

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

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

**2 535 836**

②1 N° d'enregistrement national : **82 18571**

⑤1 Int Cl<sup>3</sup> : F 28 D 1/04 // G 21 D 5/08.

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 5 novembre 1982.

③0 Priorité

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 19 du 11 mai 1984.

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

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

⑦2 Inventeur(s) : Jean-Louis Pierrey.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Lucien Bouget.

⑤4 Echangeur de chaleur pour fluides à température élevée dont l'un des fluides entre et sort par la partie supérieure de l'échangeur.

⑤7 L'invention concerne un échangeur de chaleur pour fluides à température élevée dont l'un des fluides entre et sort de l'échangeur par sa partie supérieure.

L'échangeur comporte un faisceau 35 à tubes droits verticaux dont la paroi interne sert de conduit d'amenée 46 du fluide à chauffer. Cette paroi interne est constituée par une première virole 45 à axe vertical soudée à la plaque tubulaire inférieure 39, une seconde virole 46 coaxiale à la première et également fixée à la plaque tubulaire 39 et une troisième virole 47 fixée à la plaque tubulaire supérieure 40 et prolongée vers le bas entre les deux plaques 39 et 40. Les trois viroles sont reliées à la partie supérieure de l'échangeur de façon à ménager deux chambres 54 et 55 remplies de gaz neutre. La virole interne 45 est reliée à un conduit d'arrivée 48 du fluide à chauffer.

L'invention s'applique, en particulier, aux échangeurs de chaleur intermédiaires des réacteurs nucléaires à neutrons rapides de type intégré.



Echangeur de chaleur pour fluides à température élevée dont l'un des fluides entre et sort par la partie supérieure de l'échangeur

L'invention concerne un échangeur de chaleur à deux fluides dont l'un des fluides entre dans l'échangeur et ressort de cet échangeur par sa partie supérieure.

On utilise de tels échangeurs, par exemple, dans les réacteurs nucléaires à neutrons rapides de type intégré où l'on prélève la chaleur dégagée par le coeur du réacteur grâce à du sodium primaire contenu dans la cuve du réacteur et dans lequel plonge le coeur du réacteur. La chaleur est transmise au générateur de vapeur par l'intermédiaire de sodium secondaire qui est échauffé par le sodium primaire dans des échangeurs de chaleur plongeant dans le sodium primaire remplissant la cuve appelés échangeurs de chaleur intermédiaires. Le sodium secondaire entre dans ces échangeurs intermédiaires par leur partie supérieure, au-dessus de la dalle fermant la cuve du réacteur, et doit de même ressortir de l'échangeur de chaleur intermédiaire par sa partie supérieure, au-dessus de la dalle.

De tels échangeurs de chaleur comportent un faisceau tubulaire de forme annulaire et à tubes droits verticaux dans lesquels le sodium secondaire est amené à circuler de bas en haut. Le faisceau tubulaire comporte deux plaques tubulaires annulaires à sa partie inférieure et à sa partie supérieure respectivement. Le sodium secondaire est amené sous la plaque tubulaire inférieure pour être mis en circulation dans les tubes du faisceau, par un conduit vertical central traversant l'échangeur sur toute sa hauteur et relié à sa partie supérieure à un conduit d'arrivée du sodium secondaire. A sa sortie du faisceau, le sodium secondaire pénètre dans un conduit annulaire disposé coaxialement par rapport au conduit d'arrivée du sodium secondaire et débouchant également à la partie supérieure de l'échangeur. Le faisceau tubulaire est plongé dans le sodium primaire qu'on fait circuler en contact avec la surface extérieure des tubes du faisceau grâce à des pompes de circulation plongeant dans le sodium primaire contenu dans la cuve du réacteur.

Le conduit d'amenée du sodium secondaire sous la plaque inférieure du faisceau tubulaire est constitué par une double paroi cylindrique à axe vertical constituant également la paroi interne du faisceau tubulaire. Cette double paroi cylindrique est constituée par une première virole soudée aux deux plaques tubulaires du faisceau, le long de leurs bord internes et prolongée vers le haut jusqu'au niveau supérieur de l'échangeur et par une seconde virole cylindrique coaxiale à la première fixée à la plaque

inférieure du faisceau tubulaire le long de son bord interne et reliée à sa partie supérieure au conduit d'arrivée du sodium secondaire. Cette seconde virole est disposée à l'intérieur de la première, les deux viroles étant reliées à leur partie supérieure par un joint de dilatation étanche permettant d'établir une atmosphère gazeuse d'isolation thermique (par exemple de l'argon) dans l'espace annulaire entre les deux viroles constituant la paroi interne du faisceau tubulaire et le conduit d'arrivée du sodium secondaire. Cette couche gazeuse permet également d'isoler thermiquement le sodium secondaire entrant dans l'échangeur de chaleur du sodium secondaire sortant échauffé du faisceau tubulaire.

Dans les échangeurs de chaleur de grande dimension et en particulier dans les échangeurs intermédiaires des réacteurs nucléaires à neutrons rapides qui fonctionnent à des températures élevées, il existe des gradients de température importants qui se traduisent par des contraintes de grande amplitude dans les éléments constituant ces échangeurs.

En particulier, la virole externe du conduit d'amenée du sodium secondaire qui est soudée à la fois à la plaque tubulaire inférieure et à la plaque tubulaire supérieure du faisceau est très fortement sollicitée. L'ensemble constitué par cette virole, les tubes du faisceau et les plaques tubulaires est en effet monobloc et hyperstatique. Dans cet ensemble, les différents éléments, par exemple la virole et les tubes du faisceau, ont des rigidités très différentes.

L'échangeur de chaleur subit donc des dilatations et des déformations différentielles importantes dans sa partie centrale comportant la paroi interne du faisceau tubulaire.

Le but de l'invention est donc de proposer un échangeur de chaleur pour fluides à température élevée dont l'un, ou premier fluide, entre dans l'échangeur à sa partie supérieure, circule de bas en haut à l'intérieur de l'échangeur dans les tubes verticaux droits d'un faisceau de forme annulaire à axe vertical comportant une plaque tubulaire inférieure et une plaque tubulaire supérieure annulaires ainsi qu'une paroi interne cylindrique centrale coaxiale au faisceau, servant de conduit d'amenée du premier fluide sous la plaque tubulaire inférieure et enfin, sort de l'échangeur à sa partie supérieure, par un conduit de sortie annulaire coaxial au conduit d'amenée du fluide et isolé thermiquement de celui-ci, le second fluide circulant au contact de la surface externe des tubes du faisceau, cet échangeur de chaleur ne subissant pas de contraintes d'origine thermique ou mécanique excessives, dans sa partie centrale comportant la paroi interne du

faisceau tubulaire.

Dans ce but, la paroi interne servant de conduit d'amenée du premier fluide est constituée par :

- une première virole cylindrique à axe vertical soudée à sa partie inférieure à la plaque tubulaire inférieure de l'échangeur suivant son bord interne et reliée à sa partie supérieure à une conduite d'arrivée du premier fluide,
  - une seconde virole coaxiale à la première, fixée à la plaque tubulaire inférieure, disposée à l'extérieur de la première virole et prolongée vers le haut nettement au-dessus de la plaque tubulaire supérieure,
  - une troisième virole coaxiale aux deux premières, fixée à la plaque tubulaire supérieure le long de son bord interne, disposée à l'extérieur de la seconde virole, prolongée vers le bas jusqu'à un niveau situé entre les deux plaques tubulaires et vers le haut sensiblement au niveau de la partie supérieure de la seconde virole,
- la troisième virole étant reliée à la partie supérieure des deux autres, le long de son bord supérieur, de sorte qu'une chambre annulaire étanche soit constituée par les deux premières viroles et remplie de gaz et qu'une chambre annulaire débouchant à sa partie inférieure dans le second fluide circulant au contact du faisceau soit limitée par la seconde et la troisième viroles, cette dernière chambre annulaire étant reliée à une source de gaz neutre.

Afin de bien faire comprendre l'invention, on va maintenant décrire à titre d'exemple non limitatif, en se reportant aux figures jointes en annexe, un échangeur de chaleur intermédiaire d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides de type intégré, selon l'art antérieur et un échangeur de chaleur intermédiaire selon l'invention.

La figure 1 représente, dans une vue en coupe par un plan vertical, un échangeur de chaleur intermédiaire selon l'art antérieur.

La figure 2 représente, dans une demi-vue en coupe par un plan vertical de symétrie, un échangeur de chaleur suivant l'invention.

Sur la figure 1, on voit un échangeur de chaleur traversant la dalle 1 fermant la cuve d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides par un passage 2 comportant un ensemble 3 permettant la protection radiologique et limitant la circulation de courants de convection entre l'échangeur et l'ouverture 2.

La partie inférieure de l'échangeur comportant un faisceau tubulaire 5 plonge sous le niveau supérieur 4 du sodium liquide remplissant la

cuve et constituant le fluide primaire du réacteur. Ce fluide primaire est mis en circulation par des pompes plongeant dans la cuve de façon qu'il pénètre par la fenêtre d'entrée 6 de l'échangeur de chaleur, à sa sortie du coeur. Le sodium primaire circule en contact avec les tubes du faisceau 5 pour ressortir par la fenêtre de sortie 7 de l'échangeur de chaleur. Entre les fenêtres 6 et 7, le faisceau tubulaire est entouré d'une enveloppe cylindrique 8.

Le faisceau tubulaire comporte deux plaques tubulaires, une plaque tubulaire inférieure 9 et une plaque tubulaire supérieure 10.

10        Sous la plaque inférieure 9 est ménagée une chambre d'arrivée du sodium secondaire 12 dans laquelle débouche le conduit d'amenée de ce sodium 14.

Le conduit 14 est constitué par une double paroi formée par deux viroles coaxiales verticales 15 et 16.

15        La virole externe 15 de cette paroi est fixée par soudage sur la plaque inférieure 9 et sur la plaque supérieure 10 du faisceau tubulaire.

La virole interne 16 dans laquelle circule le sodium secondaire arrivant dans l'échangeur de chaleur est soudée à sa partie inférieure uniquement à la plaque inférieure 9. A sa partie supérieure, cette virole 16 20 est soudée à un conduit 18 d'arrivée du sodium secondaire isolé thermiquement par rapport au milieu extérieur et relié à l'enveloppe de l'échangeur de chaleur.

A sa sortie du faisceau tubulaire 5, le sodium secondaire chauffé par le sodium primaire pénètre dans un conduit de sortie annulaire 20 coaxial aux viroles 15 et 16. La virole externe du conduit 20 est reliée à sa 25 partie supérieure aux viroles 15 et 16 par l'intermédiaire de joints de dilatation 21 et 22.

Une chambre annulaire est délimitée par les viroles 15 et 16 et cette chambre annulaire est remplie d'un gaz neutre assurant l'isolation 30 thermique entre le sodium secondaire froid arrivant par le conduit 14 et le sodium secondaire chaud sortant par le conduit annulaire 20.

A sa partie supérieure le conduit 20 est relié à une canalisation 24 amenant le sodium chaud au générateur de vapeur.

On voit que l'ensemble formé par les plaques 9 et 10, l'échangeur 35 tubulaire 5 et la virole interne 15 de celui-ci est extrêmement rigide, les tubes droits du faisceau étant soudés sur les plaques tubulaires 9 et 10 et la virole 15 étant soudée sur ces deux plaques tubulaires 9 et 10. Cette grande rigidité est due notamment au fait que les tubes du faisceau sont

droits et nombreux.

Il en résulte, lorsque l'échangeur est plongé dans le sodium chaud en circulation, des contraintes thermiques et mécaniques importantes dans la virole 15 et des dilatations différentielles entre viroles du col-  
5 lecteur 20 qui obligent à mettre en œuvre de multiples dispositifs pour les rendre acceptables.

Sur la figure 2, on voit un échangeur de chaleur traversant la dalle 31 fermant la cuve d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides contenant du sodium liquide jusqu'à un niveau 34, par un passage 32, un certain  
10 jeu existant entre la surface externe de l'échangeur de chaleur et le passage 32.

Comme dans le cas de l'échangeur intermédiaire suivant l'art antérieur, des dispositifs de protection radiologique et de limitation des courants de convection sont disposés dans le passage 32 mais n'ont pas été re-  
15 présentés.

La partie inférieure de l'échangeur de chaleur plongeant dans le sodium liquide primaire comporte un faisceau tubulaire 35, le sodium liquide primaire circulant entre la fenêtre d'entrée 36 et la fenêtre de sortie 37 de l'échangeur de chaleur en contact avec la surface externe des tubes  
20 du faisceau 35.

Les tubes de ce faisceau disposés verticalement sont droits et fixés à leur extrémité inférieure dans une plaque tubulaire 39 et à leur partie supérieure dans une plaque tubulaire 40.

Sous la plaque tubulaire 39 est ménagée une chambre 42 dans la-  
25 quelle arrive le sodium secondaire froid et servant à sa répartition dans les tubes du faisceau 35.

Le sodium secondaire froid est amené dans la chambre 42 par un conduit central vertical 44 qui limite la partie interne du faisceau tubulaire 35 et par son prolongement.

30 Cette paroi est constituée par trois viroles cylindriques verticales et coaxiales.

La première virole 45 disposée le plus à l'intérieur est soudée par son bord inférieur le long du bord interne de la plaque tubulaire inférieure annulaire 39. La partie supérieure de la virole 45 est reliée à un  
35 conduit 48 d'arrivée du sodium secondaire, constituant le premier fluide, dans l'échangeur de chaleur.

La seconde virole 46 disposée à l'extérieur de la virole 45 est soudée par son bord inférieur sur la plaque tubulaire inférieure 39 et sa

partie supérieure est au niveau de la partie supérieure de l'échangeur de chaleur. Les viroles 45 et 46 ne sont solidaires que de la plaque tubulaire inférieure 39.

La troisième virole 47 est soudée sur la plaque tubulaire supérieure 40, le long du bord intérieur de cette plaque tubulaire. Cette virole 47 est prolongée vers le bas jusqu'à un niveau se trouvant entre les deux plaques tubulaires 39 et 40, au voisinage de la partie médiane du faisceau tubulaire 35. La partie supérieure de la troisième virole 47 est au niveau de la partie supérieure de l'échangeur de chaleur.

La virole 47 est reliée par un joint de dilatation étanche au gaz 50 à la partie supérieure de la virole 45. Cette virole 47 est également reliée par un joint de dilatation étanche au gaz 52 à la partie supérieure de la seconde virole 46.

A sa sortie du faisceau tubulaire 35, le sodium secondaire, constituant le premier fluide en circulation dans l'échangeur de chaleur, pénètre dans un conduit annulaire 60 coaxial aux viroles 45, 46 et 47 et relié à sa partie supérieure à un conduit 64 vers le générateur de vapeur.

Le sodium secondaire échauffé par le sodium primaire constituant le second fluide de l'échangeur est isolé dans le conduit 60 du sodium secondaire froid arrivant par la partie centrale de l'échangeur dans la chambre 42, par une double couche gazeuse.

En effet, la chambre annulaire 54 étanche au gaz comprise entre les viroles 45 et 46 et la chambre annulaire 55 comprise entre les viroles 46 et 47 sont remplies de gaz neutre, sur toute la longueur du conduit 60.

Le gaz neutre remplissant la chambre 54 est introduit dans cette chambre où il reste prisonnier après fermeture du joint souple 50. La chambre 55 est reliée à sa partie supérieure à un circuit 56 d'alimentation en gaz neutre à une pression régulée.

La partie inférieure de la chambre annulaire 54 débouche dans le sodium primaire constituant le second fluide de l'échangeur de chaleur en circulation en contact avec la surface externe des tubes 35 du faisceau. La pression du gaz neutre (par exemple de l'argon) envoyé dans la chambre 54 par le circuit régulé 56 permet de maintenir le niveau 59 de séparation entre le gaz neutre et le sodium primaire sous la plaque tubulaire 40.

On voit que le dispositif suivant l'invention a comme avantage principal de comporter une paroi interne du faisceau tubulaire constituant également le conduit d'arrivée du sodium secondaire dans l'échangeur, formée de trois viroles dont aucune n'est soudée à la fois aux deux plaques tu-

bulaires du faisceau et qui ménagent entre elles des chambres d'isolation thermique remplies de gaz neutre. Ces viroles ne subissent que des contraintes faibles lors de l'utilisation de l'échangeur intermédiaire, ce qui accroît la sûreté de fonctionnement de l'échangeur de chaleur et peut permettre de simplifier sa conception.

Les trois viroles constituant la paroi interne du faisceau peuvent se dilater indépendamment les unes des autres, puisque leurs parties supérieures sont reliées par des joints de dilatation, tels que des soufflets.

10 L'invention ne se limite pas au mode de réalisation ; elle en comporte au contraire toutes les variantes.

C'est ainsi que les viroles peuvent être reliées à leur partie supérieure de façon à permettre des dilatations différentielles, d'une façon différente et en utilisant des dispositifs de dilatation d'un type différent de soufflets. Le diamètre des différentes viroles peut par ailleurs ne  
15 pas être constant sur toute leur hauteur.

La troisième virole peut être prolongée vers le bas à une hauteur quelconque entre les deux plaques tubulaires du faisceau. La chambre comprise entre les deuxième et troisième viroles peut être reliée à un circuit de  
20 gaz neutre quelconque permettant une régulation de la pression de ce gaz neutre en fonction de la pression du sodium primaire dans le faisceau tubulaire.

Enfin, l'invention s'applique à tout type d'échangeurs de chaleur intermédiaires d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides refroidi par un  
25 fluide quelconque.

L'invention s'applique à des échangeurs intermédiaires de réacteur intégré ou à des échangeurs de réacteurs à neutrons rapides du type à boucle placés alors dans des réservoirs extérieurs à la cuve.

Plus généralement, l'invention s'applique à tout échangeur de chaleur  
30 leur de grande dimension dont le premier fluide entre et sort de l'échangeur par sa partie supérieure.



REVENDECATIONS

1.- Echangeur de chaleur pour fluides à température élevée dont l'un des fluides ou premier fluide, entre dans l'échangeur à sa partie supérieure, circule de bas en haut à l'intérieur de l'échangeur dans des tubes  
5 verticaux droits d'un faisceau (35) de forme annulaire à axe vertical, comportant une plaque tubulaire inférieure (39) et une plaque tubulaire supérieure (40) annulaires ainsi qu'une paroi interne cylindrique centrale, coaxiale au faisceau (35) servant de conduit d'amenée (44) du premier fluide sous la plaque tubulaire inférieure (39) et enfin, sort de l'échangeur à sa  
10 partie supérieure, par un conduit de sortie annulaire (60) coaxial au conduit d'amenée (44) du fluide et isolé thermiquement de celui-ci, le second fluide circulant au contact de la surface externe des tubes du faisceau (35),

caractérisé par le fait que la paroi interne servant de conduit d'amenée  
15 (44) du premier fluide est constitué par :

- une première virole cylindrique (45) à axe vertical soudée à sa partie inférieure à la plaque tubulaire inférieure (39) de l'échangeur suivant son bord interne et reliée à sa partie supérieure à une conduite d'arrivée du premier fluide (48),
- 20 - une seconde virole (46) coaxiale à la première, fixée à la plaque tubulaire inférieure disposée à l'extérieur de la première virole (45) et prolongée vers le haut nettement au-dessus de la plaque tubulaire supérieure (40),
- une troisième virole (47) coaxiale aux deux premières, fixée à la plaque  
25 tubulaire supérieure (40) le long de son bord interne, disposée à l'extérieur de la seconde virole (46), prolongée vers le bas jusqu'à un niveau situé entre les deux plaques tubulaires (39 et 40) et vers le haut sensiblement au niveau de la partie supérieure de la seconde virole (46), la troisième virole (47) étant reliée à la partie supérieure des deux  
30 autres (45 et 46), le long de son bord supérieur de sorte qu'une chambre annulaire étanche (54) soit constituée par les deux premières viroles (45 et 46) et remplie de gaz et qu'une chambre (55) débouchant à sa partie inférieure dans le second fluide circulant au contact du faisceau (35) soit limitée par la seconde et la troisième viroles (46 et 47), cette dernière  
35 chambre annulaire (55) étant reliée à une source de gaz neutre.

2.- Echangeur de chaleur suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que la troisième virole (47) est reliée à la partie supérieure des deux autres (45 et 46), par l'intermédiaire de joints de di-

latation à soufflets (50, 52).

3.- Echangeur de chaleur suivant l'une quelconque des revendications 1 et 2,

5 caractérisé par le fait que la source de gaz neutre reliée à la seconde chambre annulaire est un circuit de gaz neutre (56) dont la pression maintient le niveau (59) du second fluide en-dessous de la plaque tubulaire supérieure (40).

1/1

