être remis en
35 état et reprendre sa place.

Comme on l'a déjà mentionné, ce premier mode de

réalisation de l'invention présente l'avantage d'autoriser une intervention à température ambiante mais a pour inconvénient d'exiger un démontage du noyau 40 et de nécessiter la présence d'ondulations 50 sur les tubes 20.

5 On décrira maintenant le second mode de réalisation de l'invention en se référant aux figures 3 et 4. Dans cette seconde variante, les éléments correspondant à des éléments identiques du premier mode de réalisation de l'invention sont désignés par les mêmes numéros de référence
10 augmentés de 100.

 Cette seconde variante diffère essentiellement du premier mode par le fait que les tuyauteries de sortie 130 du fluide primaire ne traversent pas la virole cylindrique de l'enveloppe 110 en-dessous des modules 118, mais au
15 contraire au-dessus de ces derniers et, plus précisément, entre les tubulures de sortie 116 du fluide secondaire et les tuyauteries d'entrée 128 du fluide primaire. A cet effet, et comme l'illustrent les figures 3 et 4, les tuyauteries de sortie 130 comprennent à la sortie des collecteurs
20 126 un coude à 180° que prolonge une partie rectiligne disposée entre le module 118 correspondant et le noyau 140. L'extrémité de cette partie rectiligne est courbée radialement vers l'extérieur au-dessus de la tuyauterie d'entrée 128 correspondante, de telle sorte que le raccord démontable
25 134 peut être disposé juste au-dessus du raccord 132. Comme l'illustre la figure 4, on voit que la totalité de la tuyauterie 130, et notamment la partie rectiligne de celle-ci disposée entre le module 118 et le noyau 140, est disposée dans le même secteur de l'enveloppe 110 que le module
30 118 correspondant.

 Dans cette variante, pour empêcher le fluide secondaire de remonter entre les tuyauteries 130 dans leur partie verticale, chaque module est muni d'une cloison 156 dans la zone intérieure du secteur qu'il constitue. Cette
35 cloison solidaire des éléments de structure des modules est courbée à 90° à sa partie inférieure 158 autour des tubes 130

et laisse le fluide secondaire s'introduire dans le faisceau en partie basse et s'échapper en partie haute.

Par rapport au premier mode des figures 1 et 2, cette seconde variante de réalisation de l'invention présente le double avantage d'autoriser un montage et un 5 démontage faciles des raccords 132 et 134 sans nécessiter le démontage du noyau 140 et de permettre l'utilisation de tubes 120 parfaitement rectilignes puisqu'elle supprime tout problème de dilatation différentielle au niveau de ces 10 derniers. Cependant, cette variante présente l'inconvénient de ne pas permettre la vidange du module 118 à changer. Il en résulte que les différentes manutentions doivent être effectuées à une température suffisante pour éviter la solidification du fluide primaire circulant dans les tubes 15 120. Ainsi, lorsque ce fluide est constitué par du plomb, la température ambiante doit être maintenue à au moins 350°C afin d'éviter la solidification du plomb contenu dans le faisceau de tubes 120. Cette température élevée complique la manutention à distance des différents éléments de l'échan- 20 geur en nécessitant l'utilisation d'un outillage télécom- mandé adapté à ces conditions particulières.

Dans le second mode de réalisation des figures 3 et 4, comme on vient de le voir, lorsqu'il est nécessaire de remplacer l'un des modules 118, seul le fluide secondaire 25 contenu dans l'enveloppe 110 peut être vidangé alors que le fluide primaire contenu dans les modules 118 doit être maintenu à l'état liquide en maintenant la température à une valeur au moins égale à 350°C. Dans ces conditions, le couvercle 114 ainsi que l'étoile de centrage 146 du noyau 30 140 peuvent être démontés. Cependant, à l'inverse du mode de réalisation décrit précédemment, le noyau 140 peut être maintenu en place puisque les deux raccords 132 et 134 sont immédiatement accessibles au-dessus du module à remplacer. Lorsque ces raccords sont démontés, le module 118 est retiré, 35 puis remplacé par un module du même type ou par lui-même

après remise en état dont la mise en place à l'intérieur de l'enveloppe 110 s'effectue dans l'ordre inverse des opérations qui viennent d'être décrites.

Conformément à la présente invention et dans les
5 deux modes de réalisation décrits, le volume et le coût de l'échangeur sont voisins de ceux d'un échangeur classique de performances comparables. De plus, le nombre des modules est suffisant pour que l'isolement de l'un d'entre eux n'affecte pas sensiblement les performances globales de l'échangeur.
10 Enfin, le module défaillant peut être remplacé facilement par une intervention à distance et de courte durée.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux deux modes de réalisation qui viennent d'être décrits à titre d'exemple. Ainsi, dans la seconde variante décrite,
15 les tuyauteries de sortie 130 du fluide primaire peuvent éventuellement traverser l'enveloppe 110 au-dessus des tubulures de sortie 116 du fluide secondaire, ce qui présente l'avantage de ne pas refroidir ce dernier par le fluide primaire froid avant sa sortie de l'échangeur. D'autre
20 part, dans les deux modes de réalisation décrits, les raccords démontables à distance qui permettent l'extraction de chaque module peuvent être supprimés. Le démontage et le montage des modules s'effectuent alors automatiquement à distance en sciant les tuyauteries et en les soudant.

REVENDECATIONS

1. Echangeur thermique comprenant une enveloppe cylindrique (10) à axe vertical dans laquelle la chaleur véhiculée par un fluide primaire circulant dans des tubes (20) est transférée à un fluide secondaire, caractérisé en ce que les tubes (20) sont agencés en modules (18) démontables disposés en couronne à l'intérieur de l'enveloppe (10), cette dernière présentant un couvercle (14) amovible autorisant le montage et le démontage des modules (18).
2. Echangeur thermique selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque module (18) est constitué d'un faisceau de tubes droits verticaux (20) dont la section droite s'inscrit dans un secteur de l'enveloppe (10), les tubes (20) débouchant à leurs extrémités dans des collecteurs d'entrée (24) et de sortie (26) qui communiquent avec des tuyauteries d'entrée (28) et de sortie (30) traversant l'enveloppe (10) de l'échangeur.
3. Echangeur thermique selon la revendication 2, caractérisé en ce que les tuyauteries d'entrée (28) et de sortie (30) de chaque module (18) traversent l'enveloppe (10) de l'échangeur respectivement au-dessus et en-dessous des modules (18), de sorte que chaque module peut être vidangé avant son démontage.
4. Echangeur thermique selon la revendication 2, caractérisé en ce que les tuyauteries d'entrée (128) et de sortie (130) de chaque module (118) traversent l'enveloppe (110) de l'échangeur au-dessus des modules (118).
5. Echangeur thermique selon la revendication 4, caractérisé en ce que les tuyauteries de sortie (130) présentent une partie verticale disposée dans le même secteur de l'enveloppe (110) que le module (118) correspondant et radialement vers l'intérieur par rapport à ce dernier, de sorte que les tuyauteries de sortie (130) traversent l'enveloppe (110) de l'échangeur au-dessus des tuyauteries d'entrée (128).

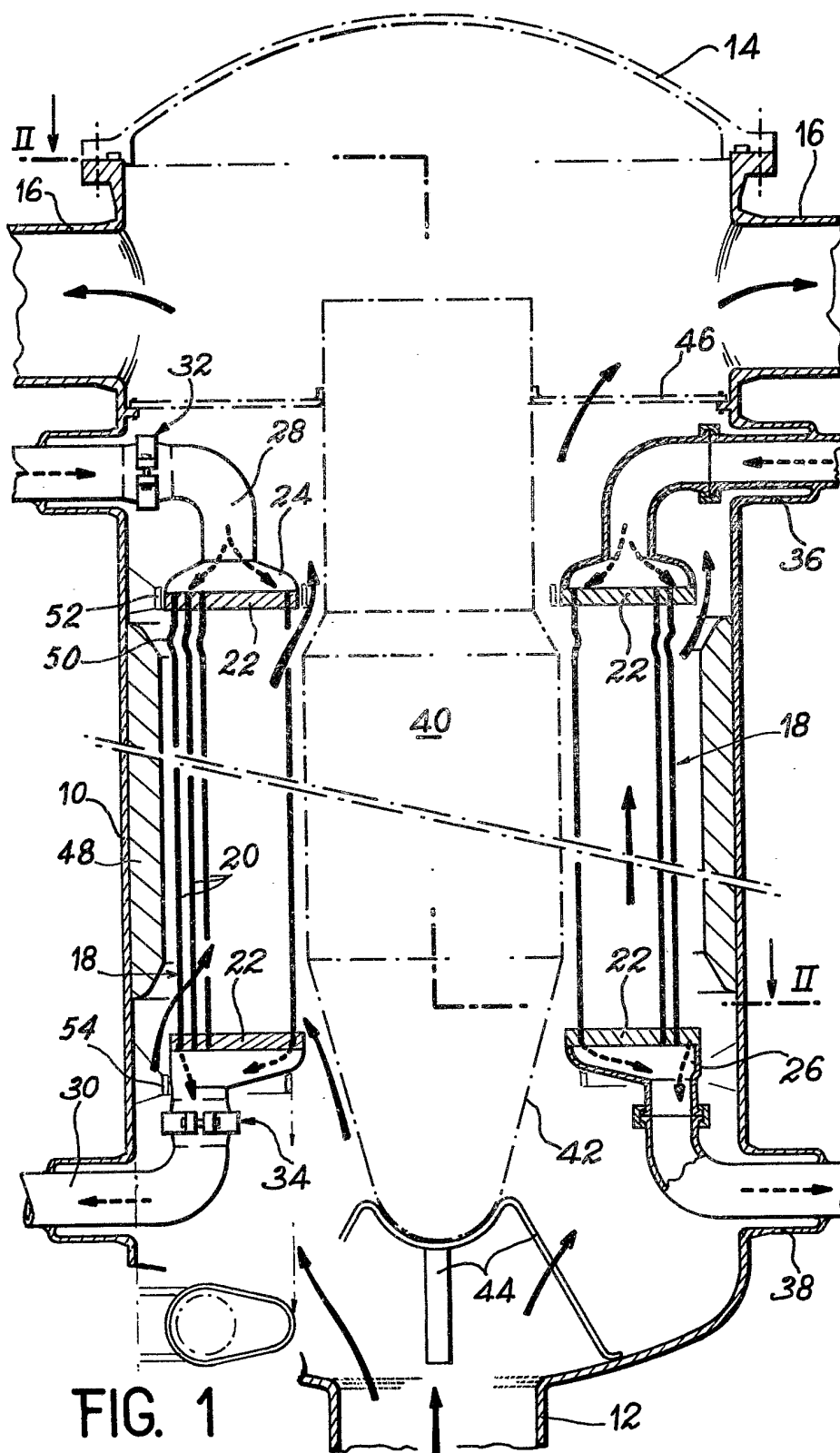
6. Echangeur thermique selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que l'enveloppe (10) présente à sa partie inférieure une tubulure d'entrée (12) du fluide secondaire disposée dans l'axe de l'enveloppe et, à sa partie supérieure, au moins une tubulure de sortie (16) du fluide secondaire disposée radialement par rapport à l'axe de l'enveloppe, un noyau central (40) étant disposé dans le prolongement de la tubulure d'entrée (12) pour diriger le fluide secondaire vers les modules démontables (18).

7. Echangeur thermique selon la revendication 6, prise en combinaison avec la revendication 3, caractérisé en ce que le noyau central (40) est démontable.

8. Echangeur thermique selon l'une quelconque des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce qu'un baffle (48) est disposé dans l'espace annulaire défini entre l'enveloppe (10) de l'échangeur et les modules démontables (18) afin de diriger le fluide secondaire vers ces derniers.

9. Echangeur thermique selon l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisé en ce que chacune des tuyauteries (28,30) est équipée d'un raccord démontable (32, 34) susceptible d'être monté et démonté à distance au moyen d'un outillage approprié.

1/3



2/3

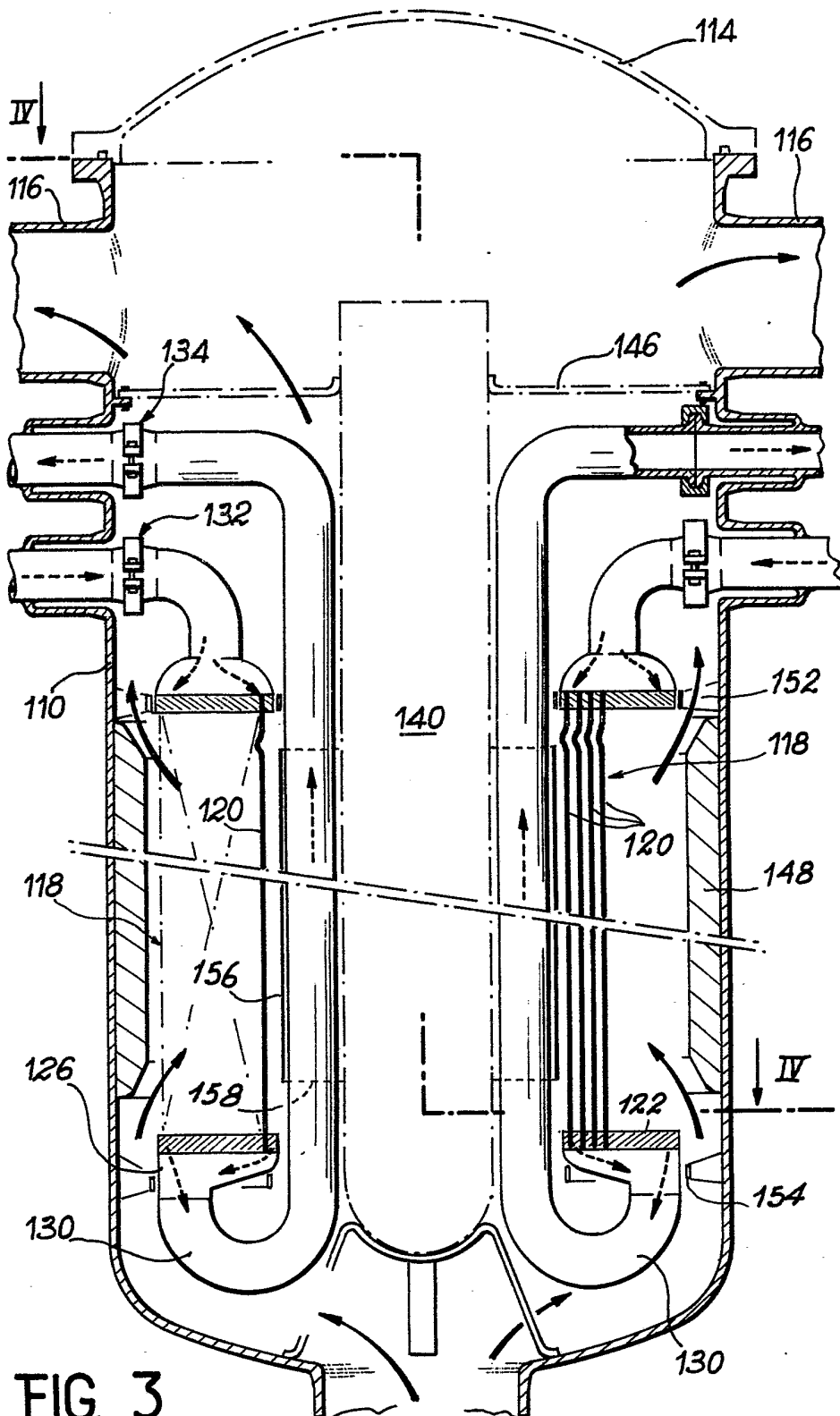


FIG. 3

3/3

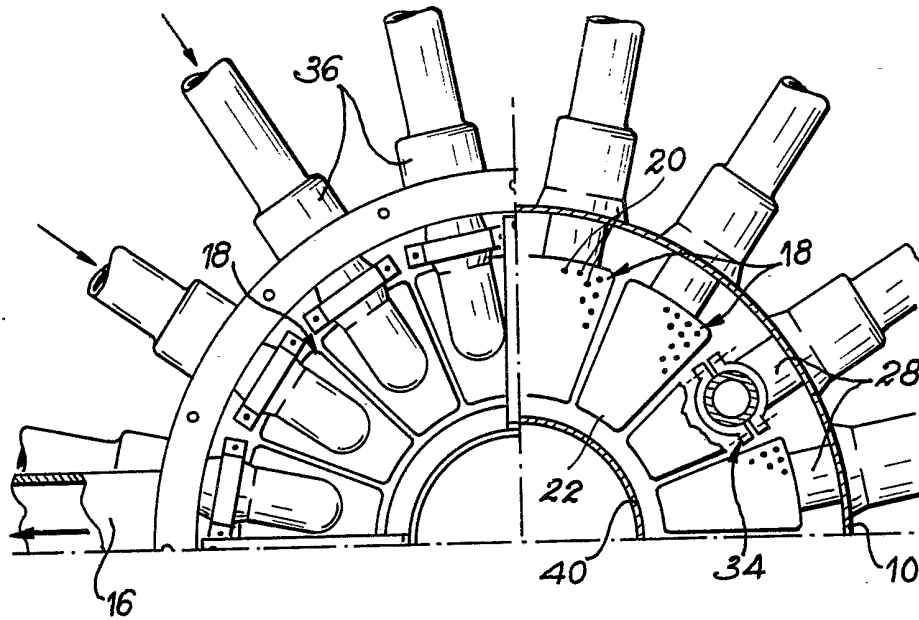


FIG. 2

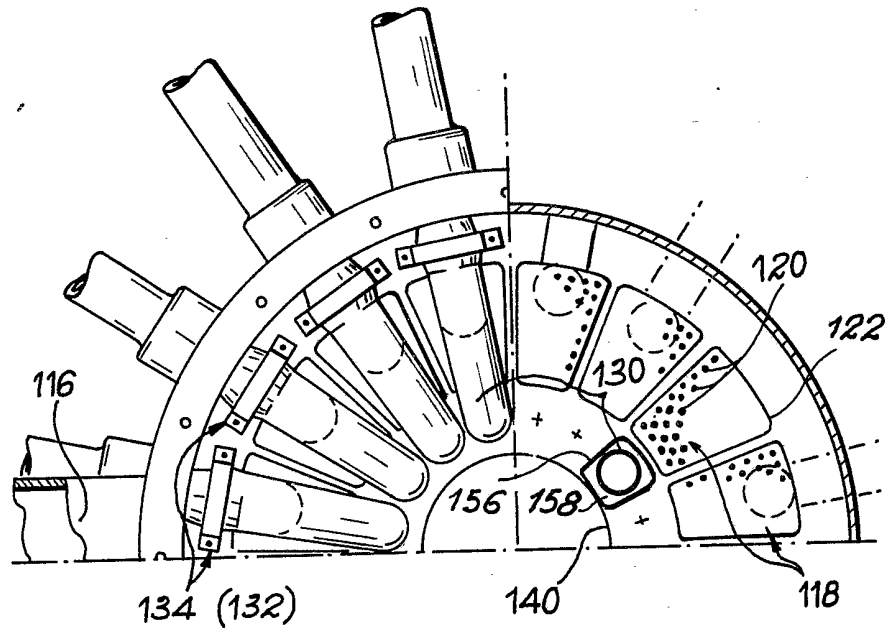


FIG. 4