

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(A n'utiliser que pour  
le classement et les  
commandes de reproduction.)

**2.096.970**

②1 N° d'enregistrement national :  
(A utiliser pour les paiements d'annuités,  
les demandes de copies officielles et toutes  
autres correspondances avec l'I.N.P.I.)

**70.26973**

①3 **DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

1<sup>re</sup> PUBLICATION

②2 Date de dépôt..... 22 juillet 1970, à 13 h 40 mn.  
④1 Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — «Listes» n. 9 du 3-3-1972.

⑤1 Classification internationale (Int. Cl.).. F 28 d 7/00//G 21 c 15/00.

⑦1 Déposant : BABCOCK-ATLANTIQUE. Société anonyme, résidant en France.

Titulaire : *Idem* ⑦1

⑦4 Mandataire : Cabinet J. Bonnet-Thirion, L. Robida & G. Foldes.

⑤4 Appareil d'échange de chaleur entre métaux liquides.

⑦2 Invention de :

③3 ③2 ③1 Priorité conventionnelle :

La présente invention concerne les échangeurs de chaleur destinés à assurer des échanges thermiques entre deux métaux liquides du genre sodium, qui se distinguent en particulier par une excellente conductibilité thermique et une chaleur spécifique relativement faible.

De tels échangeurs sont applicables, en particulier, aux centrales thermiques de production d'énergie dont la source de chaleur est un réacteur nucléaire refroidi par un métal liquide, tel que sodium ou autre similaire. Dans de telles centrales on envisage, afin d'éviter la contamination, de transmettre la chaleur de ce sodium liquide, dit sodium primaire, au circuit eau-vapeur, non pas directement, mais par l'intermédiaire d'un second circuit sodium, dit sodium secondaire. On est ainsi amené à prévoir, d'une part des échangeurs intermédiaires, dans lesquels la chaleur du sodium primaire échauffé par le combustible nucléaire est transmise à du sodium secondaire non radio-actif, et, d'autre part, des générateurs de vapeur, dans lesquels la chaleur véhiculée par le sodium secondaire est transmise à un circuit eau-vapeur, la vapeur produite actionnant le groupe turbo-alternateur producteur d'énergie électrique.

Selon une application, l'invention se rapporte à une pluralité d'échangeurs de chaleur intermédiaires du type sus-visé, intégrés à une cuve de réacteur nucléaire refroidi par métal liquide.

On a généralement proposé jusqu'à présent, pour de tels échangeurs, un faisceau de tubes droits soudés à des plaques tubulaires aux deux extrémités, monté à l'intérieur d'une enveloppe allongée, un des deux fluides circulant dans les tubes et l'autre à l'extérieur des tubes, d'un bout à l'autre de la chambre délimitée par l'enveloppe. Les plaques tubulaires requises sont épaisses et résistent mal aux chocs thermiques brutaux, qui se produisent fréquemment avec les métaux liquides, précisément en raison de leur bonne conductibilité. En outre, en cas d'alimentation dissymétrique des tubes droits, ceux-ci, fermement bridés entre deux plaques tubulaires rigides, peuvent subir des contraintes thermiques importantes. Toujours dans les dispositifs connus, les tubes utilisés sont de très faible diamètre et de très faible épaisseur, du fait que la longueur des tubes est approximativement proportionnelle à leur diamètre, pour des raisons d'échange thermique, et que cette longueur est obligatoirement inférieure à la hauteur totale de l'échangeur. Des tubes de ces dimensions sont donc fragiles et nécessitent

une mise en oeuvre délicate.

Pour détecter un tube fuyard et pour le réparer, il faut sortir l'échangeur de la cuve. Ceci exige des précautions en vue de la radioactivité du milieu, et les interventions requises sont longues et onéreuses.

La présente invention a pour objet d'éliminer les sérieux inconvénients précités. Elle propose dans ce but un échangeur de chaleur propre à assurer un échange thermique entre deux métaux liquides, comportant une enveloppe formant chambre de circulation allongée pour un desdits métaux et, à l'intérieur de celle-ci, un faisceau de tubes dans lequel circule l'autre métal, ledit faisceau étant composé de tubes enroulés en hélice, munis de tronçons d'entrée et de sortie rectilignes, groupés dans l'axe de la chambre. Cette disposition permet d'augmenter très notablement la longueur individuelle des tubes, donc d'avoir un petit nombre de tubes de gros diamètre, dont le groupage au centre de la chambre d'échangeur conduit à des plaques tubulaires de surface relativement très réduite. Les tubes sont donc relativement robustes et capables d'absorber les déformations thermiques de manière connue, à cause de leur forme en spirale. Quant aux plaques tubulaires, leur réduction de surface conduit à une réduction d'épaisseur, et elles en deviennent d'autant moins sensibles aux chocs thermiques, qui sont pratiquement inévitables dans la mise en oeuvre des métaux liquides utilisés comme fluide caloporteurs. Selon un mode de réalisation de l'invention, les tronçons rectilignes d'entrée et de sortie pénètrent dans la chambre d'échangeur d'un seul et même côté, les tronçons qui se raccordent aux tubes hélicoïdaux du côté opposé au côté pénétration formant d'un bout à l'autre de la chambre un faisceau tubulaire de forme cylindrique situé dans l'axe de l'échangeur, tandis que les tronçons qui se raccordent aux tubes hélicoïdaux du côté pénétration constituent un faisceau tubulaire de forme annulaire autour du faisceau cylindrique. Cette disposition est particulièrement avantageuse, car elle rend les deux extrémités de chaque tube accessibles d'un seul et même côté de l'échangeur, ce qui facilite très notablement les opérations d'entretien. D'autre part, dans le cas le plus souvent envisagé d'un échangeur à axe vertical, le côté pénétration est, avantageusement, le côté haut, ce qui permet de mettre les plaques tubulaires d'entrée et de sortie sous atmosphère de gaz inerte et de ne les exposer qu'à un seul des deux fluides métalliques en circulation.

Le groupage des tronçons tubulaires d'entrée et de sortie en deux faisceaux tubulaires serrés, situés l'un à l'intérieur de l'autre, permet de réserver, du côté pénétration de la chambre d'échangeur, un espace libre, propre à servir d'antichambre d'admission au fluide dans lequel baigne le faisceau de tubes en spirales, et à assurer une répartition homogène de ce fluide sur toute l'étendue de ce faisceau.

Avantageusement, le faisceau tubulaire réctiligne intérieur, de forme cylindrique, est entouré d'un manchon qui forme autour de lui une zone stagnante de métal liquide et qui l'empêche d'entrer en contact direct avec le fluide pénétrant dans la chambre, ce qui facilite l'établissement d'une circulation strictement méthodique sur tout le parcours utile des deux fluides d'échange de chaleur.

Les objets, caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront par ailleurs de la description que l'on va en donner ci-après, portant sur un mode de réalisation choisi à titre d'exemple et représenté sur la figure unique du dessin annexé.

L'exemple choisi et représenté concerne un échangeur de chaleur à axe vertical, faisant partie d'un groupe d'échangeurs similaires intégrés à une cuve de réacteur dans une centrale nucléaire de production d'énergie, et assurant les échanges de chaleur entre du sodium primaire, et qui sert de réfrigérant au coeur de réacteur, et du sodium secondaire qui sert de source de chaleur à un générateur de vapeur.

Sur le dessin, une enveloppe cylindrique 1, à axe vertical, est située dans une cuve de réacteur non représentée. L'enveloppe 1, ouverte à sa partie inférieure, est obturée à son extrémité haute par un fond bombé 2, constitué en partie par une plaque tubulaire 3, de forme plate et annulaire. L'espace libre délimité par le bord intérieur 4 de cette plaque sert de point de traversée à une conduite 5 d'apport de fluide, qui aboutit à une plaque tubulaire 6. Un manchon 7, rigidement fixé à la plaque 6, constitue un prolongement inférieur du corps de la conduite 5 et arrive jusqu'au voisinage du bord inférieur 8 de l'enveloppe 1. Des ouïes 14 d'entrée de fluide sont ménagées sur le pourtour de l'enveloppe cylindrique, à sa partie supérieure.

A son point de traversée du fond supérieur de l'enveloppe 1, la conduite 5 est entourée d'une chemise isolante 10, reliée par joint étanche à la plaque tubulaire 3, le long de son bord intérieur 4.

Selon une variante, non représentée, la chemise isolante 10 se poursuit sur, au moins, une partie de la longueur du manchon 7.

L'enveloppe 1 contient un faisceau de tubes 9 enroulés en spirale, et, plus précisément en hélice, schématiquement représentés 5 par des traits mixtes suivant leurs lignes axiales. Ces hélices, formées sur l'axe vertical X de l'enveloppe, entourent le manchon 7 et ont des diamètres progressivement croissants pour pouvoir se placer les unes à l'intérieur des autres en garnissant de manière homogène l'espace délimité par le manchon 7 et l'enveloppe 1. Les 10 enroulements hélicoïdaux mutuellement emboîtés sont représentés par les lignes 19 en traits interrompus. Les extrémités inférieures et supérieures, non désignées du faisceau de tubes hélicoïdaux 9 se trouvent respectivement au voisinage des niveaux H1 et H2.

Les tubes hélicoïdaux 9 sont reliés à la plaque tubulaire 6 par 15 leurs extrémités inférieures, au moyen de coudages horizontaux 11 et de tronçons verticaux rectilignes 12, qui constituent un faisceau rectiligne serré, de forme cylindrique, à l'intérieur du manchon 7. Quant aux extrémités supérieures des tubes hélicoïdaux 9, elles sont reliées à la plaque tubulaire 3 par des tronçons recti- 20 lignes 13, qui forment un faisceau annulaire serré autour du manchon 7, en réservant un espace libre 15 entre eux et l'enveloppe 1, au droit des ouïes 14. La chemise 10 forme avec une enveloppe 20 un conduit annulaire 18 qui entoure la conduite 5, et dans lequel débouchent les tubes 12.

25 La cuve du réacteur contient le sodium primaire qui sert de réfrigérant au coeur du réacteur, et l'enveloppe 1, immergée dans cette cuve, traverse une cloison horizontale 16, un joint étanche annulaire 17 étant ménagé entre la cloison 16 et la face extérieure de l'enveloppe 1, au point de traversée de la cloison.

30 On va maintenant décrire sommairement le fonctionnement de l'échangeur ainsi formé, les entrées et sorties des deux fluides d'échange de chaleur étant signalées par des flèches accompagnées de l'indice Na1 ou Na2 suivant qu'il s'agit du sodium primaire ou du sodium secondaire.

35 Le sodium primaire qui sort du coeur de réacteur nucléaire après en avoir extrait de la chaleur, arrive dans la cuve au-dessus de la cloison 16, entre par les ouïes 14 dans la chambre d'échangeur, y circule par gravité de haut en bas, et est repris à sa sortie de cette chambre, par des moyens, non représentés, qui le renvoient 40 au coeur de réacteur à partir duquel le cycle caloporteur recommence.

Le sodium secondaire arrive par la conduite 5, traverse la plaque tubulaire 6, circule de haut en bas dans les tronçons rectilignes 12, puis dans les coudages horizontaux 11, et enfin de bas en haut dans les tubes hélicoïdaux 9 et les tronçons verticaux rectilignes 13, pour traverser finalement la plaque tubulaire 3 et s'évacuer par la conduite annulaire 18 qui l'amène au générateur de vapeur.

Par suite de la présence du manchon 7, qui empêche le sodium primaire de circuler le long des tronçons de tubes 12, la transmission de chaleur du sodium primaire au sodium secondaire se fait uniquement, en pratique, par l'intermédiaire des tubes 9 et 13, à l'intérieur desquels le sodium secondaire circule de bas en haut, tandis que le sodium primaire dans lequel sont immergés ces tubes circule de haut en bas. Ceci permet d'avoir une circulation strictement méthodique, et de réduire au maximum, pour une surface d'échange donnée, la différence entre la température d'entrée du fluide chauffant Na1 et la température de sortie du fluide chauffé Na2.

La présence de l'espace libre 15, et le nombre relativement faible des tronçons verticaux 13, permet de former, au-dessus des tubes 9 d'échange de chaleur, une antichambre que le fluide chauffant peut remplir de manière homogène dès son arrivée, ce qui contribue à uniformiser les échanges thermiques dans les divers tubes.

Les dispositions représentées contribuent aussi à assurer une alimentation uniforme de tout le faisceau tubulaire du côté sodium secondaire.

La longueur développée des tubes 9, étant de beaucoup supérieure à la hauteur utile de la chambre d'échangeur, délimitée par les niveaux H1 et H2, on obtient un nombre de tubes bien inférieur à celui qu'il faut prévoir quand la surface d'échange thermique est réalisée par des tubes droits. La hauteur de l'appareil n'est donc plus critique, ce qui facilite d'ailleurs l'aménagement d'une antichambre de distribution 15 de dimensions suffisantes, et le petit nombre de tubes, bien groupés à l'entrée et à la sortie, ne nécessite que des plaques tubulaires de petite surface et de faible épaisseur, donc relativement peu vulnérables aux chocs thermiques.

Ces plaques tubulaires se trouvant au point haut de l'appareil, il devient relativement facile de les placer au-dessus du niveau de sodium primaire dans la cuve du réacteur et de les maintenir en atmosphère neutre, argon ou autre, sur leurs faces inférieures.

Comme les deux plaques sont aisément accessibles par le haut, on peut commodément mettre hors circuit tout tube défaillant par une opération de tamponnage effectuée à distance, à ses deux extrémités, sans qu'il soit nécessaire de démonter l'appareil.

- 5 Bien entendu, l'invention n'est nullement limitée aux dispositions décrites et représentées, celles-ci n'ayant été données qu'à titre d'exemple.

REVENDICATIONS

1. Echangeur de chaleur pour échanges thermiques entre deux métaux liquides, comportant une enveloppe formant chambre de circulation allongée pour un desdits métaux et, à l'intérieur de celle-ci, un faisceau de tubes raccordé à des conduits d'admission et d'évacuation du deuxième métal par l'intermédiaire de plaques tubulaires, caractérisé en ce que ledit faisceau est composé de tubes enroulés en hélice, qui communiquent avec lesdites plaques par l'intermédiaire de tronçons rectilignes d'entrée et de sortie, parallèles à l'axe de la chambre et groupés au centre de celle-ci.
- 10 2. Echangeur suivant la revendication 1, caractérisé en ce que les tronçons d'entrée et de sortie pénètrent dans la chambre d'un seul et même côté de celle-ci, les tronçons qui se raccordent aux tubes hélicoïdaux du côté opposé au côté pénétration formant d'un bout à l'autre de la chambre un faisceau tubulaire rectiligne  
15 de forme cylindrique situé dans l'axe de l'échangeur, tandis que les tronçons qui se raccordent aux tubes hélicoïdaux du côté pénétration constituent autour du faisceau cylindrique un faisceau tubulaire rectiligne relativement court, de forme annulaire.
- 20 3. Echangeur suivant la revendication 2, caractérisé en ce que la plaque tubulaire raccordée au faisceau annulaire est un élément de forme annulaire incorporé au fond de l'enveloppe du côté pénétration.
- 25 4. Echangeur suivant la revendication 2 ou 3, caractérisé par un manchon entourant le faisceau cylindrique et formant autour de celui-ci une zone stagnante de métal liquide.
5. Echangeur suivant une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé par un espace libre de forme annulaire réservé entre le faisceau rectiligne annulaire et la face intérieure de l'enveloppe.
- 30 6. Echangeur suivant la revendication 5, caractérisé par des ouïes de passage de métal liquide, ménagées dans la paroi de l'enveloppe au droit de l'espace libre.
7. Echangeur suivant une quelconque des revendications 1 à 6, intégré à une cuve de réacteur nucléaire refroidi par métal liquide.
- 35 8. Echangeur suivant une quelconque des revendications 2 à 6, placé verticalement dans une cuve de réacteur nucléaire refroidi par métal liquide, les deux plaques tubulaires respectivement associées aux tronçons d'entrée et de sortie étant situées au-dessus du niveau de métal dans ladite cuve.



