



CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

Int. Cl.³: F 22 B 21/40
G 21 D 5/14

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein



⑫ FASCICULE DU BREVET A5

625 029

⑫ Numéro de la demande: 9983/78

⑫ Date de dépôt: 25.09.1978

⑫ Priorité(s): 28.09.1977 FR 77 29149

⑫ Brevet délivré le: 31.08.1981

⑫ Fascicule du brevet
publié le: 31.08.1981

⑫ Titulaire(s):
Commissariat à l'Energie Atomique, Paris 15e
(FR)

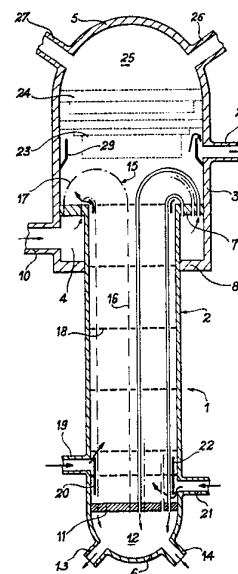
⑫ Inventeur(s):
Jean Forestier, Montrouge (FR)
Bernard Leblanc, Paris (FR)
Marcel Monteil, Paris (FR)
Pierre Monteil, Esvres (FR)

⑫ Mandataire:
Bovard & Cie., Bern

⑫ Générateur de vapeur pour centrale à eau pressurisée.

⑫ Ce générateur comporte deux viroles cylindriques, respectivement interne (2) et externe (3) fermées à leurs extrémités opposées par des fonds (6, 5) et une plaque à tubes annulaire (7), horizontale, disposée entre l'extrémité supérieure de la virole interne et la virole externe. Cette plaque annulaire délimite avec les viroles et une cloison parallèle (8) un collecteur annulaire (4) d'admission d'eau primaire sous pression. Une plaque à tubes centrale (11) est montée dans la virole interne au voisinage de son fond d'extrémité inférieure et délimite avec celui-ci un collecteur d'évacuation (12) de l'eau primaire. Un faisceau de tubes (15) parallèles dans la majeure partie de leur longueur parcourus par l'eau primaire comporte en bout une partie coudée (17) en forme de crosse à concavité dirigée vers le bas pour leur raccordement avec la plaque à tubes annulaire. Des conduits d'entrée (20, 21) dans l'enveloppe amènent de l'eau secondaire à vaporiser et des conduits (26, 27) laissent sortir la vapeur produite.

Application à la fourniture de vapeur saturée ou surchauffée.



REVENDECATIONS

1. Générateur de vapeur pour centrale à eau pressurisée, caractérisé en ce qu'il comporte une enveloppe externe formée de deux viroles cylindriques, respectivement interne inférieure et externe supérieure à axe vertical commun, fermées à leurs extrémités opposées par des fonds et emboîtées l'une dans l'autre sur une longueur d'emboîtement parallèle à l'axe donné, ces viroles présentant des diamètres différents, une plaque à tubes annulaires horizontale, disposée entre l'extrémité supérieure de la virole interne et la virole externe, cette plaque annulaire délimitant avec les viroles et une cloison parallèle un collecteur annulaire d'admission d'eau primaire sous pression dont la hauteur est égale à la longueur d'emboîtement, une plaque à tubes centrale, montée dans la virole interne au voisinage de son fond d'extrémité inférieur et délimitant avec celui-ci un collecteur d'évacuation de l'eau primaire, un faisceau de tubes parallèles dans la majeure partie de leur longueur, parcourus par l'eau primaire, ces tubes s'étendant verticalement à partir de la plaque à tubes centrale et comportant en bout une partie soudée en forme de crosse à concavité dirigée vers le bas pour leur raccordement avec la plaque à tubes annulaires, les tubes étant raccordés de façon régulière sur la totalité de la plaque à tubes annulaires, des conduits d'entrée dans l'enveloppe de l'eau secondaire à vaporiser ménagés dans la virole interne au voisinage de la plaque à tubes centrale, et des conduits de sortie de la vapeur produite, prévus dans la virole externe ou dans le fond de celle-ci.

2. Générateur de vapeur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un conduit de prélèvement d'eau secondaire à la température de vaporisation, l'eau secondaire étant utilisée pour surchauffer ou resurchauffer la vapeur produite entre les corps haute pression et basse pression des turbines, le débit d'eau prélevée étant ensuite renvoyé dans le générateur à une température encore supérieure à l'eau secondaire d'alimentation.

3. Générateur de vapeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les conduits d'entrée de l'eau secondaire dans la virole interne de l'enveloppe sont associés à des organes de distribution circonférentiels, montés dans cette virole et permettant de répartir le débit dans celle-ci.

4. Générateur de vapeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les tubes du faisceau sont entretoisés, grâce à des grilles munies de trous brochés traversés par ces tubes.

La présente invention est relative à un générateur de vapeur, dans lequel un fluide primaire, constitué par de l'eau sous pression, parcourt un faisceau de tubes en échangeant de la chaleur avec un fluide secondaire, également constitué par de l'eau, afin de transformer celle-ci en vapeur saturée ou surchauffée. De préférence, un tel générateur est adapté pour fonctionner en étant associé à une installation de production d'énergie électrique par détente de la vapeur fournie dans des turbines, le fluide primaire provenant du circuit de refroidissement d'un réacteur nucléaire. Avantagusement, l'eau constituant le fluide secondaire est amenée, au moins pour une partie, d'un poste ou d'une réserve d'alimentation et, pour une autre partie, d'un circuit de prélèvement à partir du générateur lui-même, l'eau prélevée à la température de vaporisation étant notamment utilisée pour resurchauffer la vapeur entre les corps haute pression et basse pression des turbines.

On connaît déjà diverses réalisations de générateurs de vapeur de ce type, notamment tels que décrits et revendiqués dans la demande de brevet No 77.14888 pour «Générateur de vapeur à circulation forcée», dans lequel le générateur comporte principalement une enveloppe externe et une jupe interne coaxiales, associées à deux plaques à tubes horizontales séparées, l'une centrale et l'autre annulaire, et à un faisceau de tubes en U pour la circulation du

fluide primaire, ces tubes étant raccordés respectivement à l'une et à l'autre de ces deux plaques dans l'enveloppe, en passant dans leur partie soudée sous l'extrémité de la jupe.

La présente invention concerne un perfectionnement apporté à la structure d'un générateur de vapeur du genre précédent permettant une utilisation aussi bien en générateur de vapeur surchauffée qu'en générateur de vapeur saturée.

A cet effet, le générateur selon l'invention est caractérisé en ce qu'il comporte une enveloppe externe formée de deux viroles cylindriques, respectivement interne inférieure et externe supérieure, à axe vertical commun, fermées à leurs extrémités opposées par des fonds et emboîtées l'une dans l'autre sur une longueur d'emboîtement parallèle à l'axe donné, ces viroles présentant des diamètres différents, une plaque à tubes annulaires horizontale, disposée entre l'extrémité supérieure de la virole interne et la virole externe, cette plaque annulaire délimitant avec les viroles et une cloison parallèle un collecteur annulaire d'admission d'eau primaire sous pression dont la hauteur est égale à la longueur d'emboîtement, une plaque à tubes centrale, montée dans la virole interne au voisinage de son fond d'extrémité inférieur et délimitant avec celui-ci un collecteur d'évacuation de l'eau primaire, un faisceau de tubes parallèles dans la majeure partie de leur longueur, parcourus par l'eau primaire, ces tubes s'étendant verticalement à partir de la plaque à tubes centrale et comportant en bout une partie soudée en forme de crosse à concavité dirigée vers le bas pour leur raccordement avec la plaque à tubes annulaires, les tubes étant raccordés de façon régulière sur la totalité de la plaque à tubes annulaires des conduits d'entrée dans l'enveloppe de l'eau secondaire à vaporiser ménagés dans la virole interne au voisinage de la plaque à tubes centrale, et des conduits de sortie de la vapeur produite, prévus dans la virole externe ou dans le fond de celle-ci.

Grâce notamment à la disposition adoptée pour les tubes du faisceau et pour les plaques à tubes par rapport aux collecteurs d'admission et d'évacuation, d'une part, et aux conduits d'entrée et de sortie de l'eau secondaire, d'autre part, l'eau primaire et l'eau-vapeur secondaire circulent à contre-courant, sur la quasi-totalité de la longueur des tubes.

Avantageusement, le générateur comporte au moins un conduit de prélèvement d'eau secondaire à la température de vaporisation utilisée pour surchauffer la vapeur produite entre les corps haute pression et basse pression des turbines, le débit d'eau prélevée étant ensuite renvoyé dans le générateur à une température encore supérieure à celle de l'eau secondaire d'alimentation.

De préférence également, les conduits d'entrée de l'eau secondaire dans la virole interne de l'enveloppe sont associés à des organes de distribution circonférentiels montés dans cette virole et permettant de répartir le débit dans celle-ci. Les tubes du faisceau sont convenablement entretoisés, grâce à des grilles munies de trous brochés traversés par ces tubes.

Les caractéristiques d'un générateur de vapeur établi conformément à l'invention apparaîtront encore à travers la description qui suit de deux exemples de réalisation, donnés à titre indicatif et non limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels:

la fig. 1 est une vue schématique en coupe axiale d'un générateur de vapeur selon un premier mode de réalisation de l'invention, adapté à la fourniture de vapeur saturée;

la fig. 2 est une vue de détail en coupe verticale à plus grande échelle d'une autre variante de réalisation du générateur considéré, limitée à sa partie supérieure, pour la fourniture de vapeur surchauffée.

Dans l'exemple de réalisation illustré sur la fig. 1, la référence 1 désigne dans son ensemble le générateur selon l'invention, principalement constitué de deux viroles cylindriques respectivement 2 et 3 à axe vertical commun, la virole 2 étant par la suite appelée «virole interne» et la virole 3 «virole externe». Ces deux viroles sont raccordées l'une à l'autre par l'intermédiaire d'un collecteur 4 en forme de caisson torique de section rectangulaire et respectivement fermées à leurs extrémités opposées par des fonds hémisphériques 5

et 6. La paroi supérieure du caisson 4 est constituée d'une plaque à tubes 7, horizontale, de forme annulaire, ses parois verticales intérieure et extérieure étant respectivement solidarisiées aux viroles 2 et 3 dont elles constituent les prolongements, sa paroi inférieure étant une plaque annulaire plane 8. Un conduit 10 débouche à travers la paroi externe 3 de ce collecteur 4, en permettant l'admission dans celui-ci de l'eau primaire sous pression sortant du réacteur nucléaire.

A l'extrémité inférieure de la virole interne 2 est par ailleurs disposée une plaque à tubes centrale 11, également horizontale, ménageant avec le fond 6 fermant cette virole 2 un autre collecteur 12 ou collecteur d'évacuation de l'eau primaire, le débit de cette dernière se recueillant dans ce collecteur avant d'être évacué hors de l'appareil par des conduits 13 et 14.

La traversée du générateur de vapeur par l'eau primaire s'effectue à travers un faisceau de tubes 15, dont certains seulement sont représentés sur la figure, chacun de ces tubes comportant sur la majeure partie de sa longueur une jambe verticale 16, dont l'extrémité inférieure est raccordée à la plaque à tubes centrale 11. A leur extrémité opposée, au-delà de la partie ouverte supérieure de la virole 2, chacun des tubes 15 se prolonge par une partie coudée 17 en forme de crosse dont la concavité est dirigée vers le bas, permettant de raccorder ces tubes à la plaque annulaire 7 délimitant le collecteur d'admission. Grâce à ces dispositions, l'eau primaire sous pression, introduite par la conduite 10 dans le collecteur 4, traverse l'ensemble des tubes 15 pour venir se recueillir dans le collecteur d'évacuation 12 avant échappement hors de l'appareil par les conduites 13 et 14. De préférence, les tubes 15 du faisceau sont mutuellement entretoués au moyen d'une série de grilles 18 schématiquement représentées sur le dessin, ces grilles comportant à leur traversée par les tubes, et notamment par les jambes verticales 16 de ceux-ci, des trous brochés (non représentés), assurant le maintien convenable de ces tubes sans empêcher la circulation de l'eau secondaire, à contre-courant de l'eau primaire, à l'extérieur des tubes.

La production de vapeur saturée est réalisée grâce à l'admission par un conduit latéral 19 d'eau secondaire, pénétrant dans la virole interne 2 au voisinage de son extrémité inférieure au-dessus de la plaque à tubes centrale 11, ce conduit 19 étant associé, à l'intérieur de la virole, à un déflecteur de forme cylindrique 20 permettant d'assurer une bonne répartition du débit. On prévoit également dans la paroi opposée de la virole interne 2 un autre conduit d'admission 21 associé à nouveau à un déflecteur 22, l'eau secondaire introduite dans la virole par ce conduit 21 correspondant, comme on le verra ci-après à un retour d'eau prélevée dans le générateur lui-même pour assurer la resurchauffe de la vapeur entre les corps haute et basse pression des turbines (non représentées) associées à l'installation, l'eau renvoyée dans la virole 2 étant à une température sensiblement supérieure à celle de l'eau d'alimentation introduite par le conduit 19 et destinée en conséquence à assurer un balayage efficace et dans les meilleures conditions thermiques de la plaque à tubes 11.

Dans la virole interne 2 et au contact du faisceau des tubes 15, l'eau secondaire s'échauffe progressivement puis se vaporise en se présentant sous la forme d'un mélange de gouttelettes d'eau et de vapeur au-dessus du faisceau des tubes 15. Le mélange traverse alors des séparateurs 23 où il s'enrichit en vapeur, puis des sécheurs 24, la vapeur recueillie dans le collecteur 25 ménagé sous le fond supérieur 5 de la virole externe 3 étant une vapeur quasi sèche, extraite finalement de l'appareil par les conduits 26 et 27. Sous les séparateurs 23 est avantageusement disposé le conduit 28 avec déflecteur cylindrique 29, permettant, comme indiqué précédemment, de prélever une partie de l'eau secondaire à la température de vaporisation pour utilisation dans un circuit extérieur, avant renvoi à

l'appareil par le conduit 21. Cette disposition présente l'avantage supplémentaire de favoriser le fonctionnement des séparateurs 23.

On réalise ainsi un générateur de vapeur saturée présentant des avantages considérables, tant du point de vue de ses performances que de son fonctionnement, vis-à-vis des générateurs de vapeur à tubes en U classiques. Sur le plan des performances, le fait d'avoir un générateur à circulation méthodique à bonne homogénéisation et à vitesse élevée du fluide secondaire permet d'accroître des échanges thermiques de façon très importante. Il en résulte que la pression dans le générateur peut être augmentée, d'où une amélioration du rendement de l'installation prise globalement, particulièrement lorsque l'on utilise préférentiellement un système à surchauffe entre les corps haute et basse pression des turbines par prélèvement d'eau secondaire dans le générateur lui-même. Sur le plan du fonctionnement, en dehors d'une excellente stabilité, le générateur est parfaitement adapté à suivre toutes variations de charges, étant donné l'excellent couplage existant intrinsèquement entre le générateur de vapeur et le réacteur nucléaire fournissant l'eau primaire sous pression. De plus, la séparation des plaques tubulaires et la forme des tubes qui en résulte permettent de réduire considérablement les contraintes thermiques dans ces plaques; d'autre part, grâce à leur forme en crosse, les tubes de circulation conservent une souplesse suffisante pour faire face au problème des dilatations différentielles.

De plus, les dispositions retenues permettent d'éviter les zones de stagnation de l'eau secondaire ou présentant des particularismes hydrodynamiques défavorables.

Dans une seconde variante de réalisation illustrée sur la fig. 2, on retrouve la majeure partie des dispositions mises en œuvre dans la première variante, le générateur étant cette fois destiné à fournir de la vapeur surchauffée. Notamment, on retrouve ici, avec sa plaque tubulaire annulaire 7, le collecteur d'admission torique 4 reliant la virole interne 2 et la virole externe 3, le faisceau des tubes 15 avec leurs jambes verticales 16 et leur partie coudée 17 en forme de crosse, ainsi qu'à la partie supérieure de la virole externe, le fond 5 fermant cette dernière.

Dans cette variante cependant, la région située à l'intérieur de la virole externe 3 au-dessus de l'extrémité du faisceau des tubes 15 comporte un déflecteur transversal 30 tel que la vapeur surchauffée de la région 31 balaie convenablement la partie supérieure des tubes avant de se recueillir au-dessus de ce déflecteur 30 dans le collecteur 32 d'où elle est évacuée par les conduits 33 et 34. Dans cette variante, le prélèvement d'eau à la température de vaporisation s'effectue avantageusement par une conduite latérale 35 associée à un déflecteur cylindrique interne 36, cette conduite 35 étant prévue dans une zone correspondant au début de la vaporisation de l'eau secondaire au contact des tubes parcourus par l'eau primaire. Comme dans l'exemple précédent, l'eau secondaire prélevée, après resurchauffe de la vapeur entre les corps haute et basse pression des turbines, est renvoyée à la base du générateur pour se mélanger avec l'eau d'alimentation après balayage de la plaque tubulaire 11.

Le générateur de vapeur surchauffée ainsi conçu présente des performances et des caractéristiques de fonctionnement réalisant une amélioration sensible par rapport aux performances des générateurs à tubes droits généralement utilisés pour la production de vapeur surchauffée. De plus, compte tenu de la structure du générateur, les tubes sont régulièrement répartis dans la virole interne et sur la plaque à tubes annulaire. En conséquence, on évite au maximum la création de gradients thermiques dans un plan perpendiculaire à l'axe du générateur.

On donne ci-après, dans un tableau récapitulatif, des exemples de caractéristiques thermodynamiques de générateurs de vapeur selon l'une et l'autre des deux variantes précédentes, l'eau primaire provenant d'un réacteur nucléaire à eau légère pressurisée.

Vapeur saturée (fig. 1)	Vapeur surchauffée (fig. 2)
Puissance thermique: 1387 MW Puissance électrique: 512 MW Diamètre intérieur: 2,80 m/4,50 m Hauteur: 19 m Nombre de tubes: 12000 Diamètre extérieur des tubes: 16 mm Surface d'échange: 7500 m ²	Puissance thermique: 1387 MW Puissance électrique: 511 MW Diamètre intérieur: 2,80 m/4,50 m Hauteur: 20 m Nombre de tubes: 12000 Diamètre extérieur des tubes: 16 mm Surface d'échange: 10200 m ²
Fluide primaire	Fluide primaire
Température d'entrée: 330°C Température de sortie: 292°C Débit: 5900 kg/s.	Température d'entrée: 329°C Température de sortie: 293°C Débit: 6238 kg/s.
Fluide secondaire	Fluide secondaire
a) <i>Eau alimentaire</i> Température d'entrée: 243,3°C Débit: 746 kg/s. <i>Vapeur</i> Sortie du générateur Pression: 79b Température: 294°C Débit: 746 kg/s. <i>Admission à la turbine</i> Pression: 75b Température: 291°C Débit: 746 kg/s.	a) <i>Eau alimentaire</i> Température d'entrée: 232,5°C Débit: 686,6 kg/s. <i>Vapeur</i> Sortie du générateur Pression: 74b Température: 310°C Débit: 686,6 kg/s. <i>Admission à la turbine</i> Pression: 75b Température: 308°C Débit: 686,6 kg/s.
b) <i>Eau de surchauffe</i> Température d'entrée: 260°C Température de sortie: 295°C Débit: 622 kg/s. Débit total d'eau secondaire: 1368 kg/s. Vitesse moyenne de l'eau dans la partie économiseur #: 0,82 m/s.	b) <i>Eau de surchauffe</i> Température d'entrée: 250,6°C Température de sortie: 290°C Débit: 536,5 kg/s. Débit total d'eau secondaire: 1222 kg/s. Vitesse moyenne de l'eau dans la partie économiseur #: 0,71 m/s.

