

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 143 725**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **22 14002**

⑤① Int Cl⁸ : **F 28 D 9/00 (2023.01), F 28 F 13/06, F 28 F 3/10,
B 01 J 3/06**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Module d'échangeur de chaleur à plaques à canaux dont ceux d'un circuit intègrent au moins une zone d'alimentation et de distribution de fluide formée par des plots et ceux de l'autre circuit sont délimités par la surface plane de plaque et des bords en surépaisseur.

②② Date de dépôt : 20.12.22.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 21.06.24 Bulletin 24/25.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 13.12.24 Bulletin 24/50.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public à caractère industriel et
commercial — FR.*

⑦② Inventeur(s) : JEANNINGROS Xavier, CACHON
Lionel, RIGAL Emmanuel et VINCENT Sébastien.

⑦③ Titulaire(s) : *COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public à caractère industriel et
commercial.*

⑦④ Mandataire(s) : Cabinet NONY.

FR 3 143 725 - B1



Description

Titre de l'invention : Module d'échangeur de chaleur à plaques à canaux dont ceux d'un circuit intègrent au moins une zone d'alimentation et de distribution de fluide formée par des plots et ceux de l'autre circuit sont délimités par la surface plane de plaque et des bords en surépaisseur.

Domaine technique

- [0001] La présente invention concerne un module d'échangeur de chaleur à empilement de plaques métalliques, intégrant au moins deux circuits de fluides.
- [0002] L'invention a trait plus particulièrement à la réalisation d'un nouveau type de module d'échangeur de chaleur pour diminuer les pertes de charges sans nuire à l'uniformité de la distribution des différents canaux de circulation interne de fluides, et tout en assurant à la fois une bonne efficacité thermique et un chargement thermomécanique satisfaisant.
- [0003] Les échangeurs de chaleur connus comprennent soit un seul soit au moins deux circuits à canaux de circulation interne de fluide. Dans les échangeurs à un seul circuit, les échanges thermiques se réalisent entre le circuit et un fluide environnant dans lequel il baigne. Dans les échangeurs à au moins deux circuits de fluide, les échanges thermiques se réalisent entre les deux circuits de fluide.
- [0004] Il est connu des réacteurs chimiques qui mettent en œuvre un procédé en continu selon lequel on injecte simultanément une quantité faible de co-réactants, à l'entrée d'un premier circuit de fluide, de préférence équipé d'un mélangeur, et on récupère le produit chimique obtenu en sortie dudit premier circuit. Parmi ces réacteurs chimiques connus, certains comprennent un deuxième circuit de fluide, appelé usuellement utilité, et dont la fonction est de contrôler thermiquement la réaction chimique, soit en apportant la chaleur nécessaire à la réaction, soit au contraire en évacuant la chaleur dégagée par celle-ci. De tels réacteurs chimiques à deux circuits de fluide avec utilité sont usuellement appelés échangeurs-réacteurs.
- [0005] La présente invention concerne aussi bien la réalisation de modules d'échangeurs de chaleur à fonction uniquement d'échanges thermiques et intégrant deux circuits de fluide que la réalisation d'échangeurs-réacteurs. Aussi, par « module d'échangeur de chaleur à au moins deux circuits de fluide », il faut comprendre dans le cadre de l'invention, aussi bien un module d'échangeur de chaleur à fonction uniquement d'échanges thermiques qu'un échangeur-réacteur.
- [0006] L'utilisation principale d'un module d'échangeur entre deux fluides selon l'invention

est son utilisation avec de l'eau comme un des deux fluides. Il peut s'agir avantageusement d'un échange entre eau liquide et eau liquide.

- [0007] L'application principale visée par un module d'échangeur selon l'invention est l'échange de chaleur entre de l'eau liquide d'un circuit primaire, et d'un circuit secondaire d'un réacteur nucléaire à eau pressurisée (REP) de type à petite ou moyenne puissance ou SMR en anglais (acronyme de « Small Modular Reactor »), à vocation calogène.
- [0008] Par « à vocation calogène », on entend ici et dans le cadre de l'invention, un réacteur nucléaire dont la puissance est dédiée majoritairement à la fourniture de chaleur. La puissance d'un réacteur à vocation calogène peut être à 100% pour fournir de la chaleur. Une faible part de sa puissance peut tout de même servir à fournir de l'électricité.
- [0009] Un module d'échangeur de chaleur selon l'invention peut aussi être mis en œuvre dans toute autre application nécessitant un échange entre deux fluides, tels qu'un liquide et un gaz, de préférence lorsqu'il est nécessaire d'avoir un échangeur compact et de grande puissance thermique.
- [0010] Par « fluide primaire », on entend dans le cadre de l'invention, le sens usuel en thermique, à savoir le fluide chaud qui transfère sa chaleur au fluide secondaire qui est le fluide froid.
- [0011] A contrario, par « fluide secondaire », on entend dans le cadre de l'invention, le sens usuel en thermique, à savoir le fluide froid auquel est transféré la chaleur du fluide primaire.
- [0012] Dans l'application principale, le fluide primaire est l'eau liquide du circuit primaire d'un réacteur REP, tandis que le fluide secondaire est l'eau liquide du circuit secondaire dudit réacteur REP.

Technique antérieure

- [0013] Les échangeurs à tubes connus sont par exemple des échangeurs à tubes et calandre, dans lesquels un faisceau de tubes droits ou cintrés en forme de U ou en forme d'hélice est fixé sur des plaques percées et disposé à l'intérieur d'une enceinte étanche dénommée calandre. Dans ces échangeurs à tubes et calandre, l'un des fluides circule à l'intérieur des tubes tandis que l'autre fluide circule à l'intérieur de la calandre. Ces échangeurs à tubes et calandre présentent un volume important et sont donc de faible compacité.
- [0014] Les échangeurs de chaleur, dits à plaques, existants présentent des avantages importants par rapport aux échangeurs de chaleur, dits à tubes, existants, en particulier leurs performances thermiques et leur compacité grâce à un rapport de la surface sur le volume d'échanges thermiques favorablement élevé. Les échangeurs compacts à

plaques sont utilisés dans de nombreux domaines industriels. Dans ce domaine des échangeurs compacts à plaques, de nombreuses formes élémentaires définissant des motifs d'échanges thermiques ont été développées.

- [0015] On peut citer en premier lieu les échangeurs à plaques intégrant des ailettes, dans lesquels un motif d'échange thermique est défini par une structure délimitée par des ailettes, les structures étant rapportées entre deux plaques métalliques et pouvant avoir des géométries très variées. Le motif d'échange peut être différent entre un des deux circuits de fluides de l'échangeur et l'autre. L'assemblage entre plaques métalliques se fait usuellement par brasage, ou par soudage-diffusion.
- [0016] Il est également connu des échangeurs à plaques à ondulations ou corruguées. Les ondulations sont créées par emboutissage d'une plaque séparant les deux circuits de fluides. De ce fait, le motif d'échange est identique pour chacun des deux circuits de fluides.
- [0017] L'écoulement de fluides généré par ce type de motif d'échanges est tridimensionnel et, de ce fait, est très performant. L'assemblage entre plaques se fait soit par liaison boulonnée soit par leur soudage périphérique (soudage classique, ou par soudage-diffusion).
- [0018] Il est enfin connu des échangeurs à plaques à rainures usinées, l'usinage étant mécanique ou réalisé par voie électrochimique. Les canaux définis par les usinages sont de section millimétrique et sont le plus souvent continus et selon un profil régulier en zigzag. L'assemblage des plaques se fait par soudage-diffusion, notamment par compression isostatique à chaud (CIC) permettant une soudure sur tous les points de contacts entre deux plaques adjacentes. Ce type d'échangeur à plaques à rainures usinées est donc intrinsèquement très résistant à la pression.
- [0019] La demande de brevet intitulée « *Installation nucléaire comprenant au moins un réacteur nucléaire modulaire (SMR) et un puits de cuve délimitant un bassin d'eau dans lequel le bloc de réacteur SMR et les échangeurs entre circuits primaire et secondaire sont immergés.* » et déposée le même jour que la présente demande propose une nouvelle architecture de réacteur nucléaire.
- [0020] Dans cette architecture, les échangeurs de chaleur entre les circuits primaire et secondaire d'un réacteur REP à vocation calogène sont agencés en périphérie de la cuve de réacteur, ces composants étant immergés dans un bassin d'eau en tant que fluide du circuit secondaire. La circulation de l'eau dans les circuits primaire et secondaire est réalisée par convection naturelle, sans pompe. La circulation du fluide primaire est obtenue par thermosiphon et celle du fluide secondaire est obtenue par la réalisation d'une thermocline au sein du bassin d'eau.
- [0021] Les inventeurs de la présente demande ont dû concevoir les échangeurs entre circuits primaire et secondaire selon cette architecture.

- [0022] En premier lieu, ils ont analysé que les circulations par convection naturelle de l'eau des circuits primaire et secondaire présentent le désavantage d'être relativement sensibles aux pertes de charge.
- [0023] Or, le cahier des charges d'un échangeur immergé comme indiqué ci-avant, impose une perte de charge maximale de 2000 Pa pour la partie du circuit secondaire au sein de l'échangeur.
- [0024] Les inventeurs ont considéré que les échangeurs à plaques assemblés par compression isostatique à chaud (CIC) présentaient divers avantages en tant qu'échangeurs entre circuits primaire et secondaire du réacteur précité, notamment du fait que comparés aux échangeurs tubes et calandre, ils sont souvent plus compacts et moins sensibles aux vibrations.
- [0025] Plus particulièrement, ils ont analysé qu'un module d'échangeur tel que divulgué dans la demande de brevet EP4086556A1 était un bon candidat à une application en tant qu'échangeur entre circuits primaire et secondaire du réacteur précité. En effet, le module selon cette demande de brevet présente les avantages majeurs suivants :
- [0026] - possibilité de fabrication par un procédé CIC ;
- [0027] - maîtrise de la distribution de débit, à perte de charge imposée ;
- [0028] - garantie de la tenue mécanique ;
- [0029] - minimisation des inerties thermiques, pour le dimensionnement thermomécanique lors des régimes transitoires de fonctionnement du réacteur ;
- [0030] - minimisation du nombre de collecteurs d'admission.
- [0031] Les inventeurs ont alors réalisé des calculs de pertes de charge d'un module selon cette demande de brevet EP4086556A1, à partir d'un outil de simulation numérique de mécanique des fluides numérique (MFN), (en anglais « Computational Fluid Dynamics » d'acronyme CFD), aux conditions de fonctionnement d'un réacteur à vocation calogène précité.
- [0032] Le tableau 1 suivant synthétise ces conditions de fonctionnement pour une puissance thermique échangée par un module de 4,167 MW.

[0033] [Tableaux1]

Paramètres	Valeurs
Pression de l'eau du circuit primaire	3 bars
Température en entrée du circuit primaire	110°C
Température en sortie du circuit primaire	65°C
Débit de l'eau du circuit primaire	33,04 kg/s
Pression de l'eau du circuit secondaire	2,5 bars
Température en entrée du circuit secondaire	45°C
Température en sortie du circuit secondaire	90°C
Débit de l'eau du circuit secondaire	22,12 kg/s

[0034] Les calculs réalisés indiquent que la perte de charge obtenue au circuit secondaire est de 2455 Pa, dont 1055 Pa dans la zone de canaux d'échange rainurés et 1400 Pa dans les pré-collecteurs d'entrée et de sortie.

[0035] La perte de charge maximale de 2000 Pa imposé par le cahier des charges est donc largement dépassé.

[0036] Il existe donc un besoin pour améliorer encore les modules d'échangeur à plaques tels que celui selon la demande de brevet EP4086556A1, notamment afin de diminuer les pertes de charge au sein des modules, et plus particulièrement de leur circuit secondaire.

[0037] Le but de l'invention est de répondre à ce besoin.

Exposé de l'invention

[0038] Pour ce faire, l'invention concerne un module d'échangeur de chaleur à au moins deux circuits de fluides, d'axe longitudinal comprenant un empilement de plaques définissant au moins deux circuits de fluide, au moins une partie des plaques comprenant chacune des canaux de circulation de fluide, dans lequel :

[0039] - les canaux de l'un des deux circuits, dit premier circuit, présentent:

- au moins une zone d'alimentation et de distribution du fluide, dit premier fluide, depuis l'extérieur de l'empilement, formant un pré-collecteur du premier fluide, dans laquelle les canaux sont délimités, pour chaque plaque, par des plots pleins répartis sur la surface de plaque et débouchent à l'une des extrémités longitudinales de la plaque,
 - une zone d'échange continue avec le pré-collecteur dans laquelle les canaux sont délimités, pour chaque plaque, chacun par une rainure séparés entre eux par une nervure et s'étendent le long de l'axe longitudinal;
- les canaux de l'autre des deux circuits dit deuxième circuit présentent:

- au moins une zone d'alimentation et de distribution du fluide, dit deuxième fluide, depuis l'extérieur de l'empilement, formant un pré-collecteur du deuxième fluide, dans laquelle l'unique canal est délimité, pour chaque plaque, par la surface centrale plane de plaque, un bord latéral en surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque et les deux bords longitudinaux discontinus en même surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque que le bord latéral,
- une zone d'échange continue avec le pré-collecteur dans laquelle l'unique canal est délimité, pour chaque plaque, par la surface centrale plane de plaque et les deux bords longitudinaux discontinus en même surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque que le bord latéral, la distance entre le bord latéral et l'un des bords longitudinaux discontinus en surépaisseur définissant une ouverture d'entrée ou de sortie du deuxième fluide dans l'empilement.

[0040] Selon un mode de réalisation avantageux, le module comprend deux pré-collecteurs du premier circuit, agencés chacun à l'une des extrémités longitudinales de l'empilement, l'un des deux pré-collecteurs formant un pré-collecteur d'entrée de fluide, l'autre formant un pré-collecteur de sortie du fluide.

[0041] Les plots du premier circuit sont avantageusement pleins.

[0042] Selon un mode de réalisation avantageux, le module comprend au moins à l'une des extrémités longitudinales de l'empilement, un collecteur de fluide débouchant sur une embase latérale de l'empilement sur laquelle les canaux du pré-collecteur du premier circuit débouchent mais pas ceux du pré-collecteur du deuxième circuit.

[0043] Selon ce mode, le module comprend avantageusement à l'une des extrémités longitudinales, un collecteur de fluide formant le collecteur d'entrée du premier circuit et à l'autre des extrémités longitudinales, un collecteur de fluide formant le collecteur de sortie du premier circuit.

[0044] Selon un autre mode de réalisation avantageux, le module comprend sur un côté latéral de l'empilement, un collecteur de fluide traversant l'empilement transversalement à l'axe (X) et débouchant sur les canaux du pré-collecteur du deuxième circuit mais pas sur ceux du premier circuit.

[0045] Selon ce mode, le module comprend avantageusement sur chaque côté latéral de l'empilement, un collecteur de fluide formant le collecteur de sortie du deuxième circuit.

[0046] Selon une alternative de configuration, les plots sont uniformément répartis en quinconce sur la surface de plaque du pré-collecteur, selon un motif triangulaire.

[0047] Selon une autre alternative, les plots sont uniformément répartis sur la surface de plaque du pré-collecteur selon un motif rectangulaire ou carré.

[0048] De préférence encore, les plots sont de forme générale cylindrique.

- [0049] De préférence encore, les canaux de la zone d'échange du premier circuit sont droits, parallèles entre eux et s'étendent parallèlement à l'axe longitudinal (X).
- [0050] L'invention a également pour objet, selon une première alternative, un procédé de fabrication d'un module d'échangeur qui vient d'être décrit, comprenant les étapes suivantes :
- [0051] a1/ réalisation d'une pluralité d'au moins deux plaques métalliques comprenant chacune :
- sur l'une des deux faces principales :
 - au moins une zone d'alimentation et de distribution du premier fluide, dit premier fluide, formant un pré-collecteur du premier fluide, dans laquelle les canaux sont délimités par des plots pleins répartis sur la surface de plaque et débouchent à l'une des extrémités longitudinales de plaque,
 - une zone d'échange continue avec le pré-collecteur dans laquelle les canaux sont délimités chacun par une rainure séparés entre eux par une nervure;
 - sur l'autre des deux faces principales :
 - au moins une zone d'alimentation et de distribution du deuxième fluide dit deuxième fluide, formant un pré-collecteur du deuxième fluide, dans laquelle l'unique canal est délimité par la surface centrale plane de plaque, un bord latéral en surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque et les deux bords longitudinaux discontinus en même surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque que le bord latéral,
 - une zone d'échange continue avec le pré-collecteur dans laquelle l'unique canal est délimité par la surface centrale plane de plaque et les deux bords longitudinaux discontinus en même surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque que le bord latéral, la distance entre le bord latéral et l'un des bords longitudinaux discontinus en surépaisseur définissant une ouverture d'entrée ou de sortie du deuxième fluide ;
- [0052] b1/ mise en miroir avec alignement et contact par leurs faces principales de deux plaques comprenant les plots et nervures ;
- [0053] c1/ assemblage par compression isostatique à chaud (CIC) des deux plaques, de sorte à obtenir une nappe métallique ;
- [0054] d1/ empilement de la pluralité de nappes assemblées par CIC selon l'étape c/ avec mises en place d'une plaque d'extrémité à chaque extrémité longitudinale de l'empilement ;
- [0055] e1/ soudage, de préférence par laser, de la pluralité de nappes et plaques d'extrémité empilées de sorte à obtenir le module.
- [0056] L'invention a également pour objet, selon une deuxième alternative, un procédé de fabrication d'un module d'échangeur qui vient d'être décrit, comprenant les étapes

suivantes :

- [0057] a2/ réalisation d'une pluralité d'au moins deux plaques métalliques comprenant chacune :
- sur une des deux faces principales:
 - au moins une zone d'alimentation et de distribution du premier fluide, dit premier fluide, formant un pré-collecteur du premier fluide, dans laquelle les canaux sont délimités par des plots pleins répartis sur la surface de plaque et débouchent à l'une des extrémités longitudinales de plaque,
 - une zone d'échange continue avec le pré-collecteur dans laquelle les canaux sont délimités chacun par une rainure séparés entre eux par une nervure;
 - sur l'autre des deux faces principales :
 - au moins une zone d'alimentation et de distribution du deuxième fluide dit deuxième fluide, formant un pré-collecteur du deuxième fluide, dans laquelle l'unique canal est délimité par la surface centrale plane de plaque,
 - une zone d'échange continue avec le pré-collecteur dans laquelle l'unique canal est délimité par la surface centrale plane de plaque et les deux bords longitudinaux discontinus en même surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque que le bord latéral, la distance entre le bord latéral et l'un des bord longitudinaux discontinus en surépaisseur définissant une ouverture d'entrée ou de sortie du deuxième fluide ;
- [0058] b2/ mise en miroir avec alignement et contact par leurs faces principales de deux plaques comprenant les plots et nervures ;
- [0059] c2/ assemblage par compression isostatique à chaud (CIC) des deux plaques, de sorte à obtenir une nappe métallique ;
- [0060] d2/ empilement alterné de la pluralité de nappes assemblées par CIC selon l'étape c/ avec à chaque extrémité latérale, les dents d'un peigne métallique définissant un bord latéral en surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque et avec chaque extrémité longitudinale, les dents d'un peigne métallique définissant les deux bords longitudinaux discontinus en même surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque que le bord latéral;
- [0061] e/ assemblage par compression uni-axiale à chaud (CUC), de la pluralité de nappes, peignes et plaques d'extrémité empilées de sorte à obtenir le module.
- [0062] On peut aussi envisager une réalisation d'un module d'échangeur par fabrication additive.
- [0063] L'invention concerne également l'utilisation de l'échangeur de chaleur tel que décrit précédemment, le fluide du premier circuit, en tant que fluide primaire étant de l'eau liquide et le fluide du deuxième circuit, en tant que fluide secondaire, étant également de l'eau liquide.

- [0064] Le fluide du premier ou du deuxième circuit peut provenir d'un réacteur nucléaire.
- [0065] L'invention concerne également une installation nucléaire comprenant un réacteur nucléaire à eau pressurisée, notamment du type SMR et comprenant une pluralité de modules d'échangeur tels que celui décrit précédemment.
- [0066] Ainsi, l'invention consiste essentiellement à réaliser un module d'échangeur à plaques empilées ou réalisées par fabrication additive, dont au moins un des pré-collecteurs d'un des circuits de fluide, dit premier circuit, est réalisé avec des plots répartis sur la surface de plaque qui délimitent les canaux dans lesquels circule le fluide avant d'atteindre sa zone d'échange thermique et l'autre des circuits de fluide, dit deuxième circuit est délimité uniquement par la surface plane d'une plaque et des bords latéraux et longitudinaux discontinus en surépaisseur par rapport à la surface plane.
- [0067] Les plots du premier circuit et les bords en surépaisseur du deuxième circuit permettent de garantir la tenue sous pression des plaques tout en présentant une faible inertie thermique.
- [0068] Les plots permettent de garantir une distribution homogène du fluide en minimisant l'ajout de pertes de charge et ce, indépendamment de la géométrie des canaux de la zone d'échange thermique.
- [0069] Les formes géométriques et les répartitions des plots peuvent être modifiées à souhait pour maîtriser la distribution du fluide en fonction de l'application envisagée et de ses contraintes notamment de température et de pression.
- [0070] On peut aussi faire varier la densité de plots dans le pré collecteur.
- [0071] Grâce aux plots selon l'invention en lieu et places des bifurcations selon le brevet FR3054879B1, on s'affranchit aussi des zones d'inertie thermique Z.I telles qu'illustrées en figure 1B.
- [0072] En outre, les plots permettent de définir des géométries de modules d'échangeurs avec une admission et une sortie de fluide sur une même face longitudinale de module pour obtenir un agencement de modules côte-à-côte et minimiser les longueurs de tuyauterie entre eux.
- [0073] L'absence de plots et d'isthmes (nervures séparant des rainures formant des canaux) au circuit secondaire permet de diminuer fortement les pertes de charges du deuxième circuit. Cela rend le module d'échangeur compatible avec une application comme un réacteur nucléaire REP à vocation calogène, pour laquelle le module est immergé dans le fluide de son circuit secondaire.
- [0074] De plus, le fait d'agencer les collecteurs d'entrée et de sortie aux extrémités longitudinales de l'empilement du module permet de réduire les pertes de charges du premier circuit.
- [0075] Toutes les applications nécessitant des échangeurs de chaleur ou générateur vapeur

peuvent être envisagées avec des modules d'échangeur selon l'invention, parmi lesquelles on peut citer, tous les types de réacteurs nucléaires GEN 3, GEN 4, SMR (acronyme anglais pour « Small Medium Reactor»), les réseaux de chaleur urbain, les électrolyseurs EHT, l'industrie du pétrole et gaz, l'industrie du solaire, l'industrie chimique...

[0076] D'autres avantages et caractéristiques ressortiront mieux à la lecture de la description détaillée, faite à titre illustratif et non limitatif, en référence aux figures suivantes.

Brève description des dessins

[0077] [Fig.1] la [Fig.1] est une vue en perspective et en arraché partiel d'un module d'échangeur selon l'invention avec ses collecteurs, la [Fig.1] montrant une face principale d'une plaque dont les canaux et plots sont dédiés à la circulation d'eau liquide en tant que fluide primaire.

[0078] [Fig.2] la [Fig.2] est une vue de face montrant une des faces principales d'une plaque dont les canaux et plots sont dédiés à la circulation d'eau liquide en tant que fluide primaire.

[0079] [Fig.3] la [Fig.3] est une vue de face montrant l'autre des faces principales de la plaque selon la [Fig.2], dont la surface plane est dédiée à la circulation d'eau liquide en tant que fluide secondaire.

[0080] [Fig.4A][Fig.4B] les figures 4A, 4B sont des vues en perspective montrant des étapes d'un premier procédé de fabrication d'un module d'échangeur selon l'invention.

[0081] [Fig.5] la [Fig.5] est une vue en perspective d'un module d'échangeur selon l'invention fabriqué selon un deuxième procédé de fabrication.

[0082] [Fig.6] la [Fig.6] est une vue en perspective d'un peigne longitudinal mis en œuvre sur l'un des bords longitudinaux d'un module d'échangeur lors de sa fabrication selon le deuxième procédé.

[0083] [Fig.7] la [Fig.7] est une vue en perspective partielle montrant la mise en œuvre du peigne longitudinal selon la [Fig.6] au sein d'un empilement afin de former un module d'échangeur selon l'invention.

[0084] [Fig.8] la [Fig.8] est une vue en perspective d'un peigne latéral mis en œuvre sur l'un des bords longitudinaux d'un module d'échangeur lors de sa fabrication selon le deuxième procédé.

[0085] [Fig.9] la [Fig.9] est une vue en perspective partielle montrant la mise en œuvre du peigne latéral selon la [Fig.8] au sein d'un empilement afin de former un module d'échangeur selon l'invention.

[0086] [Fig.10] la [Fig.10] est une vue en perspective et en arraché partiel d'un module d'échangeur selon l'invention sans ses collecteurs, la [Fig.10] illustrant la circulation du fluide primaire au sein du module.

[0087] [Fig.11] la [Fig.11] est une vue en perspective et en arraché partiel d'un module d'échangeur selon l'invention sans ses collecteurs, la [Fig.11] illustrant la circulation du fluide secondaire au sein du module.

Description détaillée

[0088] Par souci de clarté, les mêmes éléments sont désignés par les mêmes références numériques selon l'état de l'art et selon l'invention.

[0089] On précise que dans l'ensemble de la demande, les termes « entrée », « sortie », « amont », « aval » sont à comprendre en relation avec le sens de la circulation du fluide considéré au sein d'un module d'échange de chaleur selon l'invention.

[0090] Le module d'échangeur M est décrit en tant que module d'échangeur entre de l'eau liquide en tant que fluide d'un circuit primaire (F1) et également de l'eau liquide en tant que fluide de circuit secondaire (F2) d'un réacteur nucléaire REP de type SMR.

[0091] En [Fig.1], on a donc représenté un module M d'échangeur de chaleur selon l'invention à deux circuits de fluides, qui est mis en œuvre à titre d'exemple pour un échange entre de l'eau liquide (F1), en tant que fluide primaire et de l'eau liquide (F2), en tant que fluide secondaire dans lequel le module M peut être immergé.

[0092] Le module M est constitué d'un empilement de plaques métalliques 1 assemblées entre elles d'abord en nappes par soudage-diffusion de préférence selon une technique de CIC puis par soudage laser entre elles ou par insertion de peignes dans l'empilement puis par compression uniaxiale à chaud, comme détaillé par la suite. Le module M peut également être réalisé par fabrication additive.

[0093] Comme visible sur cette [Fig.1], ce module M qui s'étend selon un axe central (X), intègre deux collecteurs 11, 12 respectivement d'entrée et de sortie de l'eau liquide du fluide primaire (F1), l'un étant agencé sur le dessus du module selon l'axe X et l'autre étant agencé également selon l'axe X du module mais sur le dessous. Comme détaillé par la suite, chacun des collecteurs 11, 12 débouche sur une embase latérale de l'empilement de plaques 1 sur laquelle les canaux du circuit du fluide F1 débouchent mais pas ceux du circuit du fluide secondaire F2.

[0094] Le module M comprend également deux collecteurs 22 de sortie du fluide F2, agencés de part et d'autre du collecteur d'entrée 11 du fluide F1 en haut du module. Le module M ne comprend pas en tant que tels de collecteurs d'entrée du fluide F2, celui-ci rentrant directement dans le pré-collecteur d'entrée du circuit secondaire depuis le bas du module, comme détaillé par la suite.

[0095] Dans un tel module M, la circulation des fluides (F1, F2) est donc à contre-courant.

[0096] Le module M selon l'échangeur comprend une pluralité de plaques 1 empilées entre elles, dont une face principale 10 délimite la circulation du fluide F1 et dont l'autre face principale 20, opposée à la face principale 10 délimite la circulation du fluide F2,

les flèches symbolisant la circulation de chacun des fluides dans chaque plaque concernée.

- [0097] La [Fig.2] montre la face principale 10 d'une plaque 1, dédiée à la circulation de F1.
- [0098] La face principale 10 comprend deux zones d'alimentation et de distribution Z_H formant chacune un pré-collecteur du fluide, agencées de part et d'autre d'une zone d'échange thermique Z_E .
- [0099] Les canaux 13 d'un pré-collecteur Z_H sont délimités par des plots cylindriques pleins 14 répartis sur la surface de plaque. De préférence, les plots cylindriques pleins 14 sont uniformément répartis en quinconce sur la surface de la face principale 10 au niveau pré-collecteur. Plus précisément, cette répartition en quinconce est faite selon un motif triangulaire identique sur toute la surface de la face principale 10 au niveau du pré-collecteur Z_H . Une répartition selon un motif triangulaire permet un meilleur remplissage du volume du pré-collecteur par les plots 14 et est privilégiée pour assurer la tenue en pression du module d'échangeur.
- [0100] Les canaux 13 délimités par les plots 14 cylindriques pleins débouchent sur les canaux 15 de la zone d'échange thermique Z_E qui est continue avec le pré-collecteur. Comme montré, les canaux 15 de la zone d'échange sont délimités chacun par une rainure 15 séparés entre eux par une nervure 16 et s'étendent le long de l'axe longitudinal (X). De préférence, comme montré, ils sont droits, parallèles entre eux et s'étendent parallèlement à l'axe longitudinal (X) du module 1.
- [0101] Comme détaillé ci-après, deux plaques 1 adjacentes avec des plots 14 cylindriques dont la hauteur représente une partie de la hauteur d'un canal 13, sont prévues d'être assemblées entre elles avec leurs faces principales 10 en regard l'une de l'autre pour former une nappe 3, la hauteur totale du canal de circulation de fluide étant celle cumulée des plots 14 des deux plaques 1 en continuité l'un de l'autre. Il en va de même pour les nervures 16. L'agencement des plots 14 permet de garantir la tenue sous pression des plaques 1. Les plots 14 permettent de garantir une distribution homogène du fluide primaire F1, i.e. de l'eau liquide, indépendamment de la géométrie des canaux 15 de leur zone d'échange thermique Z_E et ce tout en présentant une faible inertie thermique et en minimisant l'ajout de pertes de charge. En outre, comme déjà mentionné, les plots 14 sont dimensionnés pour garantir la tenue à la pression.
- [0102] Avec une telle face principale 10 d'une plaque 1, comme cela est illustré en partie en [Fig.2], l'eau liquide F1 est alimentée depuis le collecteur tubulaire d'entrée 11 pour être distribuée depuis l'entrée 100 des canaux 13 délimité par les plots 14. L'eau liquide F1 circule dans les canaux 13 autour des plots 14 du pré-collecteur d'entrée, pour parvenir jusqu'aux canaux 15 de la zone d'échange thermique Z_E puis circule autour des plots 14 du pré-collecteur de sortie pour être évacuée par la sortie 101 des canaux 13 puis récupérée par le collecteur tubulaire de sortie 12.

- [0103] La [Fig.3] montre la face principale 20 d'une plaque 1, dédiée à la circulation de F2.
- [0104] La face principale 20 est opposé à la face principale 10 d'une plaque 1.
- [0105] La face principale 20 comprend deux zones d'alimentation et de distribution Z_H formant chacune un pré-collecteur du fluide, agencées de part et d'autre d'une zone d'échange thermique Z_E .
- [0106] Cette face principale 20 est délimitée par deux bords latéraux 24, 25 en surépaisseur par rapport à la surface plane 23 et par deux bords longitudinaux discontinus 27, 28, c'est-à-dire non continus entre les deux bords latéraux 24, 25, et qui présentent la même surépaisseur que celle des bords latéraux 24, 25.
- [0107] L'unique canal 23 d'un pré-collecteur Z_H est délimité par la surface centrale plane 23 de plaque, un bord latéral 24 ou 25 en surépaisseur et les deux bords longitudinaux 27, 28.
- [0108] L'unique canal 23 de la zone d'échange Z_E est, quant à lui, délimité par la surface centrale plane 23 et les deux bords longitudinaux discontinus 27, 28.
- [0109] La distance entre le bord latéral 24 ou 25 et l'un des bord longitudinaux discontinus 27 ou 28 en surépaisseur définit une ouverture d'entrée 200 ou de sortie 201 du fluide F2.
- [0110] Avec une telle face principale 20 d'une plaque 1, comme cela est illustré en partie en [Fig.3], l'eau liquide F2 est alimentée depuis les ouvertures d'entrée 200 qui constituent en quelque sorte un collecteur d'entrée, puis dans l'unique canal 23 de surface plane. Le fluide F2 est alors dirigé et guidé par les bords longitudinaux 27, 28 depuis le pré-collecteur d'entrée, pour parvenir jusqu'à l'unique canal 23 de surface plane de la zone d'échange thermique Z_E puis est dirigé et guidé par le bord latéral 25 du pré-collecteur de sortie pour être évacué par les ouverture de sortie 201 puis être récupéré par les deux collecteurs de sortie 22.
- [0111] Ainsi, selon l'invention, on s'affranchit de toutes nervures (isthmes) et de plots pour le circuit de fluide secondaire F2 et on agence les collecteurs d'entrée 11 et de sortie 12 du circuit de fluide primaire F1 sur les extrémités longitudinales de l'empilement.
- [0112] Pour parvenir à cette conception, les inventeurs ont réalisé un dimensionnement thermo hydraulique d'un module d'échangeur 1 selon l'invention, par des calculs de mécanique des fluides numérique (MFN), (en anglais « Computational Fluid Dynamics » d'acronyme CFD).
- [0113] Le tableau 2 ci-après explicite les géométries de canaux d'échange sur les dimensions globales d'un module d'échangeur M répondant aux conditions de fonctionnement désirées pour l'application à un réacteur nucléaire REP de type SMR, telles qu'indiquées dans le tableau 1 mentionné en préambule.

[0114] [Tableaux2]

Paramètres	Unité	Circuit primaire F1	Circuit secondaire F2
Largeur d'une plaque 1	m	0,5	0,5
Largeur d'un canal d'échange	m	0,004	0,5
Profondeur d'un canal d'échange pour une nappe 3	m	0,003	0,002
Largeur d'une nervure (isthme)	m	0,001	0
Nombre de canaux d'échange par plaque 1	-	100	1
Perte de charge	Pa	1233	1500
Nombre de plaques 1		61,99	
Epaisseur de l'empilement de plaques	m	0,496	
Longueur de la zone d'échange Z_E	m	2,204	

[0115] De ce tableau 2, il ressort qu'en supprimant toute nervure (isthme) pour le circuit du fluide secondaire F2, soit en gardant un seul canal de section égale à 500x2 mm², la longueur d'échange est tout-à-fait acceptable.

[0116] Comme déjà indiqué, un module d'échangeur M selon l'invention est destiné à être immergé dans un bassin d'eau qui constitue une partie du circuit de fluide secondaire. Ainsi, la seule pression agissant sur les parois de l'empilement du circuit de fluide secondaire correspond à la pression isostatique et aux pertes de charge.

[0117] Du tableau 2, il ressort que les pertes de charge calculées à 1500 Pa sont négligeables pour le dimensionnement mécanique, ce qui valide bien le choix des inventeurs de supprimer toute nervure (isthme) pour le circuit de fluide secondaire F2.

[0118] En outre, du fait de son immersion, un module d'échangeur M reçoit un fluide secondaire avec des vitesses d'admission, c'est-à-dire aux ouvertures d'entrée 200, qui sont extrêmement faibles. Cela valide également la suppression de tout plot dans le pré-collecteur.

[0119] Enfin, le choix d'une face principale 10 à nervures (isthmes) 16 et plots 14 est fait pour conserver des marges dans le dimensionnement mécanique du module M, notamment dans les cas de fonctionnement nominal et en anticipation de cas de fonctionnement accidentels d'un réacteur nucléaire REP.

[0120] On décrit maintenant en référence aux figures 4A et 4B un procédé de fabrication d'un module d'échangeur M selon l'invention.

- [0121] Etape i/: Du fait de cette conception en quelque sorte dissymétrique entre les faces principales 10 et 20 d'une même plaque 1, un assemblage du module uniquement par empilement de plaques 1 que l'on souderait par soudage-diffusion par CIC est rendu impossible.
- [0122] En effet, l'absence d'isthme (nervure) et de plot pour le circuit du fluide secondaire provoquerait l'affaissement des plaques durant l'application du cycle CIC.
- [0123] Pour surmonter cette difficulté, on réalise des nappes 3 constituées chacune de deux plaques 1 mises en miroir, c'est-à-dire en contact par leurs plots 14 de leurs faces principales 10, puis assemblées par CIC. La hauteur des ouvertures d'entrée 100 et de sortie 101 du fluide primaire F1 ainsi que celle des canaux 13, 15 au sein des pré collecteurs d'entrée, de sortie et de la zone d'échange est déterminée par la hauteur des plots 14 et nervures (isthmes) 16.
- [0124] On obtient ainsi des nappes 3 unitaires, telles que celle montrée à la [Fig.4A], avec les faces principales extérieures qui sont les faces principales 20 des deux plaques 1 initiales.
- [0125] Les surépaisseurs des bords latéraux 24, 25 et longitudinaux 27, 28 qui sont intégrés initialement aux plaques 1 délimitent la hauteur des canaux 23 du fluide secondaire F2.
- [0126] Pour minimiser les pertes de charge singulières, on veille à ce que la hauteur H entre un bord latéral 24 ou 25 et un bord longitudinal 27 ou 28 soit inférieure ou égale à la largeur L/2 du canal 23 considérée dans la zone d'échange Z_E , soit entre les deux bords longitudinaux 27, 28.
- [0127] Etape ii/: Les nappes 3 sont empilées les unes sur les autres avec deux plaques d'extrémité 5 aux extrémités de l'empilement 4 définissant le module d'échangeur M.
- [0128] Puis, ces nappes 3 et plaques d'extrémités 5 sont soudées entre elles de préférence par un soudage laser ([Fig.4B]).
- [0129] Au lieu de réaliser des plaques 1 qui intègrent dès leur fabrication les surépaisseurs, on peut prévoir de réaliser des plaques 1 sans surépaisseur sur leur face principale 20 et de réaliser les surépaisseurs au moyen de peignes 6, 7 imbriqués dans l'empilement de nappes 3.
- [0130] Une fois l'imbrication réalisée, l'assemblage entre les nappes 3 et les peignes 6, 7 est alors réalisé par compression uni-axiale (Soudage Diffusion Uni-axiale (SDU)) pour constituer le module d'échangeur M, comme montré à la [Fig.5].
- [0131] La forme des peignes longitudinaux 6 et latéraux 7 ainsi que l'imbrication individuelle de leurs dents 60, 70 entre deux nappes adjacentes sont montrées aux figures 6 à 9.
- [0132] Les figures 10 et 11 illustrent les circulations des fluides primaire F1 et secondaire F2 au sein de l'empilement assemblé de nappes et plaques d'extrémité 5 d'un module d'échangeur M selon l'invention, sans ses collecteurs.

- [0133] D'autres variantes et améliorations peuvent être envisagées sans pour autant sortir du cadre de l'invention.
- [0134] Les hauteurs des bords latéraux et longitudinaux discontinus des faces principales 20 des plaques 1 qui délimitent la circulation du deuxième fluide F2 peuvent être adaptées en fonction de l'application selon les règles de dimensionnement usuelles, de tenue mécanique aux pressions, de pertes de charges et de la distribution de débit de fluide.
- [0135] Les géométries des plots et la périodicité du pas du motif rectangulaire, carré ou triangulaire de leur répartition, sont à déterminer en fonction de l'application selon les règles de dimensionnement usuelles, de tenue mécanique aux pressions, de pertes de charges et de distribution de débit de fluide dans les canaux.
- [0136] Si dans l'ensemble des exemples illustrés, toutes les faces principales 10 des plaques 1 sont réalisées avec des pré-collecteurs à plots 14, on peut envisager de ne réaliser que celles d'un seul circuit de fluides, l'autre pouvant comprendre des pré-collecteurs classiques.
- [0137] On peut envisager d'autres formes que des plots 14 cylindriques. Par exemple, on peut envisager des géométries elliptiques, en forme de gouttes d'eau...
- [0138] Par ailleurs, si dans les exemples illustrés, les canaux de la zone d'échange thermique (Z_E) sont des canaux droits, le pré-collecteur selon l'invention est indépendant de cette géométrie et on peut donc envisager d'autres géométries pour les canaux d'échange (Z_E), par exemple des canaux de forme incurvée, en zig-zag, en double zig-zag... Quelle que soit la géométrie retenue, au final, la profondeur des canaux d'échange détermine la hauteur des plots du pré-collecteur selon l'invention.
- [0139] Dans l'exemple illustré, les collecteurs 11, 12 respectivement d'entrée et de sortie, sont de forme tubulaire et agencés selon l'axe longitudinal du module. On peut aussi envisager d'autres agencements de tubes collecteurs.
- [0140] Également, si dans l'exemple illustré, on ne prévoit pas de collecteurs d'entrée en tant que tels pour le fluide secondaire, ceux-ci étant réalisés par les ouvertures d'entrée 200 du pré-collecteur d'entrée Z_H , on peut prévoir d'en rajouter, à l'instar des collecteurs de sortie 22.
- [0141] De manière générale, les collecteurs des deux circuits sont susceptibles d'être dimensionnés sous pression (différence de pression entre deux circuits) ou pas.

Revendications

[Revendication 1] Module (M) d'échangeur de chaleur à au moins deux circuits de fluides, d'axe longitudinal (X) comprenant un empilement de plaques (1) définissant au moins deux circuits de fluide, au moins une partie des plaques comprenant chacune des canaux de circulation de fluide, dans lequel :

- les canaux de l'un des deux circuits, dit premier circuit, présentent:
 - au moins une zone d'alimentation et de distribution (Z_H) du premier fluide, dit premier fluide, depuis l'extérieur de l'empilement, formant un pré-collecteur du premier fluide, dans laquelle les canaux (13) sont délimités, pour chaque plaque, par des plots pleins (14) répartis sur la surface de plaque et débouchent à l'une des extrémités longitudinales de la plaque,
 - une zone d'échange (Z_E) continue avec le pré-collecteur dans laquelle les canaux sont délimités, pour chaque plaque, chacun par une rainure (15) séparés entre eux par une nervure (16) et s'étendent le long de l'axe longitudinal (X) ;
- les canaux de l'autre des deux circuits dit deuxième circuit présentent:
 - au moins une zone d'alimentation et de distribution (ZH) du fluide, dit deuxième fluide, depuis l'extérieur de l'empilement, formant un pré-collecteur du deuxième fluide, dans laquelle l'unique canal est délimité, pour chaque plaque, par la surface centrale plane de plaque, un bord latéral en surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque et les deux bords longitudinaux discontinus en même surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque (X) que le bord latéral,
 - une zone d'échange (ZE) continue avec le pré-collecteur dans laquelle l'unique canal est délimité, pour chaque plaque, par la surface centrale plane de plaque et les deux bords longi-

tudinaux discontinus en même surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque (X) que le bord latéral, la distance entre le bord latéral et l'un des bord longitudinaux discontinus en surépaisseur définissant une ouverture d'entrée ou de sortie du deuxième fluide dans l'empilement.

- [Revendication 2] Module d'échangeur de chaleur selon la revendication 1, comprenant deux pré-collecteurs du premier circuit, agencés chacun à l'une des extrémités longitudinales de l'empilement, l'un des deux pré-collecteurs formant un pré-collecteur d'entrée du premier fluide, l'autre formant un pré-collecteur de sortie du premier fluide.
- [Revendication 3] Module d'échangeur de chaleur selon la revendication 1 ou 2, comprenant deux pré-collecteurs du deuxième circuit, agencés chacun à l'une des extrémités longitudinales de l'empilement, l'un des deux pré-collecteurs formant un pré-collecteur d'entrée de fluide, l'autre formant un pré-collecteur de sortie du fluide.
- [Revendication 4] Module d'échangeur selon l'une des revendications précédentes, comprenant au moins à l'une des extrémités longitudinales de l'empilement, un collecteur de fluide (11, 12) débouchant sur une embase latérale de l'empilement sur laquelle les canaux du pré-collecteur du premier circuit débouchent mais pas ceux du pré-collecteur du deuxième circuit.
- [Revendication 5] Module d'échangeur selon la revendication 4, comprenant à l'une des extrémités longitudinales, un collecteur de fluide formant le collecteur d'entrée (11) du premier circuit et à l'autre des extrémités longitudinales, un collecteur de fluide formant le collecteur de sortie (12) du premier circuit.
- [Revendication 6] Module d'échangeur selon l'une des revendications précédentes, comprenant au moins sur un côté latéral de l'empilement, un collecteur de fluide (22) traversant l'empilement transversalement à l'axe (X) et débouchant sur les canaux du pré-collecteur du deuxième circuit mais pas sur ceux du premier circuit.
- [Revendication 7] Module d'échangeur selon la revendication 6, comprenant sur chaque côté latéral de l'empilement, un collecteur de fluide formant le collecteur de sortie (22) du deuxième circuit.
- [Revendication 8] Module d'échangeur selon l'une des revendications précédentes, les plots étant uniformément répartis en quinconce sur la surface de plaque

- du pré-collecteur selon un motif triangulaire.
- [Revendication 9] Module d'échangeur selon l'une des revendications 1 à 7, les plots étant uniformément répartis sur la surface de plaque du pré-collecteur selon un motif rectangulaire ou carré.
- [Revendication 10] Module d'échangeur selon l'une des revendications précédentes, les plots étant de forme générale cylindrique.
- [Revendication 11] Module d'échangeur selon l'une des revendications précédentes les canaux (15) de la zone d'échange du premier circuit et du deuxième circuit étant droits, parallèles entre eux et qui s'étendent parallèlement à l'axe longitudinal (X).
- [Revendication 12] Procédé de fabrication d'un module d'échangeur de chaleur selon l'une des revendications précédentes, comprenant les étapes suivantes :
- a1/ réalisation d'une pluralité d'au moins deux plaques métalliques comprenant chacune :
- sur l'une des deux faces principales :
 - au moins une zone d'alimentation et de distribution du premier fluide, dit premier fluide, formant un pré-collecteur du premier fluide, dans laquelle les canaux sont délimités par des plots pleins répartis sur la surface de plaque et débouchent à l'une des extrémités longitudinales de plaque,
 - une zone d'échange continue avec le pré-collecteur dans laquelle les canaux sont délimités chacun par une rainure séparés entre eux par une nervure;
 - sur l'autre des deux faces principales:
 - au moins une zone d'alimentation et de distribution du deuxième fluide dit deuxième fluide, formant un pré-collecteur du deuxième fluide, dans laquelle l'unique canal est délimité, par la surface centrale plane de plaque, un bord latéral en sur-épaisseur par rapport à la surface plane de plaque et les deux bords longitudinaux discontinus en même surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque que le bord latéral,
 - une zone d'échange continue avec le pré-collecteur dans

laquelle l'unique canal est délimité par la surface centrale plane de plaque et les deux bords longitudinaux discontinus en même surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque que le bord latéral, la distance entre le bord latéral et l'un des bords longitudinaux discontinus en surépaisseur définissant une ouverture d'entrée ou de sortie du deuxième fluide ;

b1/ mise en miroir avec alignement et contact par leurs faces principales de deux plaques comprenant les plots et nervures ;

c1/ assemblage par compression isostatique à chaud (CIC) des deux plaques, de sorte à obtenir une nappe métallique ;

d1/ empilement de la pluralité de nappes assemblées par CIC selon l'étape c/ avec mises en place d'une plaque d'extrémité à chaque extrémité longitudinale de l'empilement ;

e1/ soudage, de préférence par laser, de la pluralité de nappes et plaques d'extrémité empilées de sorte à obtenir le module.

[Revendication 13]

Procédé de fabrication d'un module d'échangeur de chaleur selon l'une des revendications 1 à 11, comprenant les étapes suivantes :

a2/ réalisation d'une pluralité d'au moins deux plaques métalliques comprenant chacune :

– sur l'une des deux faces principales :

- au moins une zone d'alimentation et de distribution du premier fluide, dit premier fluide, formant un pré-collecteur du premier fluide, dans laquelle les canaux sont délimités par des plots pleins répartis sur la surface de plaque et débouchent à l'une des extrémités longitudinales de plaque,
- une zone d'échange continue avec le pré-collecteur dans laquelle les canaux sont délimités chacun par une rainure séparés entre eux par une nervure;

– sur l'autre des deux faces principale :

- au moins une zone d'alimentation et de distribution du deuxième fluide dit deuxième fluide, formant un pré-collecteur

du deuxième fluide, dans laquelle l'unique canal est délimité par la surface centrale plane de plaque,

- une zone d'échange continue avec le pré-collecteur dans laquelle l'unique canal est délimité par la surface centrale plane de plaque et les deux bords longitudinaux discontinus en même surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque que le bord latéral, la distance entre le bord latéral et l'un des bords longitudinaux discontinus en surépaisseur définissant une ouverture d'entrée ou de sortie du deuxième fluide ;

b2/ mise en miroir avec alignement et contact par leurs faces principales de deux plaques comprenant les plots et nervures ;

c2/ assemblage par compression isostatique à chaud (CIC) des deux plaques, de sorte à obtenir une nappe métallique ;

d2/ empilement alterné de la pluralité de nappes assemblées par CIC selon l'étape c/ avec à chaque extrémité latérale, les dents d'un peigne métallique définissant un bord latéral en surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque et avec chaque extrémité longitudinale, les dents d'un peigne métallique définissant les deux bords longitudinaux discontinus en même surépaisseur par rapport à la surface plane de plaque que le bord latéral;

e/ assemblage par compression uni-axiale à chaud (CUC), de la pluralité de nappes, peignes et plaques d'extrémité empilées de sorte à obtenir le module.

[Revendication 14] Utilisation d'au moins un module d'échangeur de chaleur selon l'une des revendications 1 à 11, le fluide du premier circuit, en tant que fluide primaire étant de l'eau liquide et le fluide du deuxième circuit, en tant que fluide secondaire, étant également de l'eau liquide.

[Revendication 15] Utilisation selon la revendication 14, le fluide du premier ou du deuxième circuit provenant d'un réacteur nucléaire.

[Revendication 16] Installation nucléaire comprenant un réacteur nucléaire à eau pressurisée, de type SMR, comprenant une pluralité de modules d'échangeur selon l'une des revendications 1 à 11, immergés dans l'eau liquide en tant que fluide du circuit secondaire.

[Fig. 1]

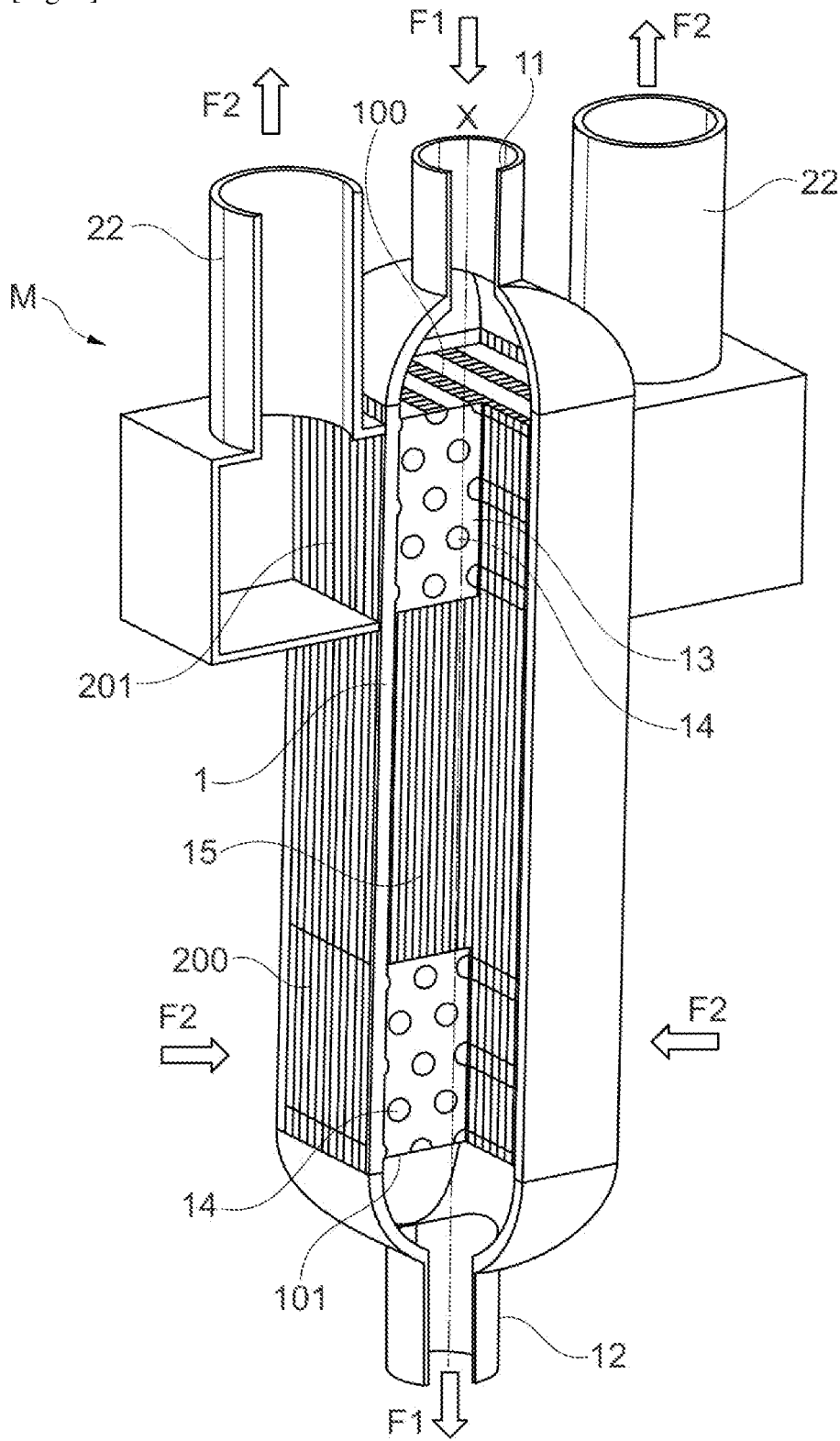


Fig. 1

[Fig. 2]

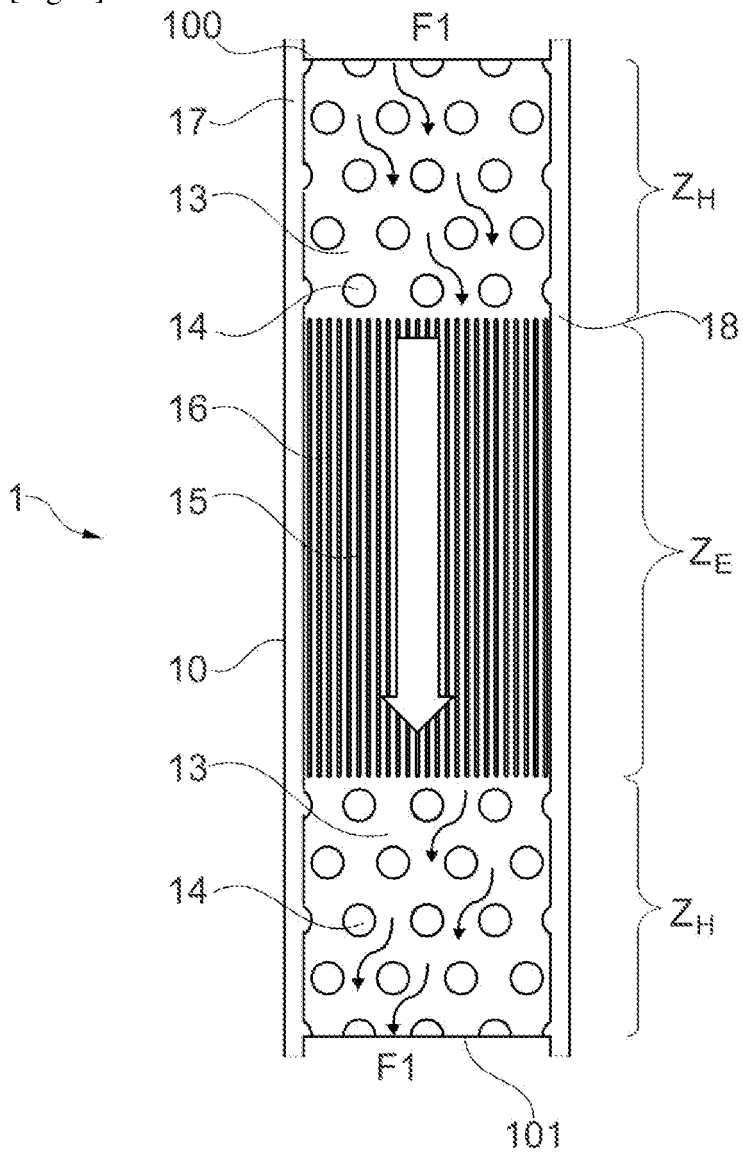


Fig. 2

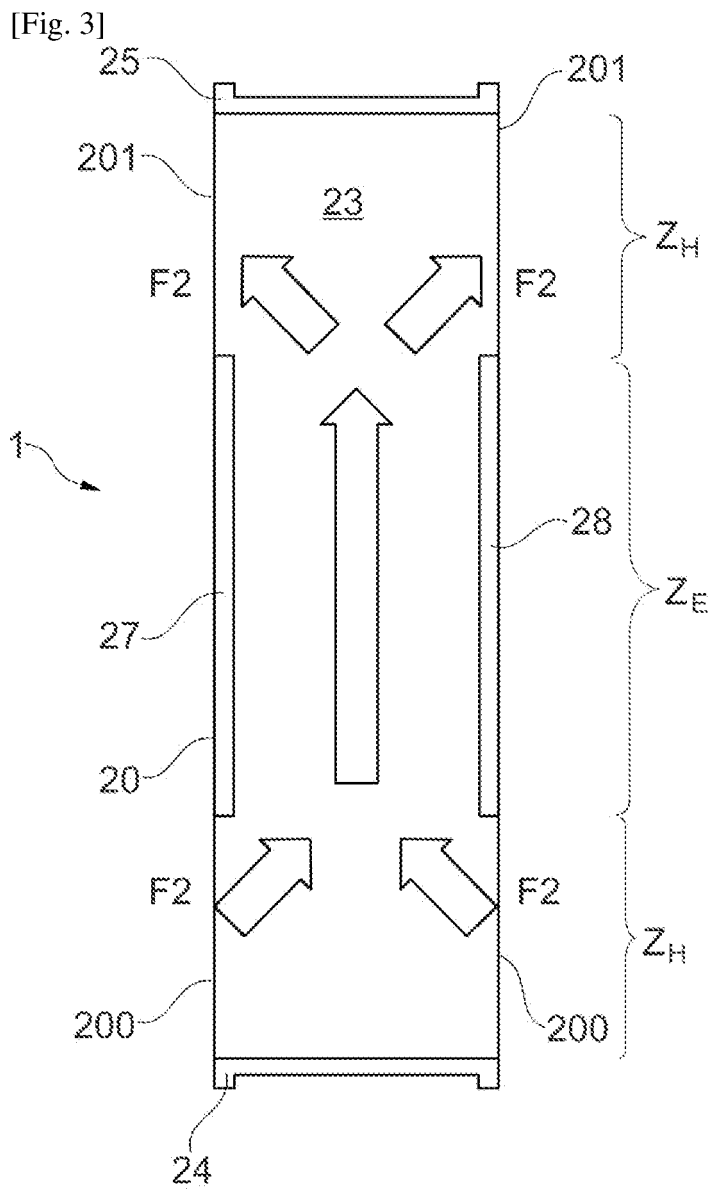


Fig. 3

[Fig. 4A]

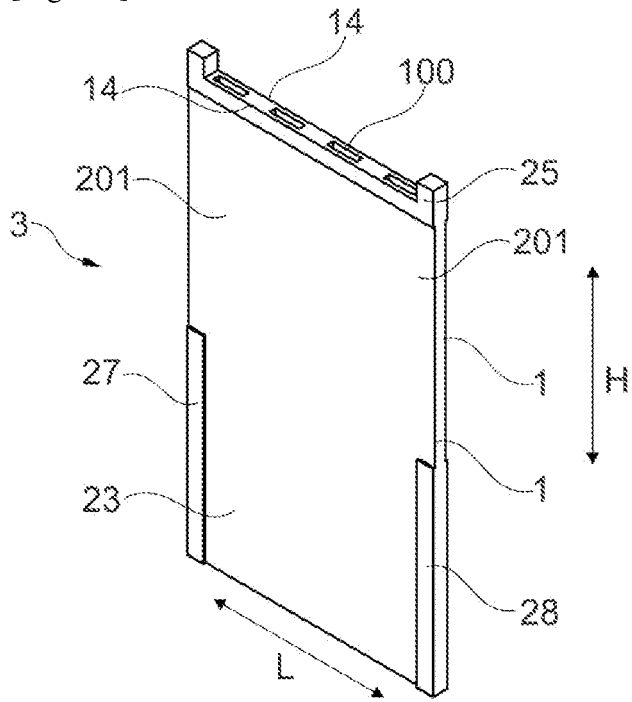


Fig. 4A

[Fig. 4B]

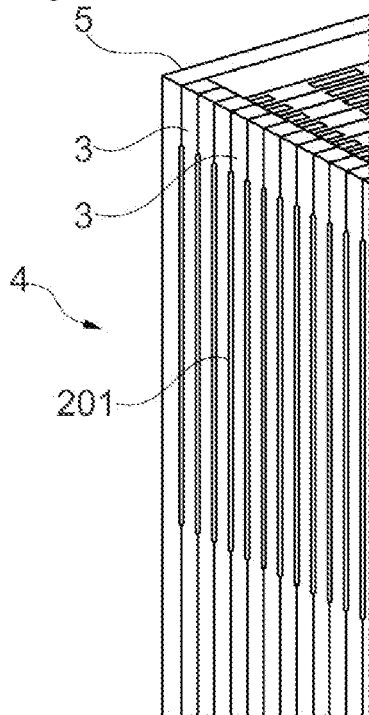


Fig. 4B

[Fig. 6]

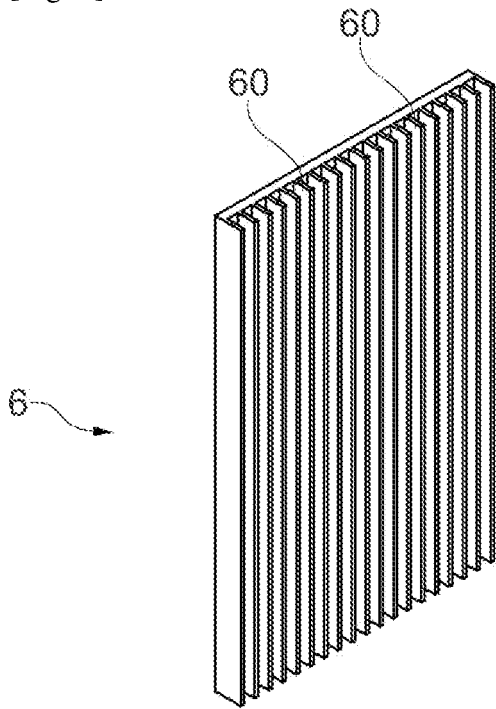


Fig. 6

[Fig. 7]

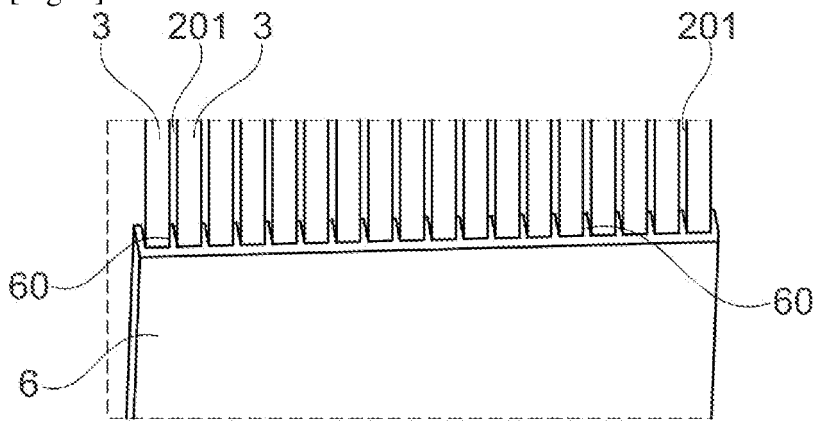


Fig. 7

[Fig. 8]

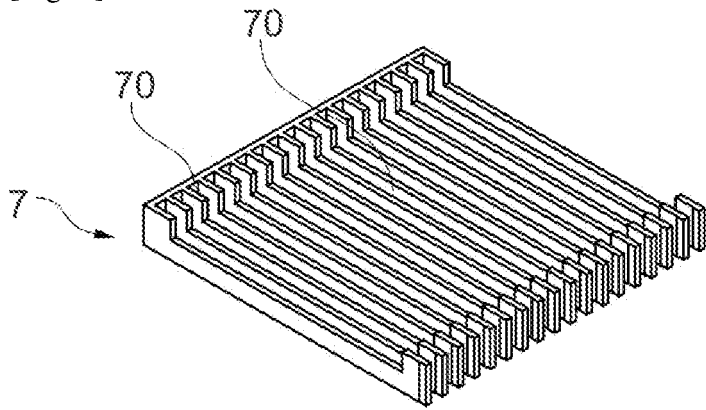


Fig. 8

[Fig. 9]

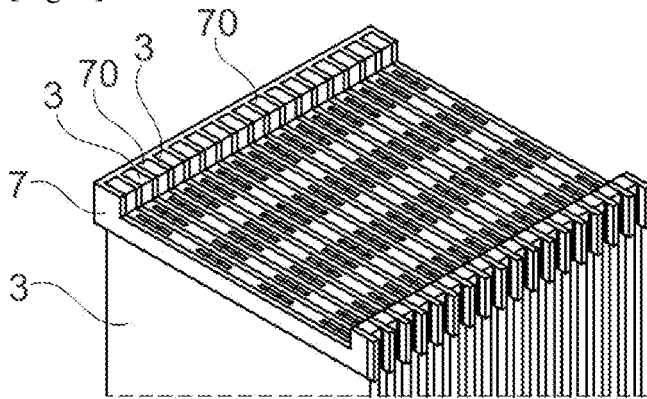


Fig. 9

[Fig. 10]

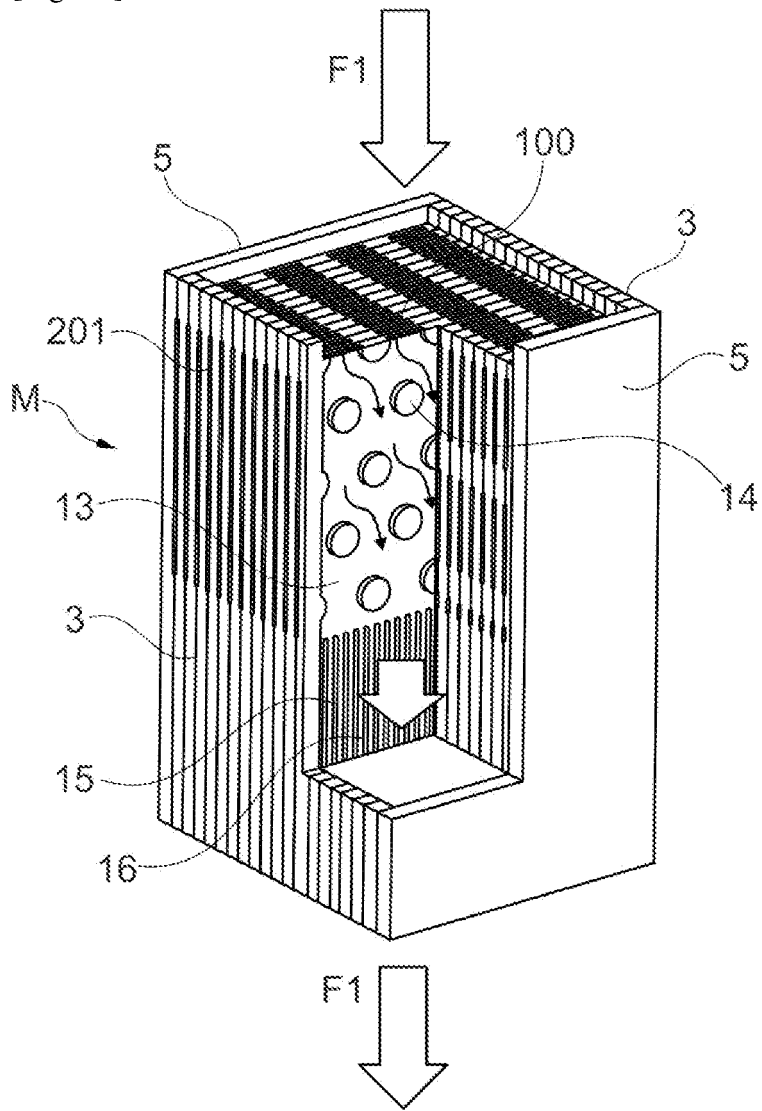


Fig. 10

[Fig. 11]

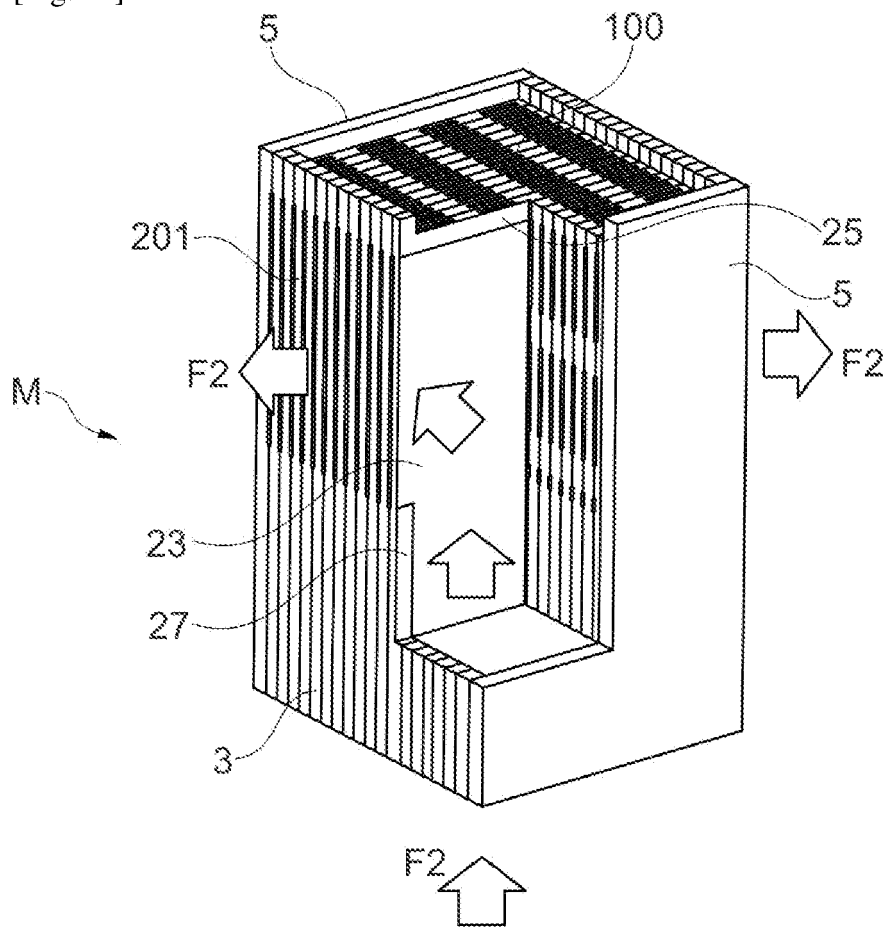


Fig. 11

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

EP 4 086 556 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE
ATOMIQUE [FR])
9 novembre 2022 (2022-11-09)

KR 2018 0015503 A (KOREA ATOMIC ENERGY RES
[KR]) 13 février 2018 (2018-02-13)

EP 3 779 345 A1 (SUMITOMO PRECISION PROD
CO [JP]) 17 février 2021 (2021-02-17)

US 2019/226771 A1 (GRANRYD ERIK GUSTAV
ULRIK [SE] ET AL)
25 juillet 2019 (2019-07-25)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT