

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 23667

(54) Dispositif de production de vapeur par échange de chaleur entre un métal liquide caloporteur et de l'eau alimentaire.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). F 22 B 1/06; G 21 D 5/12.

(22) Date de dépôt..... 18 décembre 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 25 du 24-6-1983.

(71) Déposant : NOVATOME, société anonyme. — FR.

(72) Invention de : Claude Malaval.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Lucien Bouget, Creusot-Loire,
15, rue Pasquier, 75008 Paris.

L'invention concerne un dispositif de production de vapeur par échange de chaleur entre un métal liquide caloporteur et de l'eau alimentaire.

5 Un tel dispositif, par exemple un générateur de vapeur d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides refroidi par du sodium liquide, comporte une enveloppe cylindrique allongée disposée avec son axe vertical et fermée à chacune de ses extrémités par un fond bombé.

10 Dans un tel générateur de vapeur, du sodium liquide est amené à la partie supérieure de l'enveloppe par des tubulures traversant cette enveloppe et débouchant dans un espace limité par une virole centrale coaxial à l'enveloppe du générateur de vapeur et par une plaque perforée annulaire reliée à l'enveloppe et à la virole centrale et disposée à la partie inférieure de la virole centrale. Cette virole centrale s'étend sur une certaine
15 hauteur au-dessus et en-dessous des tubulures d'arrivée de métal liquide, la plaque annulaire fixée à la partie inférieure de cette virole centrale se trouvant donc en-dessous des tubulures et constituant la partie inférieure du déversoir de sodium liquide.

A l'intérieur de l'espace dans lequel débouchent les tubulures, constituant le déversoir de sodium liquide, sont disposés des déflecteurs
20 permettant une répartition du sodium liquide sur toute la plaque annulaire.

Dans le cas où le sodium liquide est amené par deux tubulures diamétralement opposées ces déflecteurs constituent deux ensembles disposés chacun en face d'une tubulure et effectuant la répartition du sodium liquide sur une demi-plaque annulaire chacun.

25 Ces déflecteurs comportent des plaques horizontales disposées en face de chacune des tubulures et occupant la plus grande partie de l'espace existant entre la virole centrale et l'enveloppe.

Au-dessus des tubulures, l'enveloppe est doublée par une virole coaxiale à l'enveloppe et d'un diamètre peu inférieur à celui de l'enveloppe
30 pour la protection thermique de celle-ci dans sa partie supérieure.

Le sodium liquide remplit toute l'enveloppe jusqu'à un niveau situé au-dessus des tubulures, c'est-à-dire dans la zone de l'enveloppe protégée par la virole périphérique qui comporte des ouvertures permettant le passage d'une certaine quantité de sodium entre l'enveloppe et la virole périphérique.

35 L'espace intérieur de l'enveloppe compris entre le niveau du sodium

liquide et le fond supérieur de l'enveloppe renferme un gaz neutre tel que de l'argon.

La zone dans laquelle débouchent les tubulures servant de déversoir de sodium liquide est séparée de la partie de l'enveloppe située au-dessus des tubulures par une plaque annulaire pleine fixée à l'enveloppe et à la virole centrale.

La partie de l'enveloppe située en-dessous du déversoir de sodium liquide renferme un faisceau tubulaire enroulé autour d'un corps disposé axialement à l'intérieur de l'enveloppe du générateur de vapeur. Le sodium liquide circule en contact avec la surface extérieure des tubes du faisceau à l'intérieur desquels passe l'eau alimentaire qui se vaporise par échange de chaleur avec le sodium liquide en circulation.

A la base du faisceau, le sodium liquide passe à l'intérieur du corps central creux percé d'ouvertures pour être évacué à la partie inférieure de l'enveloppe du générateur de vapeur. Des collecteurs disposés à l'entrée et à la sortie du faisceau tubulaire permettent la distribution d'eau alimentaire et la récupération de la vapeur produite par échange de chaleur à l'intérieur du faisceau.

Un tel dispositif comportant une plaque de répartition perforée et un ensemble de déflecteurs à plaques horizontales permet à la fois d'assurer une circulation de sodium liquide vers le bas la plus uniforme possible et de supprimer les turbulences du niveau supérieur de sodium. Il faut en effet éviter de telles turbulences du niveau supérieur du sodium liquide qui risquent de créer des chocs thermiques et de provoquer l'entraînement de gaz.

En outre, dans le cas d'une fuite d'un élément du faisceau tubulaire conduisant à une réaction entre le sodium liquide et l'eau circulant dans le faisceau, l'onde de pression résultant de cette réaction très énergétique doit pouvoir se déplacer librement vers le haut de l'enveloppe du générateur de vapeur pour se terminer à la surface du niveau libre du sodium liquide.

Dans les dispositifs connus, il est prévu que l'onde passe dans la cheminée constituée par la virole centrale dont l'extrémité supérieure se trouve un peu en-dessous du niveau de sodium liquide mais en réalité, cette cheminée n'offre pas un passage suffisant à l'onde de pression.

L'onde de pression se propage donc dans le déversoir de sodium liquide situé à la périphérie de la cheminée centrale, est réfléchiée par les plaques déflectrices disposées dans ce déversoir et se propage par les tubu-

lures d'arrivée de sodium liquide vers les échangeurs sodium primaire-sodium secondaire disposés dans le réacteur nucléaire, assurant l'échauffement du sodium secondaire constituant le métal liquide dans le générateur de vapeur par le sodium primaire remplissant la cuve du réacteur nucléaire et constituant le fluide primaire. Ces échangeurs intermédiaires sodium-sodium peuvent alors être endommagés par l'onde de pression.

Le but de l'invention est donc de proposer un dispositif de production de vapeur par échange de chaleur entre un métal liquide caloporteur et de l'eau alimentaire comportant une enveloppe cylindrique allongée disposée avec son axe vertical, fermée à chacune de ses extrémités par un fond plein, recevant du métal liquide dans sa partie supérieure par au moins une tubulure traversant l'enveloppe et débouchant dans un espace limité par une virole centrale coaxiale à l'enveloppe s'étendant sur une certaine hauteur au-dessus et en-dessous de la tubulure d'arrivée de métal liquide et par une plaque perforée annulaire inférieure située entre l'enveloppe et la virole centrale, à la partie inférieure de celle-ci, de façon que le niveau du métal liquide se maintienne au-dessus de la tubulure d'arrivée de métal liquide, du gaz neutre emplissant l'espace compris entre le niveau de métal liquide et le fond supérieur de l'enveloppe, et qu'une circulation de métal liquide s'établisse dans l'enveloppe, en contact avec un faisceau tubulaire dans lequel circule l'eau alimentaire en cours de vaporisation, situé en-dessous de l'espace où arrive le métal liquide, le métal liquide ressortant de l'enveloppe à sa partie inférieure, une virole périphérique d'un diamètre voisin de celui de l'enveloppe étant fixée sur l'enveloppe et disposée co-axialement à une faible distance de celle-ci dans sa partie située au-dessus de la tubulure d'arrivée de métal liquide, ce dispositif de production de vapeur devant permettre d'obtenir un niveau de métal liquide supérieur sans turbulence et un passage facilité pour l'onde de choc vers le haut du générateur de vapeur jusqu'au niveau de métal liquide sans que cette onde soit renvoyée latéralement vers les échangeurs intermédiaires.

Dans ce but, deux plaques annulaires perforées parallèles sont fixées entre la virole centrale et la virole périphérique, au-dessus de la tubulure d'arrivée de métal liquide, espacées suivant la hauteur de l'enveloppe et séparées par des entretoises verticales perforées, les perforations des plaques annulaires et de la plaque inférieure étant identiques quant à leur dimension et à leur disposition sur les plaques et alignées suivant la direction verticale.

Afin de bien faire comprendre l'invention, on va maintenant décrire

à titre d'exemple non limitatif, en se référant aux figures jointes en annexe, un générateur de vapeur suivant l'art antérieur et un générateur de vapeur comportant les perfectionnements suivant l'invention, dans le cas où la vaporisation est obtenue par échange de chaleur entre du sodium liquide secondaire provenant des échangeurs intermédiaires d'un réacteur nucléaire à neutrons rapides et de l'eau alimentaire introduite dans le faisceau tubulaire du générateur de vapeur.

La figure 1 représente, dans une vue en coupe par un plan vertical, un générateur de vapeur suivant l'art antérieur.

La figure 2 représente dans une vue en coupe par un plan vertical la partie supérieure d'un générateur de vapeur comportant les perfectionnements suivant l'invention.

Sur la figure 1, on voit l'enveloppe 1 d'un générateur de vapeur de forme cylindrique et de grande longueur disposée verticalement et reposant sur un socle d'appui 2.

Cette enveloppe 1 est constamment remplie de sodium liquide jusqu'au niveau 3 à la partie supérieure de l'enveloppe. Ce sodium liquide provenant des échangeurs intermédiaires d'un réacteur à neutrons rapides est introduit dans l'enveloppe par l'intermédiaire des tubulures 5 et 6.

Le sodium secondaire est chauffé préalablement à son introduction dans le générateur de vapeur par du sodium primaire dans les échangeurs intermédiaires du réacteur à neutrons rapides refroidi par le sodium primaire.

A la sortie des tubulures 5 et 6 le sodium secondaire caloporteur pénètre dans une zone constituant un déversoir limité d'une part par l'enveloppe 1 et d'autre part par une virole centrale 8 disposée coaxialement par rapport à l'enveloppe 1. La virole centrale 8 est reliée à l'enveloppe par l'intermédiaire d'une plaque annulaire pleine 9 et d'une plaque annulaire perforée 10 constituant respectivement la paroi supérieure et la plaque de répartition du déversoir de sodium liquide.

A l'intérieur de cette zone de distribution de sodium liquide sont placés des déflecteurs 12 constitués par des séparations verticales 14 et des plaques horizontales déflectrices 16.

Les dispositifs 12 permettent une répartition du sodium homogène dans toute la section du générateur de vapeur disposée en-dessous de la plaque 10 et dans laquelle se trouve le faisceau tubulaire 17.

Les plaques horizontales 16 servent également à éviter des turbulences du niveau de sodium 3.

Tout cet ensemble de plaques, virole centrale, déflecteurs est

complètement immergé dans le sodium.

Le faisceau tubulaire 17 est enroulé autour d'un corps creux central 18 percé d'un ensemble de trous 20 pour la récupération du sodium liquide ayant circulé en contact avec le faisceau tubulaire et s'étant refroidi en provoquant la vaporisation de l'eau circulant à l'intérieur des tubes du faisceau.

L'une des extrémités du faisceau est reliée à un distributeur 21 permettant la répartition de l'eau dans les tubes du faisceau. L'autre extrémité du faisceau est reliée à un collecteur 23 permettant la récupération de la vapeur produite.

Le sodium sort de l'enveloppe 1 par l'extrémité inférieure de celle-ci, par une tubulure 25 disposée dans le prolongement du corps creux 18.

Le sodium chaud introduit dans l'enveloppe par les tubulures 5 et 6 est réparti sur la plaque 10 et de là, de façon homogène, sur toute la section du faisceau. Le sodium chaud entre en contact avec les tubes du faisceau et provoque la vaporisation de l'eau alimentaire passant dans ces tubes et se refroidit au cours de sa descente en contact avec le faisceau.

La partie de l'enveloppe disposée autour de la base du corps creux 18 à l'intérieur de laquelle passent les tronçons d'arrivée des tubes du faisceau contient un sodium à une température relativement basse pour la protection de ces portions de tube et des dispositifs de passage étanche 26 à l'intérieur de l'enveloppe 1.

Cependant, une certaine quantité du sodium froid situé dans cette partie annulaire de l'enveloppe est évacuée par la tubulure 25, grâce à des ouvertures 27 prévues à l'intérieur de l'enveloppe, à l'entrée de cette tubulure. De cette façon on évite les dépôts d'impuretés apportées par le sodium

Une virole de protection thermique 28 est disposée coaxialement par rapport à l'enveloppe au-dessus des tubulures 5 et 6 soudée sur cette enveloppe au voisinage du fond supérieur 29. Du sodium pénètre dans l'espace annulaire entre la virole 28 et l'enveloppe 1 par des perforations 30. On réalise ainsi une protection thermique de la partie supérieure de l'enveloppe 1.

Sur la figure 2 on voit la partie supérieure d'un générateur de vapeur dont la partie inférieure située en-dessous de la plaque perforée 40 constituant la plaque de répartition du distributeur de sodium est identique à la partie correspondante du générateur de vapeur représentée à la figure 1 disposée en dessous de la plaque de répartition 10.

Le sodium liquide est amené à l'intérieur de l'enveloppe 31 par de

tubulures 35 et 36 débouchant dans une zone de distribution du sodium limitée par une virole centrale 38 et par la plaque de répartition 40. Sur la plaque de répartition 40 sont fixées des nervures radiales verticales 44 occupant la quasi totalité de l'espace annulaire entre la virole 38 et l'enveloppe 31. La hauteur de ces nervures est telle que leur sommet se situe très nettement en-dessous des tubulures d'arrivée du sodium.

Pour assurer une répartition homogène du sodium sur toute la plaque perforée 40, on a disposé huit nervures 44 faisant entre elles des angles de 45°, sur cette plaque perforée 40.

Une virole 39 d'un diamètre un peu inférieur au diamètre de l'enveloppe 31 et disposée coaxialement par rapport à celle-ci est fixée par soudage sur sa paroi au voisinage du fond supérieur 59. Cette virole 39 est percée d'ouvertures 42 permettant l'introduction de sodium dans l'espace annulaire entre la virole 39 et l'enveloppe 31. Cette virole 39 assure ainsi la protection thermique de la partie supérieure de l'enveloppe 31.

Sur la virole 39 sont fixées deux plaques annulaires perforées 45 et 46 espacées dans la direction verticale et séparées par des entretoises perforées 47.

Les trous pratiqués dans les plaques annulaires 45 et 46 sont sensiblement identiques quant à leur dimension et leur disposition et identiques à ceux de la plaque 40. Toutes ces perforations se superposent sensiblement en projection verticale.

Les plaques annulaires 45 et 46 sont disposées entre la virole périphérique 39 et la virole centrale 38 dans la zone de l'enveloppe se trouvant immédiatement au-dessus des tubulures 35 et 36.

L'ensemble constitué par les viroles 38 et 39 et les plaques perforées 45, 46 et 40 est fixé à l'intérieur de l'enveloppe 31 par l'intermédiaire de la virole 39 dont la partie supérieure est reliée par soudage à cette enveloppe 31.

Pendant le fonctionnement du générateur de vapeur, la surface supérieure du sodium liquide dans la zone d'espace annulaire comprise entre l'enveloppe 31 et la virole centrale 38 est maintenue compte tenu de l'arrivée de sodium chaud par les tubulures 35 et 36 et de l'écoulement du sodium dans la partie inférieure du générateur de vapeur ainsi que par un trop-plein 50, à un niveau 53 dans la zone annulaire entre les viroles 38 et 39.

Le niveau du sodium liquide à l'intérieur de la virole centrale 38 en communication directe avec la partie inférieure du générateur de vapeur où se trouve le faisceau est à un niveau 54 inférieur au niveau 53 par suite

de la perte de charge entre l'entrée et la sortie du sodium secondaire pendant le fonctionnement du générateur de vapeur.

La virole 38 débouche à sa partie supérieure au-dessus du niveau 53, dans l'atmosphère d'argon remplissant l'espace compris entre les niveaux 53 et 54 et le fond supérieur 59. La longueur de cette virole est telle que sa partie supérieure se trouve toujours au-dessus du niveau libre de sodium.

Le sodium chaud amené par les tubulures 35 et 36 pénètre dans la zone de distribution puis est réparti de façon homogène sur le faisceau tubulaire grâce à la plaque 40 et ses nervures verticales 44.

Les nervures 44 permettent également de raidir la plaque 40 soumise à des sollicitations dynamiques dues à l'impulsion du jet pénétrant par les tubulures 35 et 36.

Les plaques perforées 45 et 46 permettent d'isoler le niveau supérieur du sodium 53 qui reste quasiment stagnant dans la zone annulaire, de l'arrivée de sodium et donc d'éliminer les turbulences de ce niveau de sodium.

En cas de fuite dans le faisceau tubulaire et de propagation d'une onde de pression à l'intérieur du sodium, cette onde de pression peut se propager jusqu'au niveau supérieur du sodium liquide aussi bien à l'intérieur de la cheminée centrale 38 que dans la zone annulaire située à l'extérieur de cette cheminée centrale grâce aux plaques ajourées 45 et 46 dont les perforations sont alignées dans la direction verticale avec les perforations de la plaque inférieure 40.

Cette onde de pression n'est pas renvoyée vers les échangeurs intermédiaires puisqu'aucune plaque déflectrice horizontale n'est disposée à l'intérieur de la zone d'arrivée et de distribution du sodium, comme dans le générateur de l'art antérieur.

Enfin, l'isolation thermique de la partie supérieure de l'enveloppe 31 est assurée, lors de chocs thermiques dus à la réaction sodium-eau en cas de fuite sur un tube du faisceau ou en cas de variation brusque de la charge du générateur, grâce au sodium stagnant et à l'argon se trouvant entre la virole périphérique 39 et l'enveloppe 31.

On voit donc que les principaux avantages de l'invention sont d'assurer une bonne répartition du sodium dans le faisceau, d'éviter l'apparition de turbulences à la surface supérieure du sodium dans le générateur de vapeur, de procurer une bonne protection thermique à la partie supérieure du générateur de vapeur, de laisser un maximum de section libre pour la propa-

gation de l'onde de pression consécutive à une fuite d'eau dans le faisceau vers la surface libre et, en particulier, éviter ainsi qu'elle ne soit renvoyée vers les échangeurs intermédiaires.

5 Ces avantages sont obtenus malgré une grande simplicité de la structure de la partie supérieure du générateur de vapeur, et par suite un coût diminué de la réalisation.

L'invention ne se limite pas au mode de réalisation qui vient d'être décrit ; elle en comporte au contraire toutes les variantes.

10 C'est ainsi que le sodium liquide peut être amené dans l'enveloppe du générateur de vapeur par un nombre de tubulures différent de deux, et qu'il est possible de disposer sur la plaque de répartition inférieure 40 un nombre de nervures différent de huit.

15 Enfin, l'invention s'applique non seulement dans le cas des générateurs de vapeur dont le fluide caloporteur est du sodium liquide, associées à un réacteur nucléaire à neutrons rapides mais également dans le cas de tout générateur de vapeur dont le fluide caloporteur est un métal liquide dont la réaction avec l'eau alimentaire risque d'engendrer des ondes de pression, en cas de fuite dans le faisceau tubulaire du générateur de vapeur.

REVENDICATIONS

1.- Dispositif de production de vapeur par échange de chaleur entre un métal liquide caloporteur et de l'eau alimentaire, comportant une enveloppe cylindrique (31) allongée disposée avec son axe vertical, fermée à chacune de ses extrémités par un fond plein (59) recevant du métal liquide dans sa partie supérieure par au moins une tubulure (35, 36) traversant l'enveloppe (31) et débouchant dans un espace limité par une virole centrale (38) coaxiale à l'enveloppe s'étendant sur une certaine hauteur au-dessus et en-dessous de la tubulure d'arrivée de métal liquide (35, 36) et par une plaque perforée annulaire inférieure (40) située entre l'enveloppe (31) et la virole centrale (38), à la partie inférieure de celle-ci, de façon que le niveau de métal liquide (53, 54) se maintienne au-dessus de la tubulure d'arrivée de métal liquide, du gaz neutre remplissant l'espace compris entre le niveau de métal liquide (53, 54) et le fond supérieur (59) de l'enveloppe (31) et qu'une circulation de métal/liquide s'établisse dans l'enveloppe (31), en contact avec un faisceau tubulaire dans lequel circule l'eau alimentaire en cours de vaporisation, situé en-dessous de l'espace où arrive le métal liquide, le métal liquide ressortant de l'enveloppe (31) à sa partie inférieure, une virole périphérique (39) d'un diamètre un peu inférieur à celui de l'enveloppe (31) étant fixée sur l'enveloppe (31) et disposée coaxialement à une faible distance de celle-ci dans sa partie située au-dessus de la tubulure d'arrivée (35, 36) de métal liquide, caractérisé par le fait que deux plaques annulaires (45, 46) perforées sont fixées entre la virole centrale (38) et la virole périphérique (39) au-dessus de la tubulure d'arrivée de métal liquide (35, 36) espacées suivant la hauteur de l'enveloppe (31) et séparées par des entretoises verticales perforées (47), les perforations des plaques annulaires (45, 46) et de la plaque inférieure (40) étant identiques quant à leur dimension et à leur disposition sur les plaques (45, 46, 40) et alignées suivant la direction verticale.

2.- Dispositif de production de vapeur suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que l'extrémité supérieure de la virole centrale (38) est au-dessus du niveau libre du métal liquide et nettement en-dessous du fond supérieur (59).

3.- Dispositif de production de vapeur suivant l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé par le fait que des nervures radiales de raidissement (44) sont fixées sur la plaque inférieure (40), ces nervures ayant une hauteur nettement inférieure à la distance verticale entre la plaque (40) et la tubulure (35, 36) d'arrivée de métal liquide.

1/2

Fig 2



