



(11) **EP 3 553 445 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**16.10.2019 Bulletin 2019/42**

(51) Int Cl.:  
**F28D 15/02 (2006.01) F28D 15/04 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **19168586.6**

(22) Date de dépôt: **11.04.2019**

(84) Etats contractants désignés:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Etats d'extension désignés:  
**BA ME**  
Etats de validation désignés:  
**KH MA MD TN**

(72) Inventeurs:  
• **GRUSS, Jean-Antoine**  
**38170 SEYSSINET (FR)**  
• **CHAMPEL, Bénédicte**  
**38054 GRENOBLE CEDEX 09 (FR)**  
• **MARIOTTO, Mathieu**  
**38054 GRENOBLE CEDEX 09 (FR)**

(30) Priorité: **11.04.2018 FR 1853170**

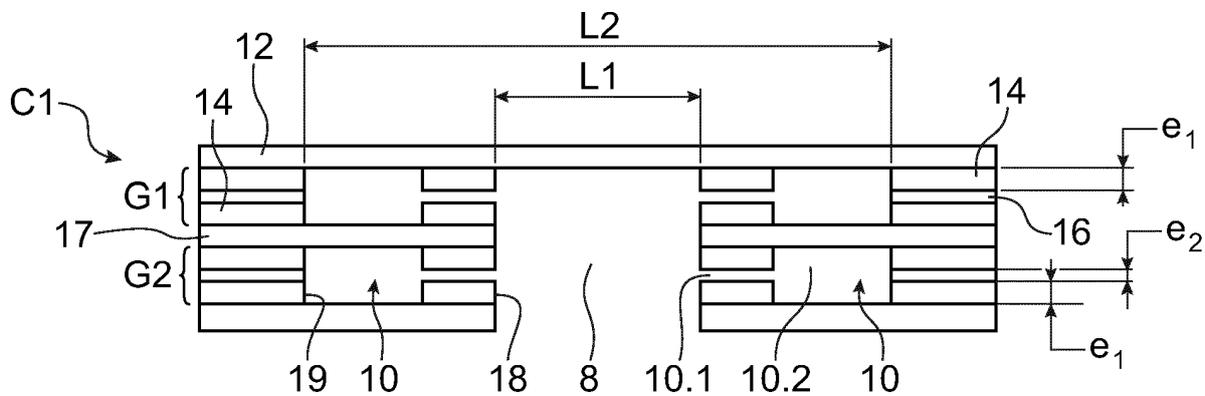
(74) Mandataire: **Brevalex**  
**95, rue d'Amsterdam**  
**75378 Paris Cedex 8 (FR)**

(71) Demandeur: **Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives**  
**75015 Paris (FR)**

(54) **CALODUC A POMPAGE CAPILLAIRE A RAINURES REENTRANTES OFFRANT UN FONCTIONNEMENT AMELIORE**

(57) Caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantantes (10) comportant un empilement de deux plaques de fermeture (12) et de plaques intercalaires (14, 16, 17), entre les plaques de fermeture (12), lesdites plaques intercalaires comportant au moins deux premières plaques intercalaires (14) comportant une fenêtre centrale (18) et, de chaque côté de la fenêtre centrale (18), une fenêtre latérale (19), lesdites plaques intercalaires comportant

également une deuxième plaque intercalaire (16) interposée entre les deux premières plaques intercalaires (14) dont l'épaisseur délimite la dimension dans la direction de l'empilement des zones d'échange (10.1), et une troisième plaque intercalaire (17) en contact avec une des premières plaques intercalaires (14) et obturant les fenêtres latérales (19) dans la direction de l'empilement.



**FIG.2**

**EP 3 553 445 A1**

## Description

### DOMAINE TECHNIQUE ET ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

[0001] La présente invention se rapporte à un caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes à fonctionnement amélioré.

[0002] L'invention appartient au domaine des dispositifs d'échange thermique, en particulier des caloducs, plus particulièrement des caloducs à pompage capillaire.

[0003] Un caloduc comporte une enceinte hermétiquement close, un fluide de travail et un réseau capillaire. Lors de la fabrication, tout l'air présent dans le tube caloduc est évacué et on introduit une quantité de liquide permettant de saturer le réseau capillaire. Il y a alors établissement d'un équilibre entre la phase liquide et la phase vapeur.

[0004] Sous l'effet d'une source chaude appliquée à l'une des extrémités, désignée évaporateur, le liquide se vaporise en induisant une légère surpression qui provoque le mouvement de la vapeur vers la seconde extrémité, désignée condenseur. Au condenseur, la vapeur se condense et repasse en phase liquide. Le fluide condensé circule dans le réseau capillaire et revient vers l'évaporateur sous l'effet de forces capillaires. Le retour du fluide liquide de la zone condenseur à la zone évaporateur est obtenu par pompage capillaire.

[0005] Les caloducs à rainures fonctionnent sur le principe du pompage capillaire. Ils comportent un tube, dans lequel la surface intérieure comporte des rainures longitudinales ou légèrement en forme de spirale. Les caloducs à rainures comportent un coeur vapeur et un réseau capillaire dans lequel circule le liquide. Du fait d'une variation de courbure de l'interface vapeur-liquide entre la zone condenseur et la zone évaporateur, un gradient de pression apparaît dans le liquide, qui mène à une variation de pression capillaire. Plus la largeur des rainures est petite, plus l'effet de pompage capillaire est important.

[0006] Par ailleurs, des rainures profondes permettent d'obtenir une section de passage pour le retour liquide grande, et donc de minimiser la perte de pression.

[0007] La puissance maximale que peuvent transporter des caloducs à rainures est généralement fixée par la limite capillaire dont le terme moteur est la pression capillaire, et le terme limitant essentiellement la perte de pression liquide dans les rainures.

[0008] Les caloducs à rainures réentrantes sont des exemples particuliers de caloducs à rainures, dans lesquelles les rainures présentent une fenêtre étroite par rapport au reste de la rainure, ce qui permet d'augmenter l'effet de pompage capillaire tout en limitant les pertes de charge. Ces caloducs sont utilisés principalement dans le domaine spatial, par exemple pour la régulation thermique dans les satellites et/ou les engins spatiaux.

[0009] Les techniques de réalisation connues des caloducs à rainures, et notamment des caloducs à rainures réentrantes, ne permettent pas d'obtenir des rainures

ayant une profondeur sensiblement plus grande que leur largeur.

[0010] Ces caloducs sont réalisés essentiellement par extrusion. Avec une telle technique, le rapport profondeur sur largeur de rainures rectangulaires est de l'ordre de 1.

[0011] Dans le cas des rainures réentrantes, les contraintes de fabrication sont encore plus draconiennes, limitant la largeur, la longueur du rétrécissement et la section de la partie réentrante.

[0012] Une autre technique utilise l'usinage mécanique, avec cette technique également le rapport profondeur sur largeur n'est pas sensiblement supérieur à 1. En outre cette technique a un prix de revient relativement élevé et n'est pas adaptée à la fabrication en moyenne et grande série.

[0013] Une autre technique utilise la gravure chimique. Mais elle ne permet pas non plus d'avoir un rapport profondeur sur largeur important.

[0014] Le document US 7 051793 décrit un caloduc comportant une ou plusieurs zones de circulation du fluide sous forme vapeur et de part et d'autre de ces zones des zones poreuses de circulation du liquide, ces zones capillaires s'étendant sur tout le caloduc.

[0015] Le caloduc est réalisé par empilement de plaques. Les zones capillaires sont obtenues en empilant des plaques comportant des fenêtres, les fenêtres ayant des directions orthogonales d'une plaque à l'autre.

[0016] L'effet de pompage n'est pas optimal. En outre, une importante perte de charge existe. Ce caloduc étale le flux thermique sur la largeur du caloduc et n'est pas optimisé pour le transport du flux de chaleur sur sa longueur.

### EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0017] C'est par conséquent un but de la présente invention d'offrir un caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes à fonctionnement amélioré et de réalisation simplifiée.

[0018] C'est un but additionnel de la présente invention d'offrir un caloduc dont la structure est compatible avec une production moyenne et grande série.

[0019] Le but énoncé ci-dessus est atteint par un caloduc à rainures réentrantes comportant un empilement de plaques solidarisées entre elles de manière hermétique. Les plaques d'extrémité forment des plaques de fermeture et les plaques intercalaires sont structurées de sorte que l'empilement de plaques intercalaires délimite des rainures réentrantes s'étendant sur toute la longueur du canal du caloduc.

[0020] Pour cela, dans un exemple de réalisation, le caloduc comporte au moins trois plaques intercalaires, deux premières plaques présentant chacune une fenêtre centrale délimitant le canal vapeur et deux fenêtres latérales, de part et d'autre de la fenêtre centrale, et délimitant les rainures, et une deuxième plaque disposée entre les deux premières plaques et formant entretoise. Ainsi les bords latéraux de deux fenêtres centrales délimitent

l'extrémité d'entrée de section réduite des rainures réentrantes. L'épaisseur de l'entretoise permet de définir la largeur de l'extrémité d'entrée. La profondeur des rainures est fixée par la dimension transversale des fenêtres latérales et la largeur des rainures est fixée par l'épaisseur des deux premières plaques et l'épaisseur de la deuxième plaque. Il est ainsi aisé de fixer les dimensions des rainures réentrantes et de réaliser de telles rainures. Il est alors possible de choisir, d'une part les dimensions de la zone d'échange pour optimiser l'effet de pompage, et d'autre part les dimensions des rainures pour limiter les pertes de charge.

**[0021]** Grâce à l'invention, on peut réaliser un caloduc à rainures réentrantes dont le fonctionnement est amélioré tout en offrant une fabrication simplifiée.

**[0022]** En d'autres termes, les rainures sont délimitées par des plaques empilées. Ainsi la profondeur et la largeur des rainures sont obtenues séparément, ne se posent alors pas les limitations sur le rapport profondeur sur largeur qui se posent par exemple dans le cas de la réalisation par extrusion ou gravure chimique.

**[0023]** De manière très avantageuse, le caloduc selon l'invention peut comporter des rainures de section variable entre la zone vaporisateur et la zone condenseur.

**[0024]** La présente invention a alors pour objet un caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes s'étendant au moins le long d'une première direction longitudinale, comprenant une première extrémité longitudinale destinée à être chauffée et une deuxième extrémité longitudinale destinée à être refroidie, une enceinte étanche s'étendant entre la première extrémité et la deuxième extrémité, l'enceinte comprenant un empilement de plaques le long d'une deuxième direction, ledit empilement comportant deux plaques de fermeture, au moins un module d'au moins deux plaques intercalaires entre les plaques de fermeture. Les plaques intercalaires comportent au moins une première plaque intercalaire comportant au moins une fenêtre centrale dont les bords délimitent en partie un canal vapeur s'étendant le long de la première direction, dans lequel la vapeur est destinée à circuler, et de chaque côté de la fenêtre centrale (selon une troisième direction orthogonale aux première et deuxième directions, une structuration dont les bords délimitent en partie un canal liquide, au moins une autre plaque intercalaire comportant au moins une fenêtre dont les bords délimitent en partie le canal vapeur. Le caloduc comportant également au moins deux zones d'échange délimitées entre la première plaque intercalaire et l'autre plaque intercalaire, reliant le canal vapeur et le canal liquide.

**[0025]** Dans un exemple de réalisation, l'autre plaque intercalaire est une première plaque intercalaire, les structururations sont des évidements réalisés dans au moins une des faces desdites premières plaques intercalaires, dans l'empilement, les évidements sont mis en regard, et les zones d'échange sont délimitées par deux bords de deux évidements des deux premières plaques intercalaires en regard.

**[0026]** Les premières plaques intercalaires peuvent comporter des évidements dans leurs deux faces.

**[0027]** Par exemple, une deuxième plaque intercalaire est interposée entre deux premières plaques intercalaires au niveau de bords extérieurs des premières plaques intercalaires, dont l'épaisseur délimite la dimension dans la direction de l'empilement des zones d'échange.

**[0028]** Les évidements peuvent avantageusement comporter un fond et au moins un bord reliant le fond à la zone d'échange, ledit bord étant incliné en éloignement du canal vapeur ou ledit bord se raccordant audit fond par un congé de raccordement.

**[0029]** Dans un autre exemple de réalisation, l'autre plaque est une troisième plaque intercalaire dont la fenêtre a la même section que la fenêtre centrale de la première plaque intercalaire, de sorte que deux de ses bords latéraux dans la troisième direction délimitent avec la première plaque intercalaire des zones d'échange.

**[0030]** Une deuxième plaque intercalaire peut être interposée entre la première plaque intercalaire et la troisième plaque intercalaire au niveau de bords extérieurs desdites première et troisième plaques intercalaires, dont l'épaisseur délimite la dimension dans la direction de l'empilement des zones d'échange.

**[0031]** Dans un autre exemple de réalisation, l'autre plaque intercalaire est une première plaque intercalaire, les structururations sont des fenêtres. Le caloduc comporte une deuxième plaque intercalaire interposée entre les deux premières plaques intercalaires au niveau de bords extérieurs des premières plaques intercalaires, dont l'épaisseur délimite la dimension dans la direction de l'empilement des zones d'échange, et le caloduc comporte une troisième plaque intercalaire dont la fenêtre a la même section que les fenêtres centrales des premières plaques intercalaires, en contact avec l'une des premières plaques intercalaires et obturant les fenêtres latérales de part et d'autre de la fenêtre centrale dans la deuxième direction.

**[0032]** Le caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes peut comporter n modules les uns sur les autres, n étant un entier > 1, définissant un canal vapeur unique et n canaux liquides de chaque côté du canal liquide et n zones d'échange, chacune connectant le canal vapeur avec un canal liquide.

**[0033]** Les structururations peuvent avantageusement présenter dans un plan orthogonal à la deuxième direction, une forme de trapèze.

**[0034]** Selon une caractéristique additionnelle, les fenêtres centrales des plaques intercalaires peuvent comporter un montant s'étendant dans la première direction de sorte que le canal vapeur comporte une paroi s'étendant sur toute la hauteur de l'empilement et dans la première direction.

**[0035]** Lorsqu'une troisième plaque intercalaire est mise en oeuvre, la fenêtre qu'elle comporte peut comprendre au moins un montant transversal s'étendant dans la troisième direction.

**[0036]** Selon une caractéristique additionnelle, le ca-

caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes peut comporter plusieurs canaux vapeurs, chacun relié à des canaux liquides par des zones d'échange.

**[0037]** Au moins l'une des plaques d'extrémité peut présenter une surface supérieure à celle des plaques intermédiaire dans une direction transversale à l'empilement de sorte à former des diffuseurs thermiques.

**[0038]** Dans un exemple avantageux, le caloduc comporte des moyens d'échange thermique au niveau de la première extrémité et/ou deuxième extrémité.

**[0039]** Les moyens d'échange thermique au niveau de la deuxième extrémité peuvent comporter une ou plusieurs ailettes en contact thermique avec au moins une des plaques de fermeture et/ou un circuit fluide en contact thermique avec au moins une des plaques de fermeture, ledit circuit étant formé par une plaque structurée de sorte à délimiter des canaux, lesdits canaux étant fermés par ladite plaque de fermeture et une plaque de fermeture supplémentaire, les moyens d'échange thermique comportant également des moyens pour alimenter en fluide caloporteur ledit circuit fluide.

**[0040]** La présente invention a également pour objet un système d'échange thermique comportant plusieurs caloducs selon l'invention, dans lequel les caloducs sont disposés dans plusieurs plans, les caloducs de deux plans successifs se croisant et dans lequel les caloducs de deux plans successifs partagent une même plaque d'extrémité.

**[0041]** Au moins un caloduc d'une couche est avantageusement connecté hydrauliquement à au moins un caloduc de la même couche.

**[0042]** Le système d'échange thermique peut avantageusement comporter un circuit d'échange thermique monophasique ou diphasique.

**[0043]** La présente invention a également pour objet un procédé de fabrication d'un caloduc à pompage capillaire comportant, à partir d'au moins deux plaques de dimensions extérieures données :

- Réalisation d'au moins une fenêtre centrale dans au moins deux plaques,
- Structuration de chaque côté de la fenêtre centrale dans au moins l'une desdites plaques, pour former des fenêtres latérales ou des évidements latéraux,
- Empilement desdites plaques de sorte que les fenêtres centrales délimitent un canal vapeur, que les fenêtres ou évidements latéraux forment des canaux liquides de part et d'autre du canal vapeur, et de sorte que des zones d'échange connectent le canal vapeur et les canaux liquides ;
- Mise en place aux extrémités de l'empilement dans la direction de l'empilement de plaques de fermeture.
- Solidarisation desdites plaques de sorte à délimiter une enceinte étanche,
- Remplissage partiel du canal avec un fluide sous forme liquide et fermeture étanche du canal.

**[0044]** Par exemple, les plaques comportent à coeur

un alliage d'aluminium et sur ses faces extérieures un alliage d'aluminium eutectique à point de fusion inférieur à celui de l'alliage d'aluminium à coeur et la solidarisation est obtenue par brasure eutectique.

## BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

**[0045]** La présente invention sera mieux comprise sur la base de la description qui va suivre et des dessins en annexe sur lesquels:

- la figure 1A est une vue de côté d'un exemple de de caloduc à rainures réentrantes selon l'invention,
- la figure 1B est une vue en coupe le long du plan de coupe A-A d'un exemple du caloduc de la figure 1A représenté en perspective,
- la figure 2 est une vue de face partielle de la coupe de la figure 1B,
- la figure 3 est une vue en éclaté partielle du caloduc de la figure 1,
- la figure 4A est une représentation schématique des ménisques dans le caloduc des figures 1A -3 au niveau de l'évaporateur,
- la figure 4B est une représentation schématique des ménisques dans le caloduc des figures 1A-3 au niveau du condenseur,
- la figure 4C est une vue partiellement arrachée du caloduc de la figure 1A schématisant la reculée du ménisque dans la zone d'échange,
- la figure 5 est une vue en coupe d'un exemple d'un caloduc multicanaux représenté en perspective,
- la figure 6 est une vue en coupe transversale d'une variante de réalisation d'un caloduc selon l'invention représentée en perspective,
- la figure 7A est une vue en coupe d'un autre exemple du caloduc représenté en perspective,
- la figure 7B est une vue en coupe de face d'une première plaque intercalaire mise en oeuvre dans le caloduc de la figure 7A,
- la figure 8A est une vue en coupe d'un autre exemple du caloduc représenté en perspective,
- la figure 8B est une vue de dessus de la première plaque intercalaire mise en oeuvre dans le caloduc de la figure 8A,
- la figure 8C est une vue en coupe de face de la première plaque intercalaire mise en oeuvre dans le caloduc de la figure 8A,
- la figure 9 est une vue en coupe d'un autre exemple du caloduc représenté en perspective,
- la figure 10 est une vue en coupe d'un autre exemple du caloduc représenté en perspective,
- les figures 11A et 11B sont des vues en coupe transversales de premières plaques intercalaires munies d'évidement selon d'autres exemples de réalisation,
- la figure 12 est une vue de dessus de la première plaque intercalaire définissant un canal liquide de section variable entre l'évaporateur et le condenseur,

- les figures 13 et 14 sont des vues en coupe transversale du caloduc de la figure 12 au niveau de la zone condenseur et au niveau de la zone évaporateur respectivement,
- la figure 15 est une vue de dessus d'une variante de la plaque de la figure 12
- la figure 16 est une vue en coupe d'un autre exemple du caloduc représenté en perspective muni de diffuseurs thermiques,
- la figure 17 est une vue en coupe d'un autre exemple du caloduc représenté en perspective,
- la figure 18 est une vue en coupe d'un autre exemple du caloduc représenté en perspective,
- la figure 19 est une vue en coupe d'un autre exemple du caloduc représenté en perspective,
- la figure 20 est une vue de dessus de la troisième plaque intercalaire mise en oeuvre dans le caloduc de la figure 19,
- les figures 21 et 22 sont des vues en perspectives d'autres exemples de premières plaques intercalaires au niveau de la fenêtre centrale,
- la figure 23 est une vue éclatée d'un caloduc multicanaux selon l'invention permettant un remplissage facilité,
- la figure 24 est une vue en perspective d'un autre exemple de réalisation d'un caloduc selon l'invention réparti dans plusieurs plans,
- les figures 25A à 25F sont des vues en perspective d'exemples d'ailettes applicables à un caloduc selon l'invention,
- la figure 26 est une vue éclatée d'un caloduc selon un exemple de réalisation comportant un échangeur thermique au niveau du condenseur,
- la figure 27 est une vue en coupe transversale d'un caloduc de l'état de la technique,
- la figure 28 est un graphique représentant les variations de limite capillaire  $L_c$  en Watt en fonction de la température en °C du caloduc dans le cas du caloduc de la figure 1(I) et du caloduc de la figure 27(II) utilisant l'ammoniac comme fluide de travail et à inclinaison nulle
- la figure 29 est une vue en perspective d'un système d'échange thermique mettant en oeuvre plusieurs caloducs selon l'invention,
- la figure 30 est une vue en coupe transversale du système de la figure 29,
- la figure 31 est une vue en perspective d'une variante du système de la figure 29,
- la figure 32 est une vue en perspective d'une variante du système de la figure 29 mettant en oeuvre un échangeur thermique,
- la figure 33 est une vue en coupe d'une variante du caloduc de la figure 16.

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

**[0046]** Sur les figures 1A à 3, on peut voir un exemple

de caloduc C1 à pompage capillaire à rainures réentrantes selon l'invention.

**[0047]** A des fins de simplicité, les « rainures réentrantes » seront désignées dans la suite de la description par « rainures ».

**[0048]** Sur la figure 1A, on peut voir un caloduc C1 à pompage capillaire vu de l'extérieur s'étendant selon un axe longitudinal X.

**[0049]** Dans la présente demande, la direction longitudinale est celle donnée par l'axe X.

**[0050]** Le caloduc C1 comporte une enceinte hermétique 2 s'étendant selon l'axe longitudinal X et comportant une première extrémité longitudinale 4 et une deuxième extrémité longitudinale 6. La première extrémité 4 est par exemple destinée à être disposée au niveau d'une source chaude SC. La première extrémité 4 est désignée évaporateur, et la deuxième extrémité 6 est par exemple destinée à être disposée au niveau d'une source froide SF. La deuxième extrémité est désignée condenseur.

**[0051]** La source chaude est par exemple un composant électrique ou électronique, un stockage de chaleur, un réacteur chimique exothermique. La source froide est par exemple une surface radiative, des ailettes en convection forcée, des plaques froides en écoulement mono ou diphasique, un stockage de froid, une réaction chimique endothermique...

**[0052]** Le caloduc a avantageusement une forme telle qu'il s'étend dans le plan XY, de sorte à présenter des faces 7.1, 7.2, parallèles au plan XY, ayant une grande surface favorisant les échanges de chaleur avec la source chaude et la source froide.

**[0053]** Le caloduc est en contact avec la source chaude et la source froide sur une ou ses deux faces 7.1, 7.2 de grande surface. Les faces 7.1, 7.2 de plus grande surface sont dans l'exemple représenté orthogonales à la direction Z.

**[0054]** Le caloduc C1 comporte un canal 8 s'étendant le long de l'axe longitudinal X et des rainures 10 s'étendant le long de l'axe longitudinal X de part et d'autre du canal 8. Le canal 8 sert à la circulation de la phase vapeur de la zone évaporateur à la zone condenseur, et sera désigné par « canal vapeur » et les rainures servent à la circulation de la phase liquide de la zone condenseur à la zone évaporateur.

**[0055]** Les rainures 10 comportent une zone d'échange 10.1 et un canal liquide 10.2 connecté au canal vapeur 8 par la zone d'échange 10.1. Le canal liquide est destiné à la circulation du liquide de la zone condenseur à la zone évaporateur. La zone d'échange a une section dans le plan XZ plus faible que celle du canal liquide 10.2.

**[0056]** Les rainures sont formées dans les parois latérales 8.1, 8.2 du canal 8. Les parois latérales sont considérées par rapport à la direction longitudinale X.

**[0057]** L'enceinte du caloduc comporte un empilement de plaques délimitant le canal vapeur 8 et les rainures 10.

**[0058]** L'empilement comporte deux plaques d'extrémité 12 situées aux extrémités de l'empilement dans une

direction Z orthogonale aux directions X et Y. Les plaques d'extrémité 12 sont destinées à fermer le canal 8 et sont également désignées «plaques de fermeture».

**[0059]** L'empilement comporte également des plaques intercalaires 14, 16, 17 disposées entre les plaques d'extrémité 12. Les plaques intercalaires comportent un jeu de premières plaques intercalaires 14, un jeu de deuxièmes plaques intercalaires 16, et un jeu de troisièmes plaques intercalaires 17, les plaques des différents jeux étant superposées de sorte à délimiter le canal 8 et les rainures 10.

**[0060]** Dans cet exemple, toutes les plaques 12, 14, 16, 17 présentent les mêmes dimensions extérieures, l'empilement est alors de forme parallélépipédique rectangle.

**[0061]** Selon un autre exemple, la surface des plaques peut varier. On peut envisager que la surface des plaques diminue dans la direction Z. On peut également envisager que la largeur des plaques intercalaires soit variable le long de la direction X, par exemple pour réaliser un condenseur de plus grande surface que l'évaporateur. Les fenêtres sont conformées de sorte à couvrir toute la surface, elles ne sont pas parallèles.

**[0062]** Comme on peut le voir sur la figure 2, l'empilement comporte des sous-groupes G1, G2...de plaques intercalaires comprenant dans cet ordre, une première plaque 14, une deuxième plaque 16 et une première plaque 14. Deux sous-groupes sont séparés par une troisième plaque 17. Aux extrémités de l'empilement, les troisièmes plaques 17 sont remplacées par les plaques de fermeture 12.

**[0063]** Un sous-groupe et deux troisièmes plaques délimitent deux rainures 10 avec leur zone d'échange et le canal liquide.

**[0064]** Sur la figure 3, on peut voir les plaques intercalaires.

**[0065]** Les premières plaques intercalaires comportent une fenêtre centrale 18 s'étendant le long de l'axe longitudinal X, et deux fenêtres latérales 19, situées de part et d'autre de la fenêtre centrale 18 et s'étendant le long de l'axe longitudinal X. La fenêtre centrale 18 est séparée de chaque fenêtre latérale 19 par un montant 21.

**[0066]** Les premières plaques intercalaires 14 ont une épaisseur e1.

**[0067]** La fenêtre 18 est désignée « fenêtre centrale » car elle se trouve entre les deux fenêtres latérales, mais il sera compris qu'elle n'est pas nécessairement située au centre de la première plaque. Dans cet exemple représenté, les fenêtres 18 et 19 ont une forme rectangulaire présentant la même dimension dans la direction X.

**[0068]** La fenêtre centrale 18 a une dimension L1 dans la direction Y et les fenêtres latérales 19 ont une dimension L1' dans la direction Y.

**[0069]** Chaque deuxième plaque intercalaire 16 a une épaisseur e2 et comporte une fenêtre 20 s'étendant dans la direction X et dans la direction Y. Dans cet exemple, la fenêtre 20 a une forme rectangulaire présentant une dimension I2 dans la direction X et une dimension L2

dans la direction Y.

**[0070]** Les dimensions des fenêtres 18 et 20 dans la direction X sont de préférence égales ou proches et correspondent à la longueur du canal 8.

**[0071]** De préférence, la dimension L2 est proche ou égale à la distance entre les deux bords latéraux extérieurs des fenêtres 19, de sorte qu'en disposant une deuxième plaque intercalaire 16 entre deux premières plaques intercalaires 14, et en superposant les fenêtres, les bords latéraux extérieurs des fenêtres 19 sont alignés avec les bords latéraux de la fenêtre 20. Cet alignement délimite un fond plan pour des rainures 10.

**[0072]** Les troisièmes plaques intercalaires 17 ferment les rainures dans la direction Z.

**[0073]** Deux montants 19 de deux premières plaques intercalaires 14 successives forment les bords transversaux de la zone d'échange 10.1 d'une rainure, et l'épaisseur e2 de la deuxième plaque intercalaire délimite la dimension de la zone d'échange dans la direction Z.

**[0074]** Les troisièmes plaques participent avantageusement à délimiter deux rainures 10 superposées dans la direction Z. En variante, chaque groupe comporte ses propres deux troisièmes plaques.

**[0075]** De manière avantageuse, chaque groupe G1, G2... définit deux rainures en regard. En variante, une seule rainure pourrait être définie, dans ce cas les premières plaques 14 ne comporteraient qu'une fenêtre latérale.

**[0076]** Le canal vapeur 8 a une dimension selon la direction Y égale à L1' et une dimension selon la direction Z égale à la somme des épaisseurs de toutes les premières, deuxièmes et troisièmes plaques intercalaires.

**[0077]** Les rainures 10 s'étendent dans la direction longitudinale et ont une longueur I1 = I2, ainsi que le canal 8. La zone d'échange 10.1 de chaque rainure a une dimension dans la direction Z égale à e2. Le canal liquide 10.2 a une dimension dans la direction Z égale à 2e1 + e2 et une dimension dans la direction Y égale à L1'.

**[0078]** Ainsi il est aisé de réaliser des rainures ayant à la fois une zone d'échange de faible largeur favorable à l'effet de pompage et un canal liquide de grande section limitant les pertes de charge.

**[0079]** En outre, l'invention présente l'avantage de pouvoir fixer séparément la largeur de la zone d'échange 10.1 et la section du canal liquide 10.2. La largeur est définie le long de la direction Z.

**[0080]** En effet il est possible d'utiliser des deuxièmes plaques intercalaires d'épaisseur e2 très faible pour avoir une largeur faible de la zone d'échange 10.2, et d'utiliser des premières plaques intercalaires 14 d'épaisseur e1 importante et de dimensions L1' importante pour réaliser un canal liquide de section importante.

**[0081]** En outre, il est possible d'atteindre un rapport largeur sur section du canal liquide petit, voire très petit. En effet, la section du canal liquide et la largeur de la zone d'échange étant fixées séparément lors d'étapes différentes, il n'y a pas de limitation due au procédé de fabrication contrairement à l'extrusion ou à la gravure.

**[0082]** A titre de comparaison, dans le cas d'un caloduc à profil extrudé en aluminium à rainures réentrantes de l'état de la technique, pour une taille de caloduc d'environ 13 mm de diamètre extérieur en extrusion, la largeur des rainures réentrantes n'est pas inférieure à 0,5 mm et la taille du canal liquide dans les caloducs cylindriques extrudés est typiquement de diamètre 1,5 mm, il offre alors une section de canal de 1,76 mm<sup>2</sup>. Le rapport largeur/section du canal liquide est d'environ 0,28.

**[0083]** Grâce à l'invention, la largeur de la zone d'échange peut atteindre environ 0,05 mm, et le canal liquide qui est par exemple de section rectangulaire peut avoir une dimension selon la direction Z de 1,2 mm et une dimension selon la direction Y de 2 mm, soit une section de 2,4 mm<sup>2</sup>.

**[0084]** Grâce à l'invention on obtient un rapport largeur/section du canal liquide  $0,05/2,4 = 0,021$ .

**[0085]** Grâce à l'invention, on peut obtenir un rapport largeur/section du canal liquide 10 fois plus faible qu'avec les caloducs à rainures réentrantes obtenus par extrusion.

**[0086]** La pression capillaire est la différence de pression entre la phase vapeur et la phase liquide au voisinage du ménisque.

**[0087]** Sur la figure 4A, on peut voir les ménisques M représentés au niveau de la zone d'échange 10.1 des rainures 10 au niveau de l'évaporateur, et sur la figure 4B au niveau du condenseur. Au niveau de la zone condenseur, l'angle de mouillage est proche de 90°, et à la zone évaporateur l'angle de mouillage est à sa valeur minimale. En fonction des matériaux utilisés, des traitements de surface et du fluide, cet angle minimal peut être égal à 0. La pression capillaire est inversement proportionnelle au rayon de courbure du ménisque. Ce rayon de courbure est très grand au condenseur, et est sensiblement plus faible à l'évaporateur. Sur la figure 4C, on peut voir la reculée du ménisque dans la zone d'échange entre l'évaporateur et le condenseur.

**[0088]** Le caloduc comporte plusieurs canaux liquides le long de la direction Z séparés par les troisièmes plaques intercalaires. Les troisièmes plaques intercalaires conduisent la chaleur de la plaque 12 aux ménisques de chaque canal liquide où se produit l'évaporation.

**[0089]** A titre d'exemple, les premières plaques ont une épaisseur comprise entre 0,05 mm et 6 mm, de préférence égale à 0,5 mm.

**[0090]** Les deuxièmes plaques qui fixent la largeur des zones d'échange ont une épaisseur comprise entre 0,05 mm et 1 mm, de préférence égale à 0,2 mm.

**[0091]** Les canaux liquides ont par exemple une dimension dans la direction Y qui peut varier entre 1 mm et 4 mm, et être de préférence égale à 2 mm.

**[0092]** Les canaux vapeurs ont une largeur comprise entre 2 mm et 8 mm, et de préférence égale à 4 mm.

**[0093]** Dans l'exemple d'un caloduc en alliage d'aluminium utilisant l'ammoniac comme fluide de travail. De préférence :

- les premières plaques ont une épaisseur égale à 0,5 mm,
- les deuxièmes ont une épaisseur comprise égale à 0,2 mm,
- 5 - les canaux liquides ont une dimension dans la direction Y qui est égale à 2 mm,
- le canal vapeur a une largeur égale à 4 mm.

**[0094]** Les dimensions extérieures des caloducs sont comprises entre quelques centimètres et quelques mètres. La taille maximale des caloducs est en général limitée par l'outillage disponible. En effet, l'assemblage des tôles par brasure sous vide requiert des fours sous vide de grande taille, de quelques mètres de longueur.

15 Pour la découpe et l'usinage des tôles, des machines de grande taille sont également requises. En outre, la tenue mécanique de tôles avec des découpes de faible largeur et de grande longueur est à prendre en compte.

**[0095]** Par exemple, les fenêtres sont réalisées par poinçonnage, découpage, par exemple au laser ou au jet d'eau.

**[0096]** Le caloduc est rempli d'un fluide diphasique, il peut s'agir d'un fluide bien connu de l'homme du métier. Celui-ci est choisi par exemple en fonction de la gamme de température de fonctionnement et de stockage du dispositif, en fonction des contraintes dues à la pression, l'inflammabilité, la toxicité du fluide et de la compatibilité chimique entre le fluide et le matériau formant le caloduc.

**[0097]** A titre d'exemple, pour un caloduc réalisé en alliage d'aluminium assemblé par brasure eutectique, on peut utiliser comme fluide l'ammoniac, l'acétone, le méthanol, le n-heptane, le R134a ou autres fluides frigorigènes fluorés.

**[0098]** En variante, on peut envisager de réaliser les deuxièmes plaques intercalaires 16 par assemblage de bandes de métal, ce qui permettrait de simplifier le problème de tenue mécanique de tôles fines et des largeurs de découpe faibles.

**[0099]** Sur la figure 5 on peut voir un exemple d'un caloduc C2 multicanaux selon l'invention.

**[0100]** Le caloduc C2 présente des canaux vapeurs 108.1 à 108.6 disposés parallèlement les uns par rapport aux autres dans la direction longitudinale X, chaque canal vapeur étant connecté à des rainures 110.1 à 110.6 disposées latéralement de part et d'autre de chaque canal vapeur 108.1 à 108.6.

**[0101]** Le caloduc C1 est un motif répété plusieurs fois dans le caloduc C2. Le motif est délimité par les traits en pointillés.

50 **[0102]** Le caloduc C2 est réalisé en superposant des plaques s'étendant d'un seul tenant dans la direction Y. Ainsi tous les canaux et toutes les rainures sont réalisés par empilement des mêmes plaques. La réalisation est alors simplifiée, car on réalise un caloduc de grande taille d'un seul tenant, sans que se pose le problème de disposition des canaux et de rainures les uns par rapport aux autres lors du montage

**[0103]** Dans cet exemple, les plaques intercalaires

sont structurées pour que les fonds de deux rainures débouchant dans deux canaux voisins soient formés par les mêmes éléments de plaques intercalaires. Ainsi le temps de réalisation des plaques est réduit et la densité de canaux et de rainures est optimisée. Dans l'exemple de la figure 5, les caloducs sont isolés fluidiquement les uns des autres. Dans un autre exemple, les caloducs communiquent fluidiquement les uns avec les autres. Les dimensions et le pas entre les caloducs sont choisis en fonction de l'application.

**[0104]** Sur la figure 6, on peut voir une variante de réalisation d'un caloduc C3 selon l'invention.

**[0105]** Ce caloduc C3 diffère du caloduc C1, en ce que chaque rainure 210 est délimitée entre deux troisièmes plaques 217 par une première plaque 214 et une deuxième plaque 216. La première plaque 214 présente une structure similaire à celle de la plaque 14.

**[0106]** La zone d'échange 210.1 est délimitée dans la direction Z, d'un côté par le montant 221 de la première plaque intercalaire 214 et de l'autre côté par la troisième plaque intercalaire 217. La largeur de la zone d'échange 210.1 est égale à l'épaisseur de la deuxième plaque intercalaire 216. La dimension du canal liquide 210.2 dans la direction Z est égale à la somme des épaisseurs de la première plaque intercalaire 214 et de la deuxième plaque intercalaire 216.

**[0107]** Le nombre de plaques utilisé pour fabriquer le caloduc C3 est réduit.

**[0108]** Sur les figures 7A à 10, on peut voir d'autres exemples de réalisation de caloducs selon l'invention dans lesquels certaines des plaques utilisées comportent une fenêtre et des évidements.

**[0109]** Sur la figure 7A, le caloduc C4 comporte entre deux plaques de fermeture 312, un empilement de groupes de plaques H1, H2... Chaque groupe comportant deux premières plaques intercalaires 314 et une deuxième plaque intercalaire 316 disposée entre les deux premières plaques intercalaires 314.

**[0110]** La deuxième plaque intercalaire 316 est de forme similaire à la deuxième plaque intercalaire 16.

**[0111]** Les premières plaques intercalaires 314 (figure 7B) comportent une fenêtre centrale 318 et deux évidements latéraux 319 réalisés dans une des faces des premières plaques 314.

**[0112]** Dans la direction Z, les premières plaques intercalaires 314 ont une épaisseur  $e_1$  et les évidements 319 présentent une profondeur  $p_1$  inférieure à l'épaisseur  $e_1$ .

**[0113]** Les évidements 319 sont bordés par un cadre 319'. La dimension selon la direction Y de la fenêtre 320 de la deuxième plaque intermédiaire 316 est égale à la distance entre le bord extérieur d'un évidement 319 et le bord extérieur de l'autre évidement 319.

**[0114]** Lors du montage, dans chaque groupe les premières plaques intercalaires 314 sont disposées de part et d'autre de la deuxième plaque intercalaire 316 en disposant les évidements 319 en regard. Ainsi les canaux liquides 310.2 des rainures 310 sont délimités par les

évidements 319.

**[0115]** La largeur dans la direction Z de la zone d'échange 310.1 est égale à l'épaisseur  $e_2$  de la deuxième plaque intermédiaire et la largeur du canal liquide 310.2 dans la direction Z est égale à  $2e_1 + e_2$ .

**[0116]** Cet exemple de caloduc offre une meilleure tenue mécanique des rainures, en effet les premières plaques présentent une plus grande robustesse. En outre, cet exemple de réalisation présente l'avantage de ne pas requérir la mise en oeuvre de troisièmes plaques intercalaires, et l'étanchéité est plus simple à réaliser du fait du nombre réduit d'interfaces interplaques.

**[0117]** Les fenêtres 318 des premières plaques intercalaires 314 sont par exemple réalisées par poinçonnage et les évidements 319 sont réalisés par usinage.

**[0118]** Sur la figure 8, on peut voir un autre exemple de réalisation d'un caloduc C5.

**[0119]** Comme pour le caloduc C4, les premières plaques intercalaires comportent une fenêtre centrale 418 et deux évidements latéraux 419 de part et d'autre de la fenêtre centrale.

**[0120]** Contrairement au caloduc C4, le caloduc C5 ne comporte pas de deuxième plaque intercalaire entre les deux premières plaques intercalaires 414. Ce sont les premières plaques intercalaires qui délimitent à la fois la zone d'échange 410.1 et le canal liquide 410.2.

**[0121]** Sur la figure 8B, on peut voir une vue de dessus d'une première plaque intercalaire 414, et sur la figure 8C on peut voir une vue en coupe le long de la direction Y de la première plaque intercalaire 414. Elle comporte la fenêtre centrale 418 et les évidements 419.

**[0122]** Les évidements 419 comportent trois bords extérieurs 419.1 contigus situés sur les bords extérieurs contigus de la plaque 414, et un bord intérieur 419.2 du côté de la fenêtre 418.

**[0123]** Les bords extérieurs 419.1 ont une épaisseur dans la direction Z égale à l'épaisseur  $e_1$  de la plaque 419, et le bord intérieur 419.2 a une épaisseur  $h_1$  inférieure à l'épaisseur  $e_1$ . Ainsi lorsque deux premières plaques intercalaires 414 sont mises en contact l'une avec l'autre avec leurs évidements 419 en regard, les bords intérieurs 419.2 des deux évidements en regard ne sont pas en contact et ménagent un espace formant la zone d'échange 410.1. La zone d'échange a alors une largeur dans la direction Z égale à  $2 \times (e_1 - h_1)$ .

**[0124]** Cet exemple de réalisation présente l'avantage d'offrir une tenue mécanique améliorée des rainures, de réduire encore le nombre de pièces différentes requis pour réaliser le caloduc et de simplifier encore la réalisation des étanchéités.

**[0125]** Sur la figure 9, on peut voir un autre exemple de réalisation d'un caloduc C6.

**[0126]** Dans cet exemple, les premières plaques intercalaires 514 comportent des évidements dans leurs deux faces et ainsi participent à délimiter chacune deux rainures 510 dans la direction Z. Une deuxième plaque intercalaire 516 est disposée entre deux premières plaques intercalaires et définit la largeur dans la direction Z de la

zone d'échange 510.1. Dans cet exemple les bords des évidements ont tous la même épaisseur.

**[0127]** En variante, le bord intérieur des évidements est aminci.

**[0128]** Sur la figure 10, on peut voir un autre exemple de caloduc C7 comportant deux plaques de fermetures 612 et des premières plaques intercalaires 614 comportant des évidements sur leurs deux faces, les évidements comportant un bord intérieur 619.2 aminci par rapport aux bords extérieur 619.1. La zone d'échange est délimitée par les bords intérieurs amincis 619.2.

**[0129]** Le nombre de plaques est réduit, ce qui simplifie le montage et réduit encore davantage le nombre d'interfaces, et donc le risque de fuite.

**[0130]** En variante, l'empilement comporte des premières plaques munies d'évidements et une troisième plaque qui délimite avec la première plaque, les zones d'échange.

**[0131]** Les premières plaques intercalaires des exemples de réalisation des figures 9 et 10 peuvent être réalisées par extrusion. Dans ce cas, les plaques ne sont pas issues de tôles cladées, et elles sont avantageusement soudées les unes aux autres au laser par transparence couche par couche.

**[0132]** Dans les exemples des figures 7A à 10, la coupe des évidements le long de l'axe Y a une forme rectangulaire.

**[0133]** Sur les figures 11A et 11B, on peut voir d'autres exemples de premières plaques intercalaires 714 et 814, vues en coupe, munies d'évidements 719, 819 de part et d'autre de la fenêtre centrale 718, 818.

**[0134]** Sur la figure 11A, la face intérieure 719.21 du bord intérieur 719.2 de l'évidement 719 est inclinée vers la face ouverte de l'évidement.

**[0135]** Sur la figure 11B, la face intérieure 819.21 et le fond 819.3 de l'évidement 819 se raccordent par un congé de raccordement.

**[0136]** Ces formes d'évidement assurent avantageusement une augmentation de la section progressive entre la zone d'échange et le canal liquide, ce qui présente l'avantage, dans le cas de reculée du ménisque au-delà de la zone d'échange, de rendre plus progressive la diminution de la pression capillaire.

**[0137]** Sur la figure 12, on peut voir une vue partielle d'un autre exemple de caloduc C8 présentant des canaux liquides à section variable.

**[0138]** Dans cet exemple, les fenêtres latérales 919 de la première plaque intercalaire 914 ont une forme de trapèze dans le plan XY, la grande base 919.1 étant située du côté de la zone condenseur et la plus petite base 919.2 étant située du côté évaporateur.

**[0139]** La section du canal liquide est plus petite à l'évaporateur, où le débit liquide est moindre, et la zone d'échange est plus large afin de pouvoir accepter une reculée de ménisque plus importante.

**[0140]** Sur la figure 13, on peut voir une vue en coupe selon le plan YZ de la rainure au niveau de la zone condenseur et sur la figure 14, une vue en coupe selon le

plan YZ au niveau de la zone évaporateur. La zone d'échange 910.1 présente une plus grande dimension dans la direction Y au niveau de la zone évaporateur qu'au niveau de la zone condenseur. Cette zone d'échange plus longue permet une reculée du ménisque du liquide plus importante dans la zone évaporateur, ce qui réduit le risque que le ménisque arrive dans le canal liquide, et donc réduit le risque d'une diminution brutale de la pression capillaire. Une telle diminution peut provoquer le désamorçage du caloduc. Les flèches symbolisent la circulation du fluide entre la zone condenseur et la zone évaporateur, dans le canal vapeur et dans les rainures réentrantes.

**[0141]** Dans cet exemple, l'allongement de la zone d'échange au niveau de la zone évaporateur a pour effet de réduire la section du canal liquide 910.2 au niveau de la zone évaporateur. Cependant le débit liquide étant moindre dans la zone évaporateur, la perte de charge liquide est peu augmentée, et la limite capillaire est peu réduite.

**[0142]** Sur la figure 15, on peut voir une variante de réalisation de la première plaque intercalaire 1014 dans laquelle les fenêtres latérales 1019 ont une forme trapézoïdale, la grande base étant située du côté de la zone condenseur et la plus petite base étant située du côté évaporateur; et la fenêtre centrale 1018 a également une forme trapézoïdale, la plus grande base étant du côté de la zone évaporateur et la plus petite base étant du côté de la zone condenseur. Cette variante permet d'optimiser les pertes de pression liquide et vapeur.

**[0143]** Sur la figure 16, on peut voir un autre exemple de caloduc C9 selon l'invention intégrant un diffuseur thermique en vue d'homogénéiser le flux.

**[0144]** Les plaques de fermeture 12' présentent une surface plus grande que celles de l'empilement dans le plan YX de sorte qu'elles dépassent de part et d'autre de l'empilement. Le flux de chaleur s'étale alors sur une zone plus large, ce qui assure une homogénéisation du flux.

**[0145]** Le caloduc peut comporter des plaques de fermeture de surface plus grande uniquement dans la zone ou les zones utiles, i.e. dans la zone de condenseur et/ou dans la zone évaporateur. La surface des plaques est avantageusement réduite dans la zone non utile, par exemple découpée avant ou après assemblage, ce qui permet de réduire la masse du caloduc.

**[0146]** La mise en oeuvre de telles plaques de fermeture s'applique également aux caloducs multicanaux.

**[0147]** Sur la figure 17, on peut voir un exemple de caloduc C10 adapté à un fonctionnement à haute pression, en renforçant la structure interne du caloduc.

**[0148]** Dans cet exemple, le caloduc C10 comporte deux canaux vapeur entourés chacun de deux canaux réentrants, au lieu d'un canal vapeur si on considère la direction Y que le caloduc C1.

**[0149]** Cette disposition permet d'obtenir tenue à la pression améliorée par rapport au caloduc C1. D'autre part, si chaque caloduc à canaux réentrants est rempli

individuellement, la défaillance d'un caloduc permet de garder 50% de la capacité de transport de l'ensemble. L'épaisseur de la paroi entre deux canaux vapeurs peut être plus fine que les parois extérieures qui ont à tenir un écart de pression plus élevé. Le caloduc C10 présente une puissance limite plus faible que celle du caloduc C1, mais la résistance thermique, qui est liée à la surface des zones d'échange, est plus faible.

**[0150]** Sur la figure 18, le caloduc C11 comporte une cloison 24 dans le canal vapeur reliée mécaniquement aux deux plaques de fermeture et assurant un renfort du caloduc dans la direction Z.

**[0151]** La cloison 24 est formée par empilement des plaques. La cloison 24 peut être telle qu'elle assure une communication fluïdique entre les deux parties du canal vapeur, ce qui simplifie le remplissage. En variante, la cloison 24 sépare de manière le canal vapeur and deux demi-canaux vapeurs, ce qui permet en cas de défaillance de l'une des demi-caloducs que conserver 50% de capacité de transport.

**[0152]** Sur la figure 19, l'empilement comporte des brins de renfort 26 s'étendant dans la direction Y et qui traversent le canal. Dans cet exemple, les brins sont formés par la troisième plaque intercalaire 17 qui est visible sur la figure 20. Les brins 26 relient les deux montants 28 de la troisième plaque intercalaire et définissent une pluralité de fenêtres.

**[0153]** Le renforcement de la structure interne du caloduc peut également être obtenu en augmentant l'épaisseur des parois formées par l'empilement des plaques.

**[0154]** Dans les exemples décrits ci-dessus, les bords des ouvertures définissant les rainures sont droits et parallèles entre eux.

**[0155]** Sur la figure 21, on peut voir des premières plaques intercalaires 1114 comportant des fenêtres 1118 comprenant des bords latéraux 1118.1 ondulés.

**[0156]** Cette forme permet d'augmenter la longueur de la ligne triple (zone de raccordement entre liquide/vapeur et paroi), notamment dans la zone évaporateur, ce qui permet d'augmenter le coefficient d'échange en évaporation.

**[0157]** Au niveau du condenseur, la forme ondulée permet d'obtenir des parois non mouillées par le film de condensation aux sommets des ondulations. Cela permet également d'augmenter le coefficient d'échange en condensation en minimisant la résistance d'interface du film de condensation. En outre au niveau du condenseur, le ménisque affleure la zone vapeur, ce qui augmente la surface de condensation.

**[0158]** Les ondulations peuvent être prévues au niveau de la zone condenseur, et/ou au niveau de la zone évaporateur. Avantageusement les ondulations sont formées sut tout la longueur du caloduc, ce qui simplifie la réalisation et permet de s'adapter à différente longueur de zone de condensation ou de zone d'évaporation.

**[0159]** Dans cet exemple, le fond des rainures est plant.

**[0160]** Sur la figure 22, on peut voir une variante, dans

lequel les bords 1218.1 des fenêtres centrales 1218 sont en dent de scie. Les coefficients d'échange en condensation et en évaporation sont également augmentés.

**[0161]** Il sera compris que toute autre forme est envisageable. Au vu du mode de réalisation des ouvertures, une grande liberté dans la forme des bords existe.

**[0162]** Il peut même être envisagé de réaliser des bords droits dans une face latérale du canal et des bords ondulés dans l'autre face en regard.

**[0163]** Sur la figure 23, on peut voir un exemple de réalisation d'un caloduc multicanaux offrant un remplissage simplifié.

**[0164]** Le remplissage d'un caloduc monocanal peut se faire au moyen d'un queusot de remplissage inséré sur la tranche de l'empilement ou au moyen d'un queusot fixé sur un orifice ménagé dans l'une des plaques de fermeture, par exemple perpendiculairement à celles-ci.

**[0165]** Dans le cas d'un caloduc multicanaux, qui comporte en fait une pluralité de caloducs, on peut prévoir de remplir chaque caloduc séparément.

**[0166]** Selon une variante très avantageuse, on prévoit de mettre en communication tous les canaux de sorte à pouvoir remplir tous les canaux par un seul queusot. Dans l'exemple de la figure 23, un canal met en communication tous les canaux. Ce canal est par exemple formé par une lumière transversale 30 formée sur un bord de l'une des troisièmes plaques intercalaires 1317. Par ailleurs, les fenêtres latérales 1319 de la première plaque 1317 sont prolongées le long de l'axe X de sorte que, lors de l'empilement dans la direction Z, les extrémités longitudinales des fenêtres latérales 1319 sont au droit de la lumière 30.

**[0167]** Ainsi en réalisant une ouverture dans une des plaques de fermeture débouchant dans la lumière 30, il est possible de remplir tous les canaux. Ce sont les fenêtres latérales qui communiquent avec la lumière 30 car ce sont elles qui forment les zones de circulation du liquide.

**[0168]** Sur la figure 24, on peut voir un autre exemple de réalisation dans lequel le caloduc C12 n'a pas une forme droite, il comporte deux portions droites D1 et D2 orientées à angle droit l'une par rapport à l'autre. En outre, les portions D1 et D2 s'étendent dans des plans orthogonaux. La portion D1 s'étend dans le plan XY et la portion D2 s'étend dans le plan XZ. L'orientation des portions D1 et D2 l'une par rapport à l'autre est par exemple obtenue par pliage après empilage des plaques et leur solidarisation. P1 désigne la pliure.

**[0169]** Le caloduc C12 peut être conformé à l'application. Le caloduc peut comporter plusieurs pliures.

**[0170]** Dans cet exemple, la portion D1 forme l'évaporateur et la portion D2 forme le condenseur et, est muni sur ses surfaces extérieures, d'ailettes A1 formant un radiateur permettant d'évacuer la chaleur. Le radiateur fonctionne par exemple en convection naturelle ou en convection forcée. Dans cet exemple, les ailettes A1 sont prévues sur les deux faces de grande surface du condenseur. En variante, des ailettes pourraient être envi-

sagées sur une seule face.

**[0171]** Dans cet exemple, les ailettes comportent des plaques planes perpendiculaires aux faces du condenseur. Toute autre forme est envisageable.

**[0172]** Sur les figures 25A à 25F sont représentées des ailettes plissées selon d'autres exemples de réalisation applicables à la présente invention.

**[0173]** Selon d'autres exemples, les ailettes sont des ailettes extrudées, des ailettes skivées, des ailettes picots, des ailettes moulées, ailettes fixées par moletage, ailettes réalisées par impression 3D, ou tout autre ailette obtenue par une technique de réalisation d'extension de surface bien connue de l'homme du métier.

**[0174]** Un ou des radiateurs à ailettes tels que décrits ci-dessus peuvent être mis en oeuvre dans un caloduc monocanal ou multicanaux droit ou présentant toute autre forme.

**[0175]** En variante, un circuit de refroidissement est intégré directement dans le caloduc C13 comme cela est représenté sur la figure 26.

**[0176]** Le caloduc comporte un circuit de refroidissement 32 dans lequel est destiné à circuler un fluide caloporteur. Le circuit de refroidissement est directement en contact avec le condenseur. Dans l'exemple représenté, le circuit de refroidissement 32 est formé par une plaque supplémentaire 36, dans laquelle sont réalisées des rainures 38 définissant les parois latérales du circuit, et la plaque de fermeture 12 et une plaque de fermeture supplémentaire 40 forment les parois d'extrémité du circuit de refroidissement. La plaque de fermeture 12 comporte deux orifices 42 débouchant chacun à une extrémité du circuit et permettant la circulation du fluide caloporteur.

**[0177]** Le fluide caloporteur peut être un liquide ou un gaz.

**[0178]** Selon un autre exemple, il s'agit d'un circuit diphasique.

**[0179]** Un tel circuit peut être également utilisé pour former la source chaude au niveau de l'évaporateur.

**[0180]** Nous allons maintenant comparer les performances d'un caloduc selon l'invention tel que représenté sur la figure 16, et un caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes de l'état de la technique.

**[0181]** On considère un caloduc de l'état de la technique cylindrique obtenu par extrusion et comportant des rainures réentrantes 1310, tel que représenté sur la figure 27.

**[0182]** Chaque caloduc présente une longueur de l'évaporateur de 200 mm, une longueur de la zone adiabatique de 600 mm, une longueur du condenseur de 200 mm (longueur totale 1m).

**[0183]** Chaque caloduc est réalisé en alliage d'aluminium. La température de travail dans la zone adiabatique du caloduc est 60°C ; i.e. la température moyenne vapeur du caloduc. Le fluide de travail est l'ammoniac.

**[0184]** Le caloduc selon l'invention présente les caractéristiques suivantes :

Le caloduc présente une section de 13,2mm × 13,2 mm

et des ailes formées par les plaques de fermeture de 30 mm dans la direction Y.

**[0185]** Il a donc le même encombrement que le caloduc de l'état de la technique

5 Largeur des rainures liquides ré entrantes 1, 8 mm

Hauteur des rainures liquides réentrantes 1,2 mm

Largeur des rainures dans la zone d'échange 0,2 mm

Longueur des rainures dans la zone d'échange 1 mm

Nombre de rainures : 14.

10 Masse à vide : 367 g

**[0186]** La section du caloduc est représentée en Figure 16.

**[0187]** Le caloduc de l'état de la technique présente encombrement extérieur proche de celui du caloduc selon l'invention ci-dessus et présente une masse de 300 g.

15 **[0188]** Sur la figure 28, on peut voir l'évolution de la limite capillaire Lc en Watt en fonction de la température T en °C, pour un fonctionnement en apesanteur (inclinaison nulle). La courbe I correspond à l'invention et la courbe II au caloduc selon l'état de la technique.

**[0189]** On constate que le caloduc selon l'invention présente, à encombrement identique, une puissance limite de 4 à 6 fois supérieure à celle d'un caloduc de l'état de la technique, pour une masse légèrement supérieure.

25 **[0190]** Par ailleurs, on constate que pour obtenir les mêmes puissances qu'un caloduc de l'état de la technique, le caloduc suivant l'invention ne requiert que deux niveaux de rainures, i.e. quatre rainures.

**[0191]** Ce caloduc sera par exemple à largeur identique moins épais, il est représenté en figure 33.

30 **[0192]** Par exemple pour une puissance maximale de 220 W :

Le caloduc de la figure 33 présente une section de 13,2 mm × 4,9 mm et des ailes formées par les plaques de fermeture de 30 mm dans la direction Y, et une masse de 210 g.

35 **[0193]** Le caloduc cylindrique de l'état de la technique présente une section de 13,2 mm × 13,2 mm et des ailes formées par les plaques de fermeture de 30 mm, et une masse de 300 g.

**[0194]** Un gain sur la masse à vide de 30 % et un gain de 68% sur l'épaisseur du caloduc peuvent être obtenus grâce à l'invention par rapport aux caloducs cylindriques à rainures réentrantes de l'état de la technique. En outre,

45 les résistances thermiques du flux entre les sources chaude et/ou froide sont plus avantageuses dans les caloducs selon que dans les caloducs cylindriques à rainures réentrantes. En effet, les caloducs cylindriques à rainures réentrantes de l'état de la technique présente une réduction de section de transmission du flux par conduction plus marquée (constriction du flux thermique par conduction) qui est défavorable aux résistances thermiques. En outre, le chemin thermique est plus complexe et plus long avec les caloducs de l'état de la technique.

55 **[0195]** Nous allons maintenant décrire un système de refroidissement comportant une pluralité de caloducs pouvant se développer dans deux ou trois dimensions et être ainsi monté sur des dispositifs dont on souhaite

maîtriser le comportement thermique.

**[0196]** Sur la figure 29, on peut voir des caloducs selon l'invention, tels que celui de la figure 1, disposés sous la forme d'un treillis, les caloducs C1 et C1' se croisant à angle droit dans l'exemple représenté. En outre, dans cet exemple, les caloducs C1 sont pliés de sorte à se déployer dans deux plans perpendiculaires. Les caloducs C1 s'étendent le long de l'axe a1 et les caloducs s'étendent le long de l'axe a2.

**[0197]** Les caloducs peuvent être connectés fluidiquement ou non.

**[0198]** Dans le cas d'une connexion fluidique, les caloducs dans un même plan peuvent communiquer ensemble grâce à des lumières ménagées dans les plaques intercalaires, telles que représentées sur la figure 23.

**[0199]** L'exemple dans lequel les caloducs ne sont pas connectés fluidiquement entre eux présente l'avantage d'offrir une redondance dans le cas où l'un des caloducs serait défaillant.

**[0200]** Sur la figure 30, on peut voir une vue en coupe transversale au niveau d'un noeud d'un caloduc C1 et d'un caloduc C1', dans le cas de caloduc non connectés fluidiquement.

**[0201]** De manière très avantageuse, une plaque de fermeture d'un caloduc C1 forme également la plaque de fermeture d'un caloduc C1'.

**[0202]** Par exemple, pour cela on réalise un empilement de tôles avec :

- une première plaque de fermeture pour les caloducs C1 s'étendant le long de l'axe a1,
- un assemblage de tôles d'espacement et comportant des ouvertures ou des évidements pour former les caloducs C1 selon la présente invention,
- une deuxième plaque de fermeture pour les caloducs C1 et servant aussi de plaque de fermeture pour les caloducs C1' s'étendant suivant l'axe a2,
- un assemblage de tôles d'espacement et comportant des ouvertures ou des évidements pour former les caloducs C1' selon l'invention,
- une troisième plaque de fermeture pour les caloducs C1'.

**[0203]** L'outillage de maintien en pression pendant le brasage est de préférence plan et s'appuiera à l'extérieur des deux plaques de fermeture. Les tôles couvrent toute la surface avant brasage. On peut néanmoins ajouter les tôles avant assemblage afin d'alléger l'ensemble.

**[0204]** Ensuite, l'empilement est brasé à plat en four sous vide

**[0205]** Après brasage, on peut éliminer par usinage, détournage, découpe les zones non utiles afin d'obtenir la géométrie voulue et d'alléger au maximum la structure.

**[0206]** Dans l'exemple de la figure 29, les tôles des caloducs C1' au-dessus des caloducs C1 sont supprimées par usinage.

**[0207]** Dans l'exemple représenté, les espaces inter caloducs sont ajourés.

**[0208]** On peut par la suite réaliser les pliages

**[0209]** Il peut être avantageux de standardiser les treillis de caloducs avec un espacement donné.

**[0210]** Suivant les applications, ce treillis est évidé.

5 **[0211]** Sur la figure 31, on peut voir une variante du système de la figure 29 comportant des renforts mécaniques formés par un voile métallique 44. En variante, plusieurs voiles peuvent être mis en oeuvre, par exemple un de chaque côté du treillis de caloducs. Un voile métallique est une tôle métallique très fine, typiquement de 10 l'ordre de 0,2 mm qui est par exemple collée sur les caloducs.

**[0212]** Sur la figure 32, on peut voir une variante du système de la figure 29 comportant un circuit d'échange thermique 46 permettant d'évacuer la chaleur d'un circuit monophasique, ou le condenseur d'un circuit diphasique de refroidissement. La chaleur est ensuite évacuée par rayonnement grâce au réseau de caloducs C1 et C1'.

15 **[0213]** Grâce à l'invention, un système à caloducs croisés peut être réalisé d'un seul tenant, i.e. les interfaces entre les caloducs se croisant, sont formées par une plaque commune aux caloducs se croisant, et non par deux plaques en contact l'une avec l'autre. Ainsi les résistances thermiques d'interface au noeud du treillis sont sensiblement réduites. En outre, le treillis peut être autoportant, ce qui peut permettre de ne pas avoir à mettre en oeuvre une structure support supplémentaire.

20 **[0214]** Il sera compris que toute autre géométrie d'assemblage est envisageable, par exemple les caloducs peuvent former un treillis dans lequel les caloducs se croisent à un angle non droit. L'angle peut varier sur toute la surface du treillis. En outre, l'espacement entre les caloducs peut être variable. De plus, le treillis peut comporter des caloducs de tailles différentes.

25 **[0215]** Il sera compris que les différents exemples et variantes de réalisation ne sont pas exclusifs les uns des autres et peuvent être combinés tout ou en partie. Ainsi, l'exemple de réalisation de la figure 6 peut être combiné à celui de la figure 8, les zones d'échange étant délimitées entre une première plaque et une troisième plaque, les montants intérieurs des fenêtres latérales étant amincis.

30 **[0216]** Le caloduc selon l'invention peut être réalisé en différents matériaux tels que, par exemple un alliage d'aluminium, en cuivre, en acier inoxydable.

35 **[0217]** La technique d'assemblage des tôles dépend du matériau.

40 **[0218]** Par exemple, dans le cas de plaques en alliage d'aluminium, on peut utiliser la brasure sous vide avec tôles cladées, la brasure au bain de sel, la brasure sous gaz inerte, le soudage par ultrasons, la soudure laser, la soudure par friction-malaxage (Friction Stir Welding), le collage...

45 **[0219]** Dans le cas de plaque en cuivre, en acier inoxydable ou en superalliage, on peut utiliser la soudure diffusion, la soudure laser, la brasure diffusion, le collage...le ou les matériaux utilisés pour la fabrication du caloduc sont choisis en fonction des contraintes de masse,

d'assemblage, de la robustesse requise...

**[0220]** Dans le cas de plaques en aciers inoxydables, super alliages, on peut utiliser la soudure diffusion, la soudure laser, la brasure diffusion, le collage...

**[0221]** A titre d'exemple, l'assemblage de plaques en alliage d'aluminium est obtenu par brasure eutectique. On utilise de manière connue des plaques en alliage d'aluminium dont une ou les deux faces est ou sont revêtue(s) d'un alliage aluminium à plus bas point de fusion.

**[0222]** Par exemple, on utilise une tôle en alliage de la série AA3xxxx à coeur, avec un revêtement avec un alliage eutectique de la série AA4xxxx comprenant du silicium à plus bas point de fusion.

**[0223]** Le revêtement se fait typiquement par une technique de roll-bond.

**[0224]** L'épaisseur totale des plaques est typiquement de 0,05 mm à 5 mm, avec un revêtement typiquement de 5% à 10% de l'épaisseur totale sur une ou les deux faces.

**[0225]** En pressant à chaud deux plaques d'aluminium ainsi revêtues à une température supérieure à la température de fusion de l'eutectique, mais inférieure à la température de l'alliage à coeur, l'alliage eutectique en surface fond et forme un alliage de brasure d'assemblage étanche entre les deux plaques.

**[0226]** Le brasage est réalisé de préférence sous pression grâce à un système de maintien mécanique, qui maintien en pression l'empilement pendant le brasage en four sous vide.

**[0227]** Des découpes et/ou des pliages sont requis dans le procédé de fabrication pour alléger et/ou mettre en forme la structure. Ils sont de préférence réalisés après l'assemblage. Il est à noter que la découpe des fenêtres dans les plaques, par exemple les fenêtres centrales, est réalisée avant assemblage.

**[0228]** Un exemple de procédé de réalisation d'un caloduc C1 selon la figure 2 va maintenant être décrit.

**[0229]** Des plaques en un matériau donné sont découpées suivant la forme extérieure souhaitée pour le caloduc.

**[0230]** Lors d'une étape suivante, les premières, deuxième et troisième plaques intercalaires sont structurées, par exemple par poinçonnage, usinage, découpe laser, par découpe au jet d'eau ou par gravure chimique traversante...afin de réaliser les fenêtres spécifiques dans les différentes plaques, de sorte qu'une fois assemblées un caloduc à rainures réentrantes soit formé.

**[0231]** Les plaques sont ensuite empilées dans un ordre donné, par exemple en alternant une deuxième plaque intercalaire et une troisième plaque intercalaire entre deux premières plaques intercalaires; des plaques de fermeture sont disposées aux extrémités de l'empilement pour fermer le ou les canaux. Eventuellement des canaux de refroidissement sont prévus sur une ou les deux faces de l'empilement.

**[0232]** Les plaques sont assemblées, la technique d'assemblage étant choisie en fonction du ou des matériaux des plaques, par exemple soudage, brasage, col-

lage...l'assemblage des plaques est étanche. Le ou les matériaux des plaques est ou sont choisis en fonction du fluide de travail, qui est lui-même choisi en fonction des spécifications de thermalisation du système à réaliser.

**[0233]** Le caloduc est ensuite rempli. Un orifice de remplissage a été ménagé dans une des plaques d'ouverture lors de la fabrication des plaques. Le fluide est choisi en fonction des conditions de fonctionnement du caloduc (température de fonctionnement...) et de la compatibilité avec le ou les matériaux du caloduc.

**[0234]** Grâce à l'invention, les performances thermiques en termes de puissance maximale transportable des caloducs à rainures réentrantes sont améliorées par rapport aux caloducs à rainures réentrantes de l'état de l'art, i.e. les caloducs cylindriques à rainures réentrantes. Ainsi, il est possible de réaliser des caloducs présentant le même encombrement et capables de transporter plus de puissance ou présentant un encombrement et une masse réduits tout en transportant la même puissance.

**[0235]** De plus, par comparaison aux caloducs obtenus par extrusion, l'invention permet :

- d'obtenir une forme et une surface différente entre la partie évaporateur et la partie condenseur des caloducs,
- d'obtenir une largeur de zone d'échange plus étroite pour avoir une pression capillaire importante,
- d'obtenir une longueur transverse de zone d'échange plus longue afin d'accommoder une reculée du ménisque dans la zone évaporateur plus importante sans risque de désamorçage large du caloduc,
- d'obtenir des rapports d'aspect entre section du canal liquide et largeur de la zone d'échange (interface liquide/vapeur) plus favorables, i.e. offrant une meilleure capacité de transport linéique pour un encombrement donné, ou masse réduite pour une capacité de transport linéique fixée,
- de réduire les résistances thermiques de flux entre les sources chaude et froide et les parties évaporateur et condenseur du caloduc.

**[0236]** De plus, le fait d'utiliser plusieurs plaques empilées permet d'utiliser des plaques découpées réalisant les canaux communiquant entre eux tout en conservant une cohésion mécanique de chaque plaque.

**[0237]** Dans le cas de plaques structurées par poinçonnage, le coût de revient des caloducs est réduit pour des moyennes et grandes séries, tout en optimisant le transfert de chaleur sur la longueur du caloduc.

**[0238]** Dans le cas de tôles usinées pour réaliser des évidements (exemple de réalisation des figures 7A à 10), les deuxième plaques intercalaires peuvent être supprimées, ce qui réduit le nombre de pièces mis en oeuvre. En outre, les plaques présentent une robustesse accrue.

## Revendications

1. Caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes s'étendant au moins le long d'une première direction longitudinale (X), comprenant une première extrémité longitudinale (4) destinée à être échauffée et une deuxième extrémité longitudinale (6) destinée à être refroidie, une enceinte étanche (2) s'étendant entre la première extrémité (4) et la deuxième extrémité (6), l'enceinte comprenant un empilement de plaques le long d'une deuxième direction (Z), ledit empilement comportant deux plaques de fermeture (12), au moins un module d'au moins deux plaques intercalaires (14, 16, 17, 214, 216, 217, 314, 316, 317) entre les plaques de fermeture (12), dans lequel lesdites plaques intercalaires comportent au moins une première plaque intercalaire (14, 214, 314) comportant au moins une fenêtre centrale (18, 118, 318) dont les bords délimitent en partie un canal vapeur (8) s'étendant le long de la première direction (X), dans lequel la vapeur est destinée à circuler, et de chaque côté de la fenêtre centrale (18, 118, 318) selon une troisième direction (Y) orthogonale aux première (X) et deuxième (Z) directions, une structuration dont les bords délimitent en partie un canal liquide, au moins une autre plaque intercalaire comportant au moins une fenêtre dont les bords délimitent en partie le canal vapeur (8), et dans lequel le caloduc comporte au moins deux zones d'échange (10.1, 110.1, 310.1) délimitées entre la première plaque intercalaire et l'autre plaque intercalaire, reliant le canal vapeur et le canal liquide.
2. Caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes selon la revendication 1, dans lequel l'autre plaque intercalaire est une première plaque intercalaire (314), et dans lequel les structurations sont des évidements (319) réalisés dans au moins une des faces desdites premières plaques intercalaires (314), dans lequel dans l'empilement, les évidements (319) sont mis en regard, et dans lequel les zones d'échange (310.1) sont délimitées par deux bords de deux évidements (319) des deux premières plaques intercalaires (314) en regard, les premières plaques intercalaires comportant avantageusement des évidements dans leurs deux faces.
3. Caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes selon la revendication 2, dans lequel une deuxième plaque intercalaire (316) est interposée entre deux premières plaques intercalaires (314) au niveau de bords extérieurs des premières plaques intercalaires (316), dont l'épaisseur délimite la dimension dans la direction de l'empilement des zones d'échange (310.1), et/ou dans lequel les évidements comportent un fond et au moins un bord reliant le fond à la zone d'échange, ledit bord étant incliné en éloignement du canal vapeur ou ledit bord se raccordant
4. Caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes selon la revendication 1, dans lequel l'autre plaque est une troisième plaque intercalaire (217) dont la fenêtre a la même section que la fenêtre centrale de la première plaque intercalaire (214) de sorte que deux de ses bords latéraux dans la troisième direction (Y) délimitent avec la première plaque intercalaire (214) des zones d'échange (210.1), une deuxième plaque intercalaire (216) étant avantageusement interposée entre la première plaque intercalaire (214) et la troisième plaque intercalaire (217) au niveau de bords extérieurs desdites première et troisième plaques intercalaires, dont l'épaisseur délimite la dimension dans la direction de l'empilement des zones d'échange.
5. Caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes selon la revendication 1, dans lequel l'autre plaque intercalaire est une première plaque intercalaire (14), dans lequel les structurations sont des fenêtres (19), dans lequel le caloduc comporte une deuxième plaque intercalaire (16) interposée entre les deux premières plaques intercalaires (14) au niveau de bords extérieurs des premières plaques intercalaires (14), dont l'épaisseur délimite la dimension dans la direction de l'empilement des zones d'échange (10.1), et dans lequel le caloduc comporte une troisième plaque intercalaire (17) dont la fenêtre a la même section que les fenêtres centrales (18) des premières plaques intercalaires (14), en contact avec l'une des premières plaques intercalaires (14) et obturant les fenêtres latérales (19) de part et d'autre de la fenêtre centrale (18) dans la deuxième direction (Z).
6. Caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes selon l'une des revendications 1 à 5, comportant n modules les uns sur les autres, n étant un entier > 1, définissant un canal vapeur unique et n canaux liquides de chaque côté du canal liquide et n zones d'échange, chacune connectant le canal vapeur avec un canal liquide.
7. Caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel les structurations présentent dans un plan orthogonal à la deuxième direction, une forme de trapèze, et/ou dans lequel les fenêtres centrales des plaques intercalaires comportent un montant s'étendant dans la première direction de sorte que le canal vapeur comporte une paroi s'étendant sur toute la hauteur de l'empilement et dans la première direction.
8. Caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes selon la revendication 4 ou 5, dans lequel la fenêtre d'au moins une troisième plaque intercalaire com-

audit fond par un congé de raccordement.

- porte au moins un montant transversal s'étendant dans la troisième direction.
9. Caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes selon l'une des revendications 1 à 8, comportant plusieurs canaux vapeurs, chacun relié à des canaux liquides par des zones d'échange. 5
10. Caloduc à pompage capillaire selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel au moins l'une des plaques d'extrémité présente une surface supérieure à celle des plaques intermédiaire dans une direction transversale à l'empilement de sorte à former des diffuseurs thermiques. 10
11. Caloduc à pompage capillaire à rainures réentrantes selon l'une des revendications 1 à 10, comportant des moyens d'échange thermique au niveau de la première extrémité et/ou deuxième extrémité, les moyens d'échange thermique au niveau de la deuxième extrémité comportant avantageusement une ou plusieurs ailettes en contact thermique avec au moins une des plaques de fermeture. 20
12. Caloduc à pompage capillaire, selon la revendication 11, dans lequel les moyens d'échange thermique comportent un circuit fluide (32) en contact thermique avec au moins une des plaques de fermeture (12), ledit circuit étant formé par une plaque (36) structurée de sorte à délimiter des canaux (38), lesdits canaux (38) étant fermés par ladite plaque de fermeture (12) et une plaque de fermeture supplémentaire (40), les moyens d'échange thermique comportant également des moyens pour alimenter en fluide caloporteur ledit circuit fluide. 25  
30  
35
13. Système d'échange thermique comportant plusieurs caloducs selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel les caloducs sont disposés dans plusieurs plans, les caloducs de deux plans successifs se croisant et dans lequel les caloducs de deux plans successifs partagent une même plaque d'extrémité, au moins un caloduc d'une couche étant avantageusement connecté hydrauliquement à au moins un caloduc de la même couche. 40  
45
14. Système d'échange thermique selon la revendication 13, comportant un circuit d'échange thermique monophasique ou diphasique. 50
15. Procédé de fabrication d'un caloduc à pompage capillaire comportant, à partir d'au moins deux plaques de dimensions extérieures données :
- Réalisation d'au moins une fenêtre centrale dans au moins deux plaques, 55
  - Structuration de chaque côté de la fenêtre centrale dans au moins l'une desdites plaques, pour

former des fenêtres latérales ou des évidements latéraux,

- Empilement desdites plaques de sorte que les fenêtres centrales délimitent un canal vapeur, que les fenêtres ou évidements latéraux forment des canaux liquides de part et d'autre du canal vapeur, et de sorte que des zones d'échange connectent le canal vapeur et les canaux liquides ;

- Mise en place aux extrémités de l'empilement dans la direction de l'empilement de plaques de fermeture.

- Solidarisation desdites plaques de sorte à délimiter une enceinte étanche, avantageusement lesdites plaques comportant à coeur un alliage d'aluminium et sur leurs faces extérieures un alliage d'aluminium eutectique à point de fusion inférieur à celui de l'alliage d'aluminium à coeur et la solidarisation étant obtenue par brasure eutectique,

- Remplissage partiel du canal avec un fluide sous forme liquide et fermeture étanche du canal.

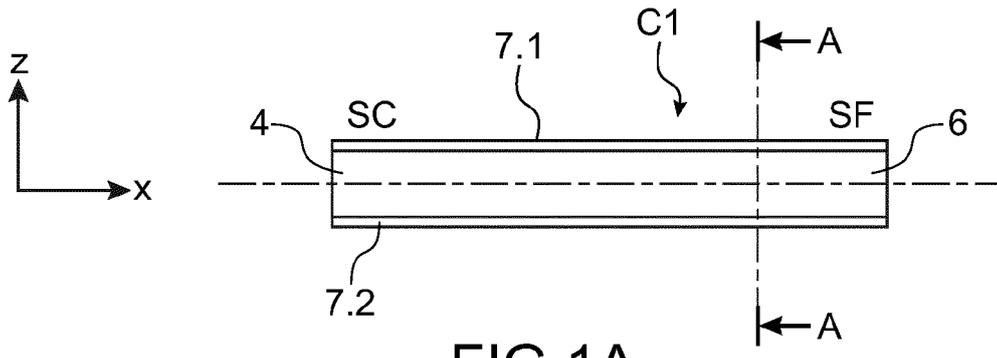


FIG. 1A

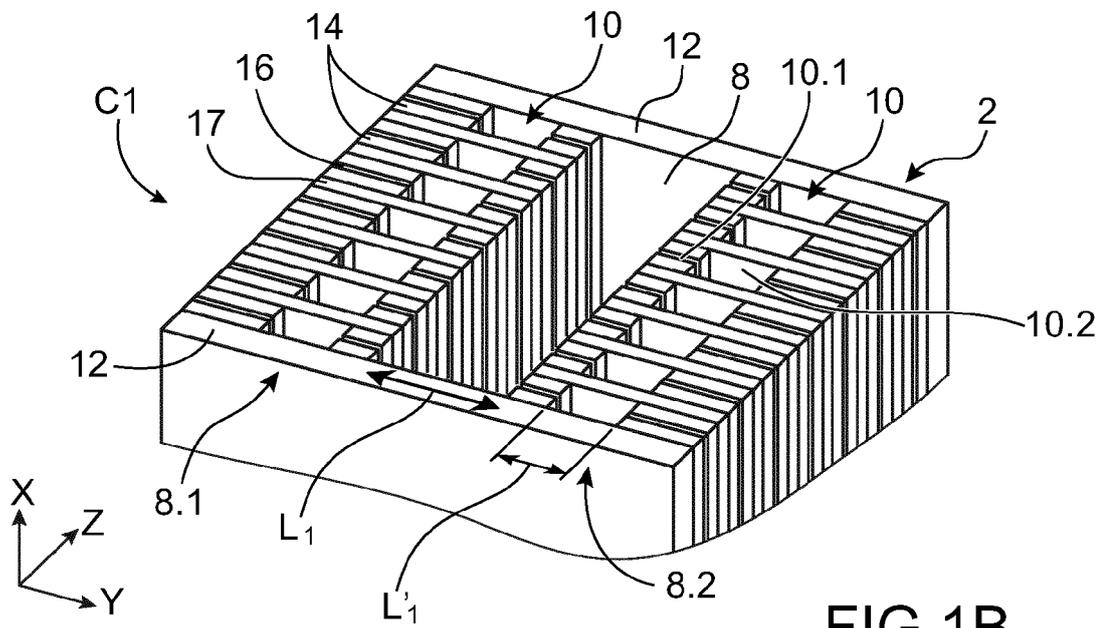


FIG. 1B

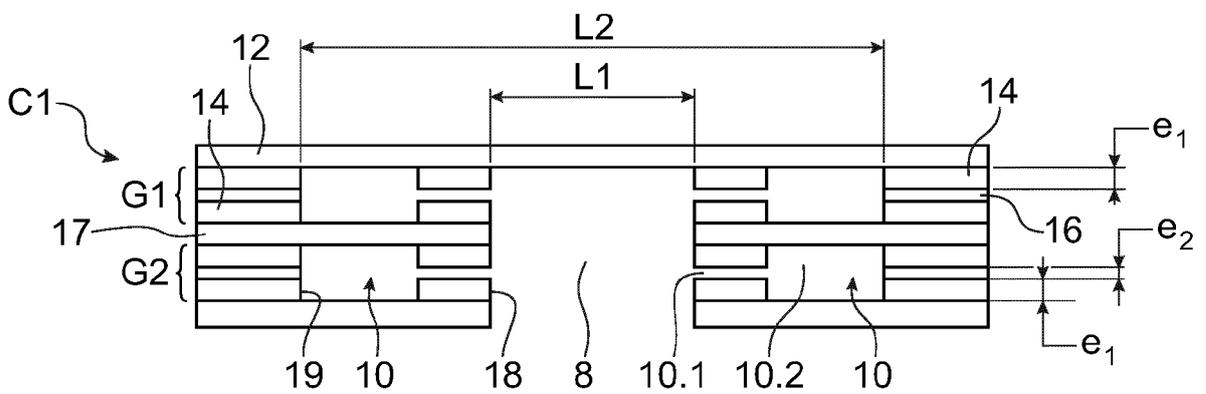
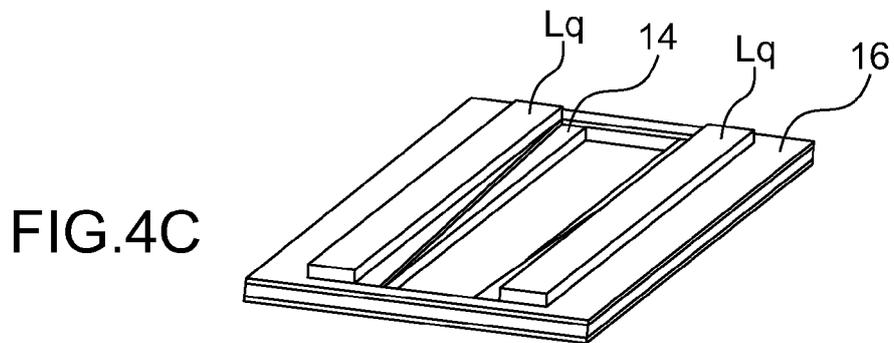
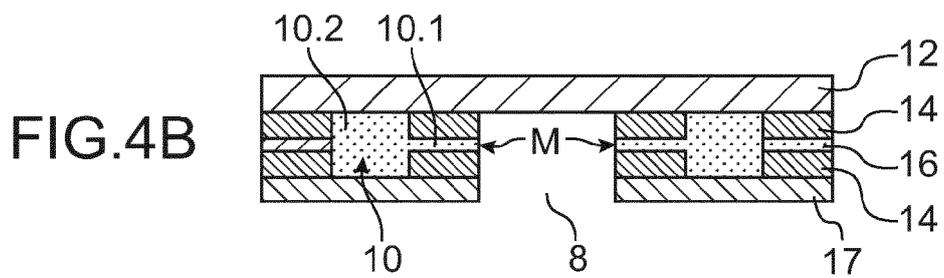
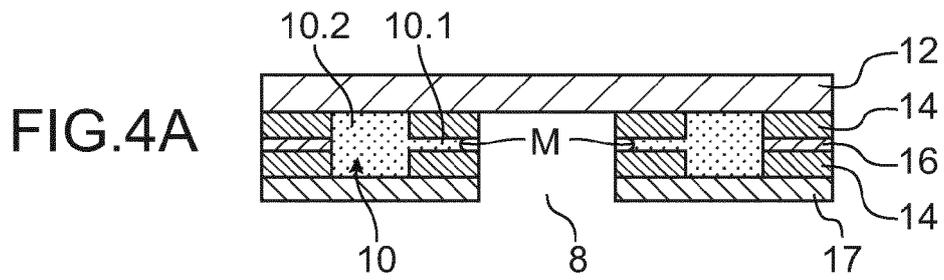
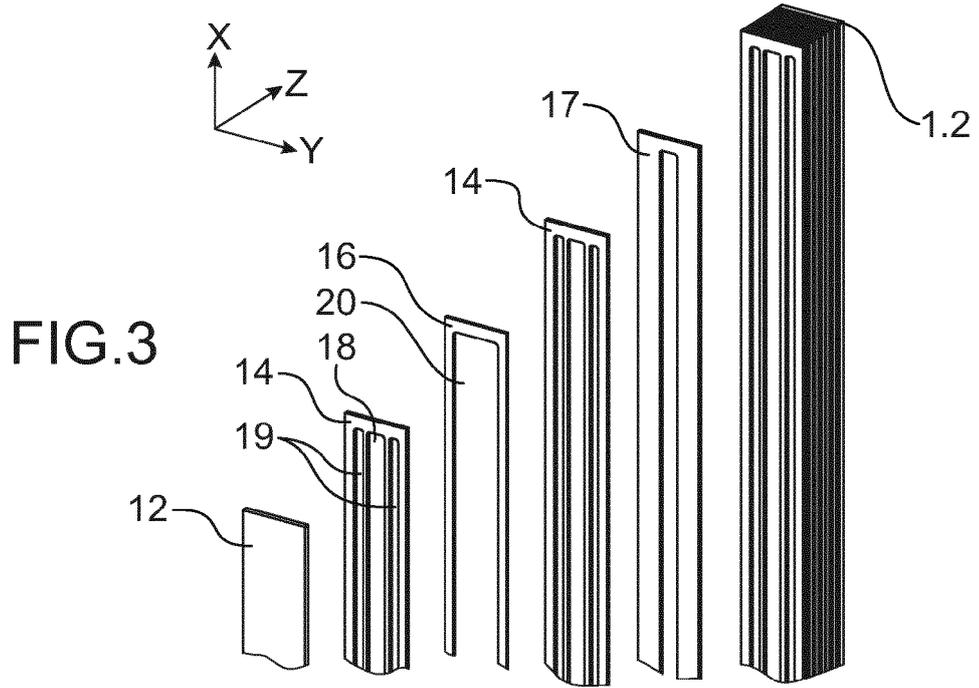
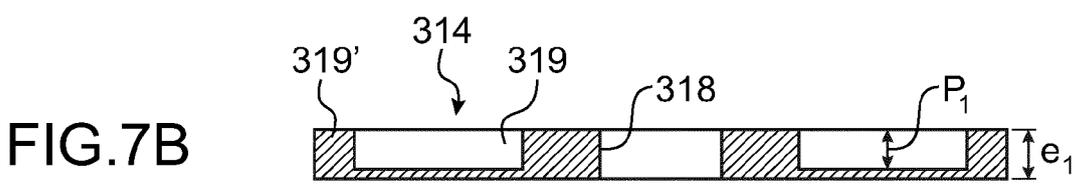
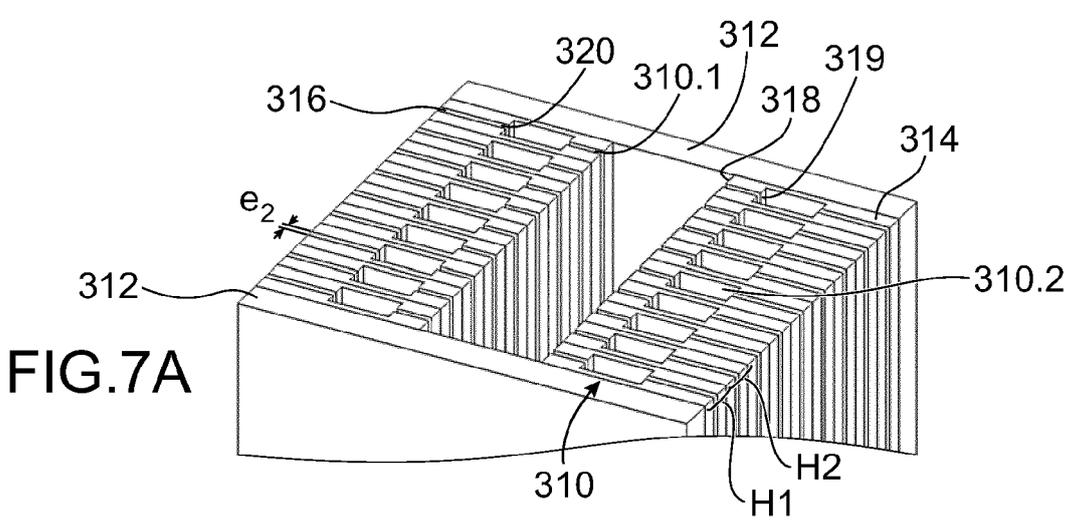
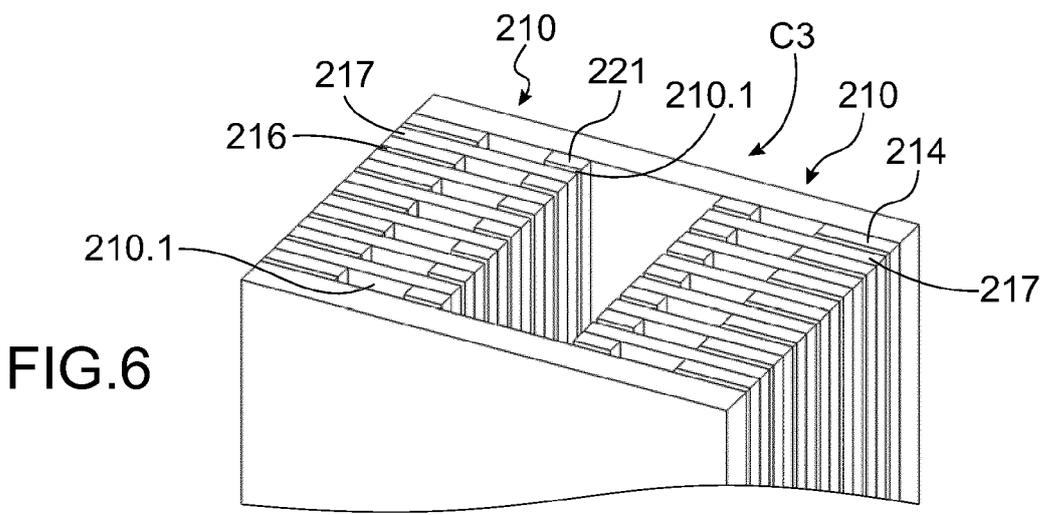
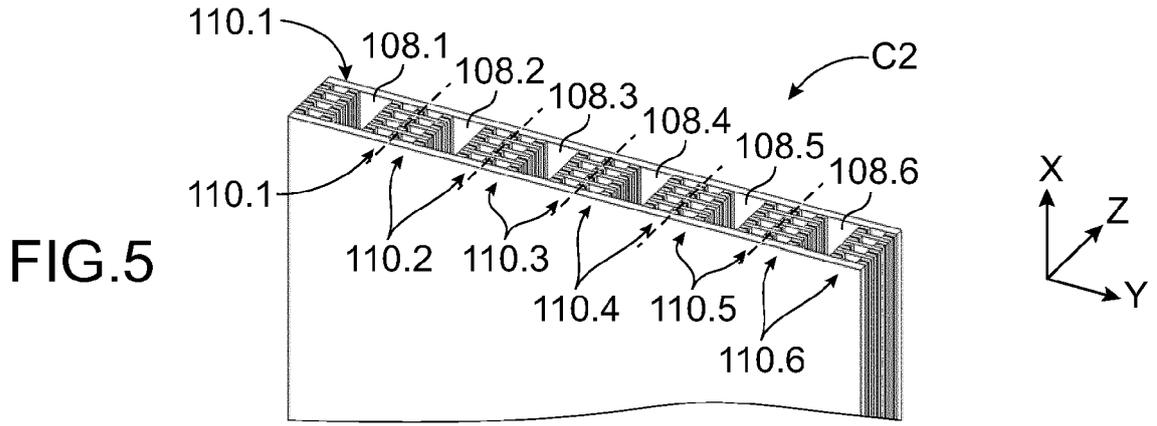


FIG. 2





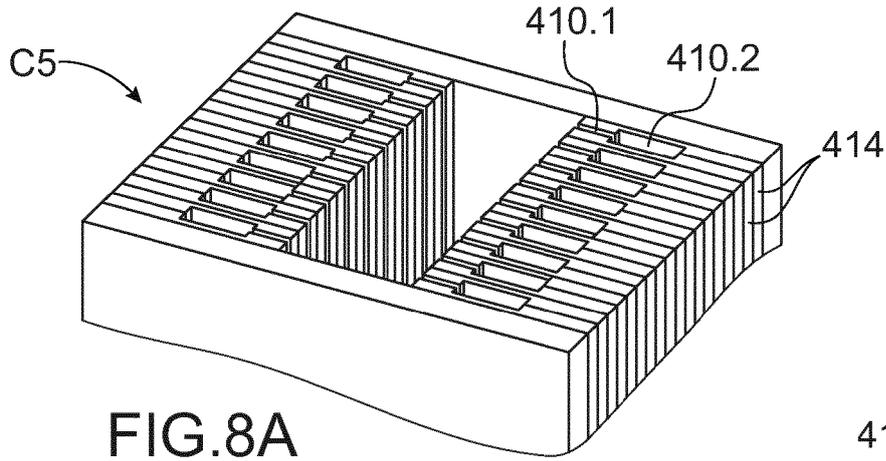


FIG. 8A

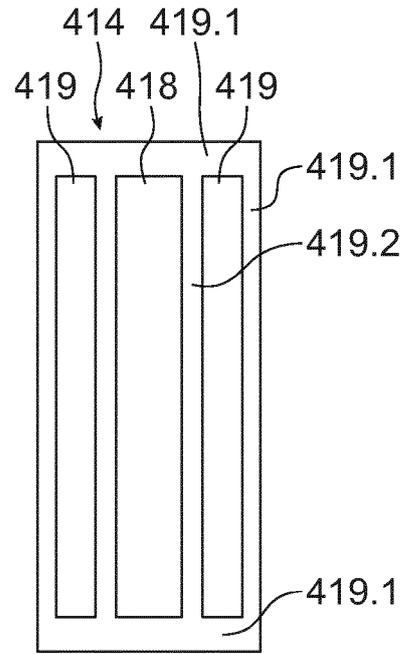


FIG. 8B

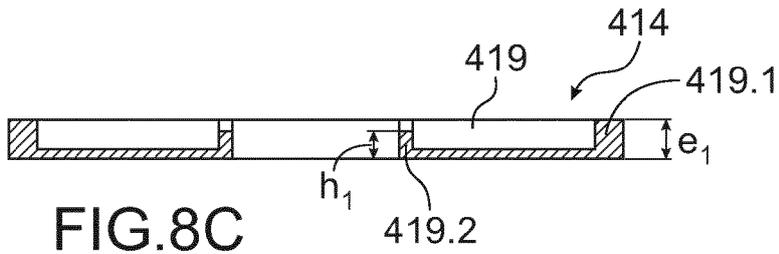


FIG. 8C

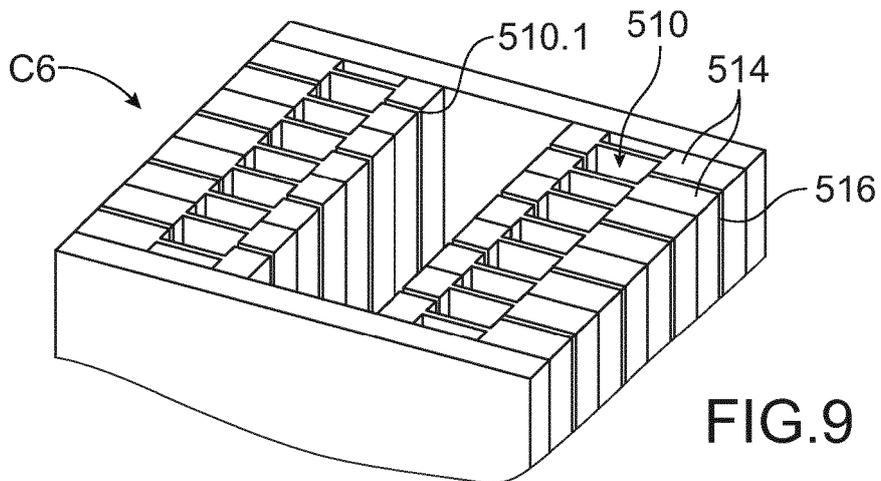
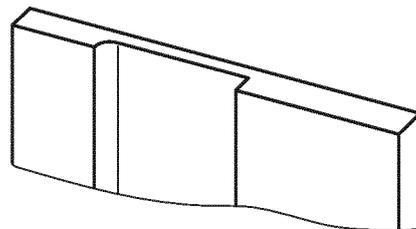
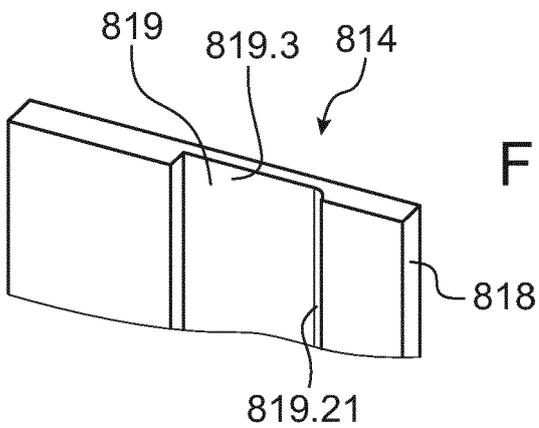
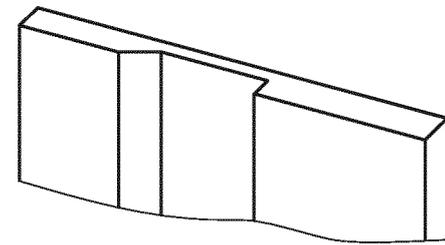
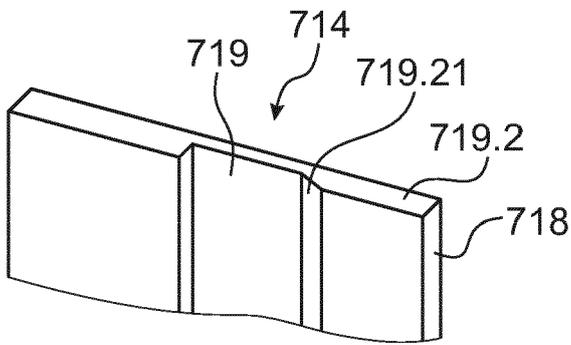
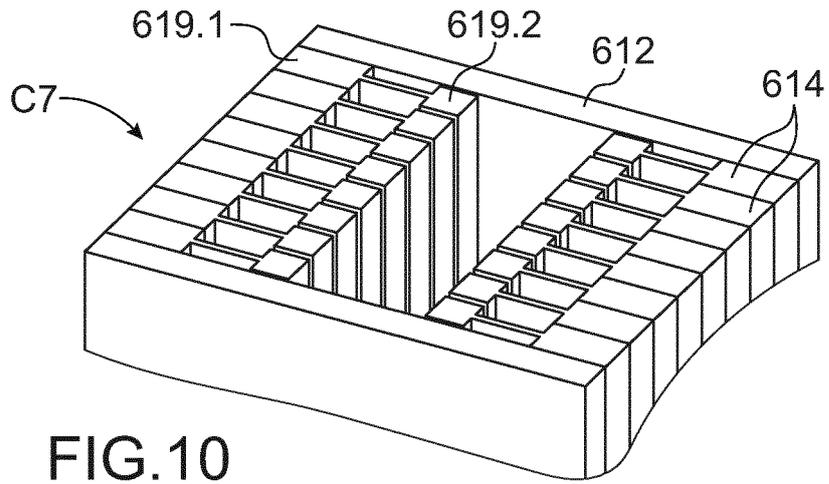


FIG. 9



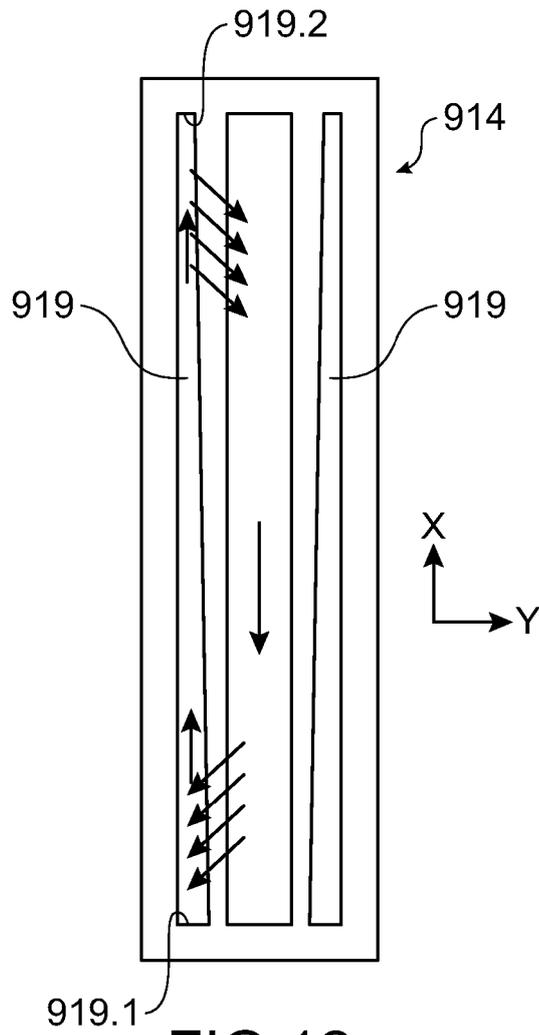


FIG. 12

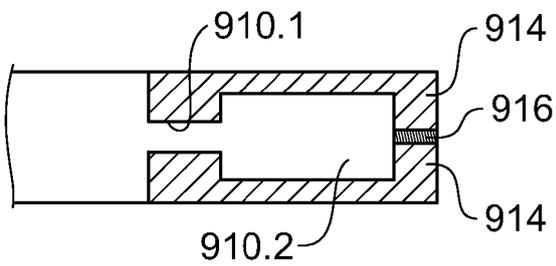


FIG. 13

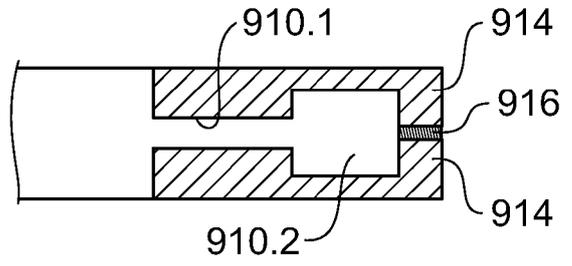


FIG. 14

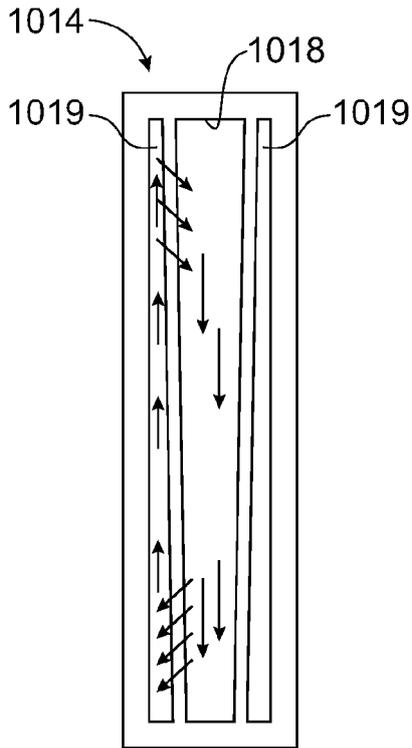


FIG. 15

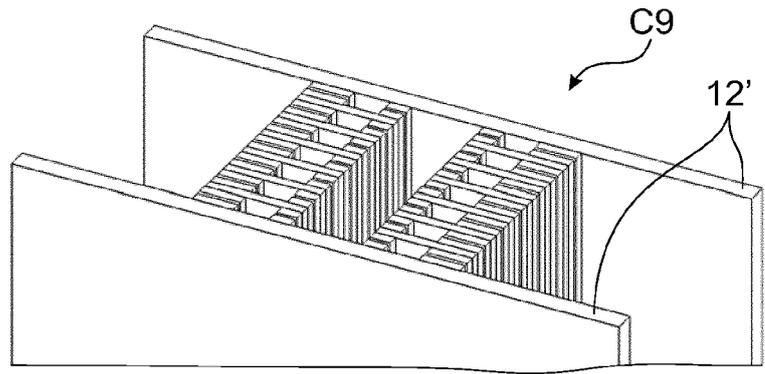


FIG. 16

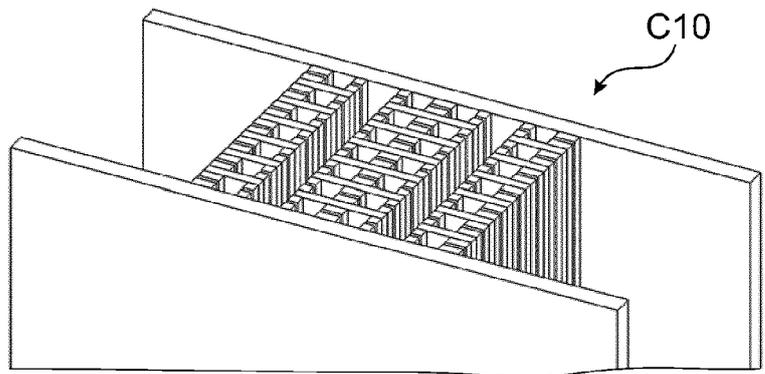


FIG. 17

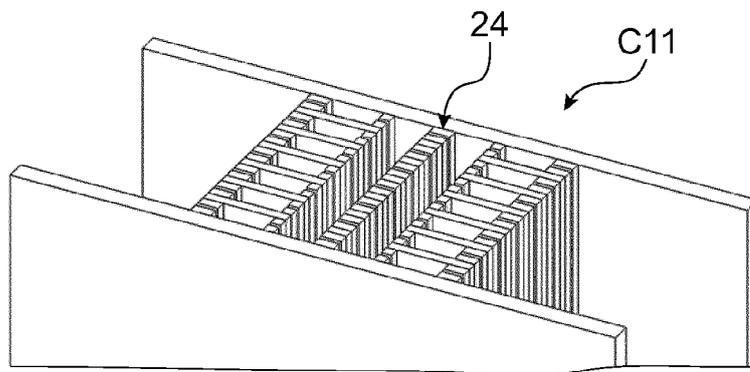


FIG. 18

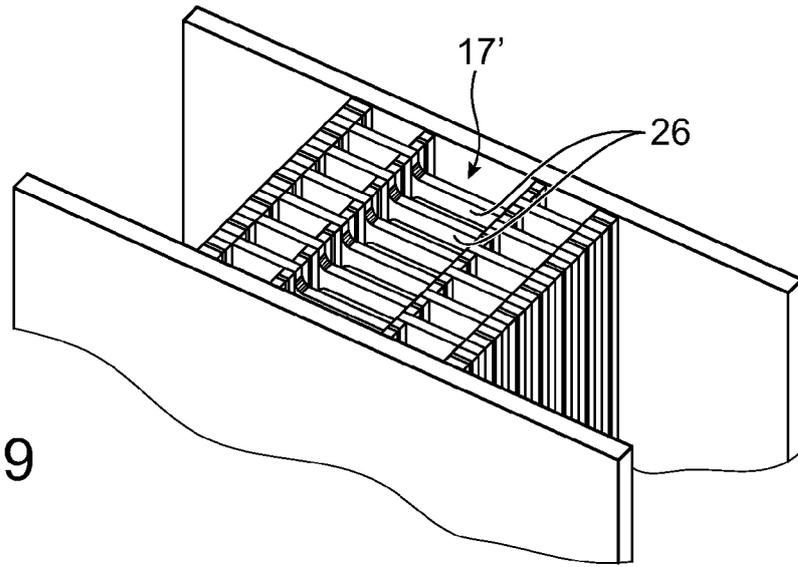


FIG. 19

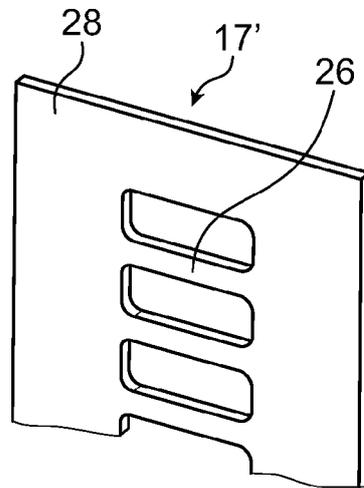


FIG. 20

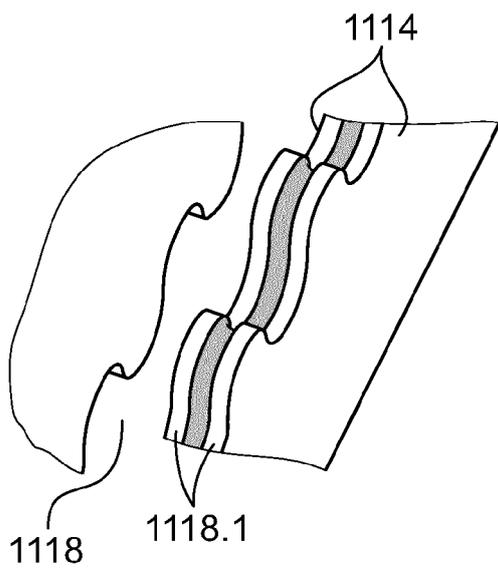


FIG. 21

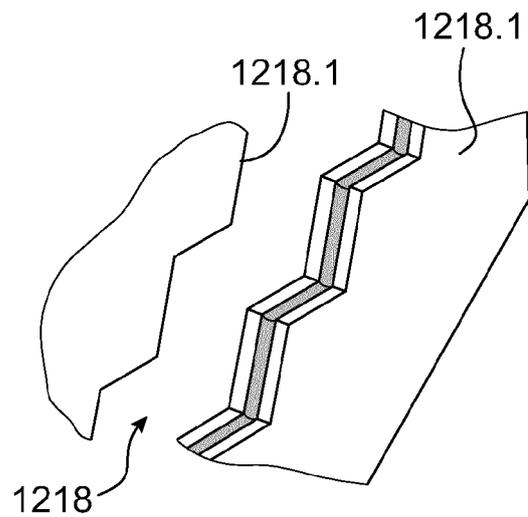


FIG. 22

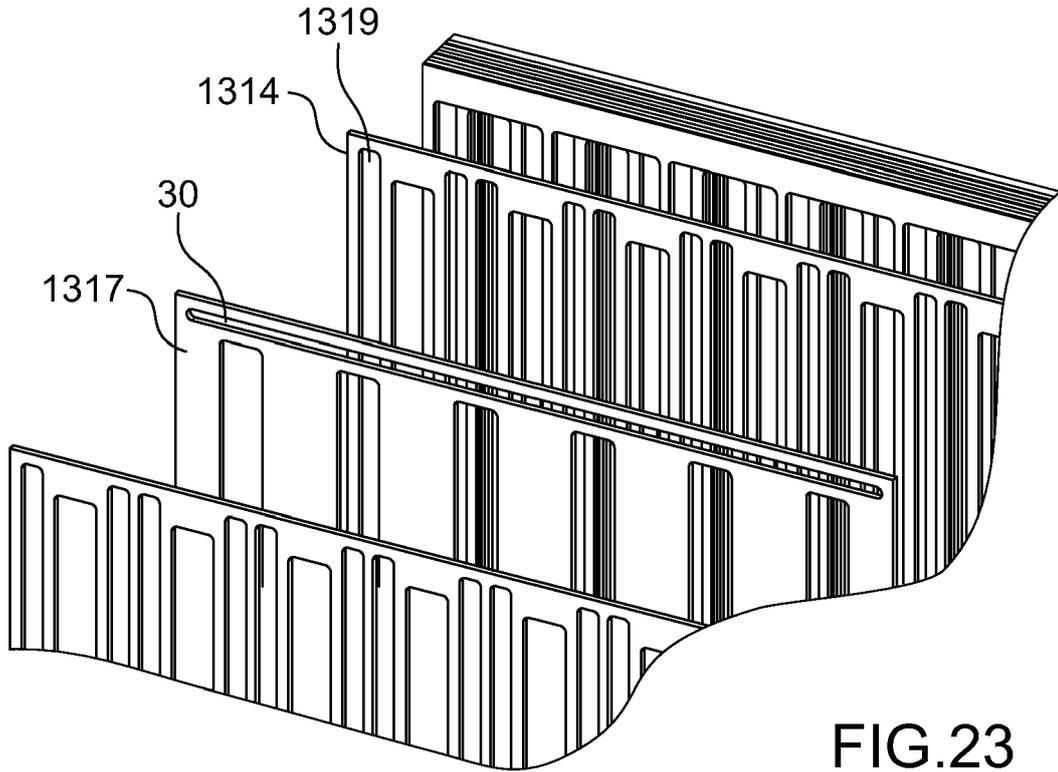


FIG. 23

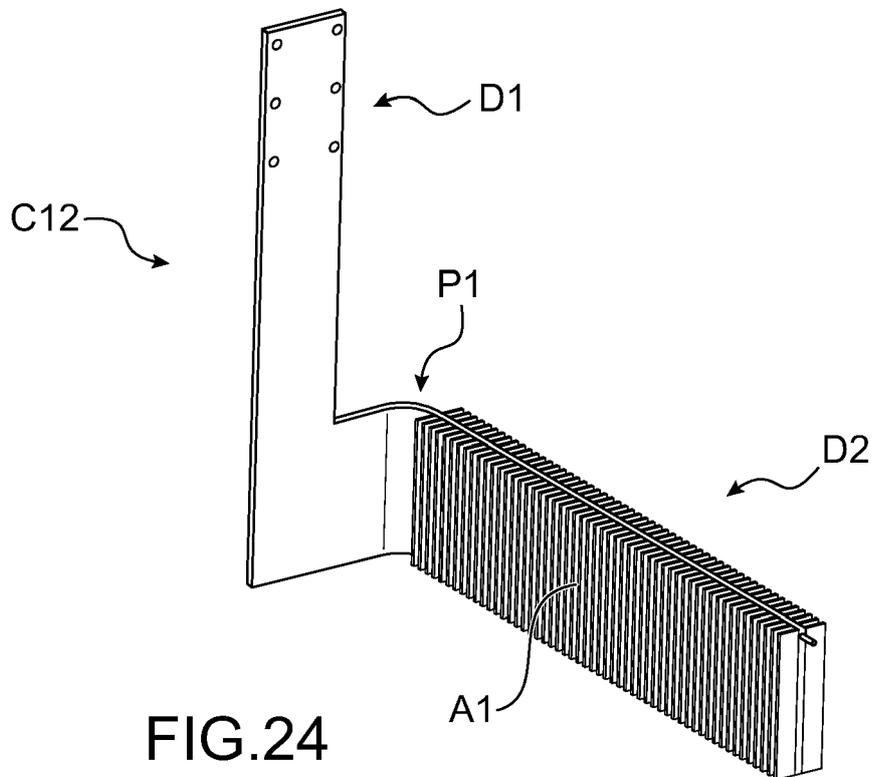


FIG. 24

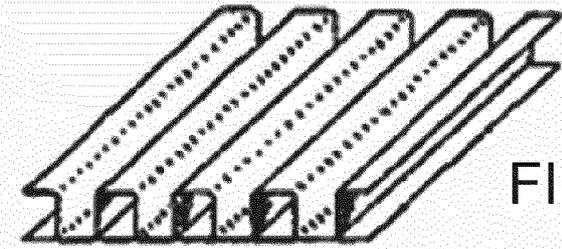


FIG. 25A

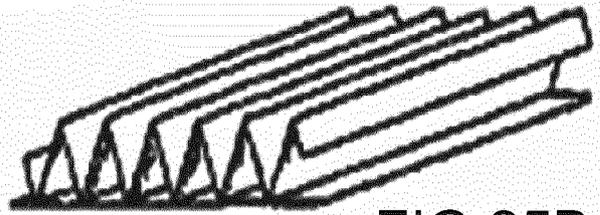


FIG. 25B

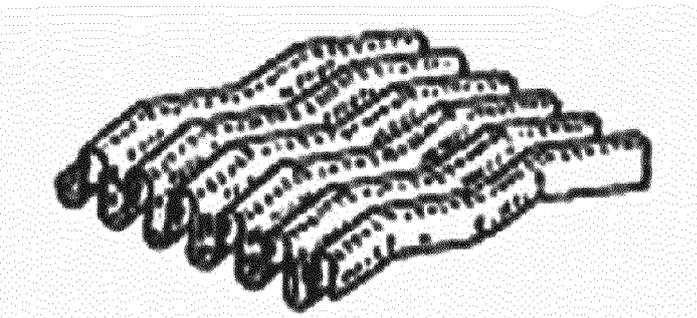


FIG. 25C

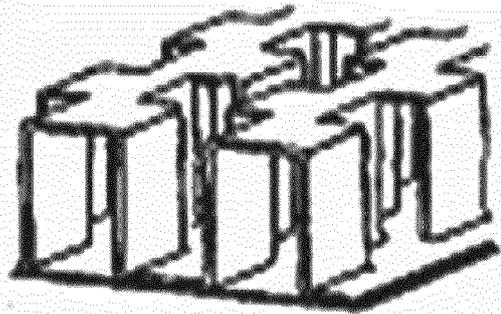


FIG. 25D

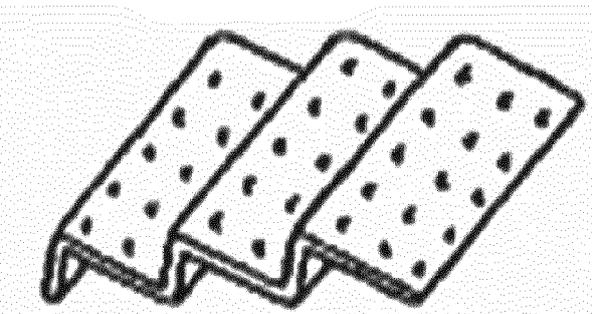


FIG. 25E

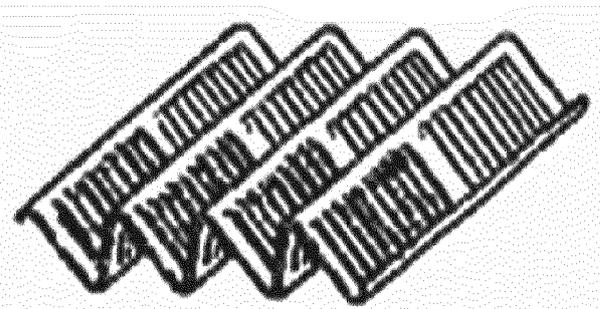


FIG. 25F

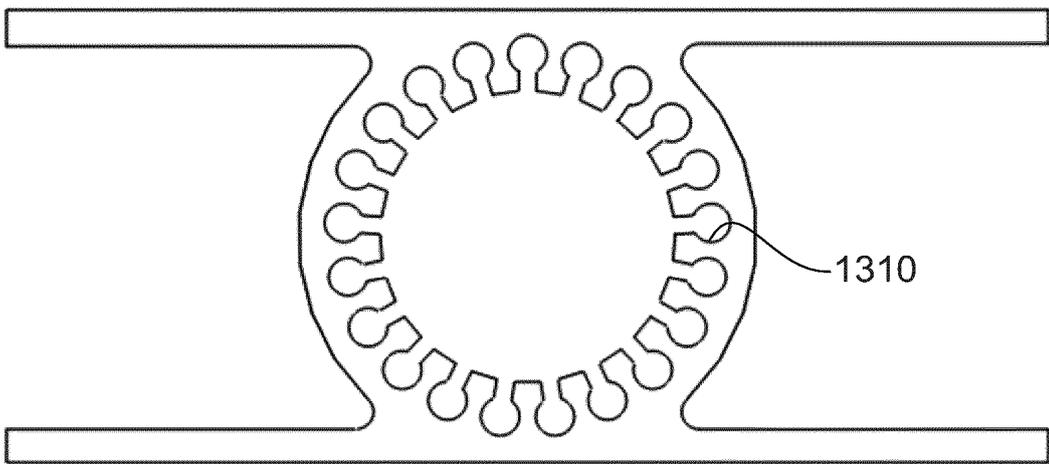
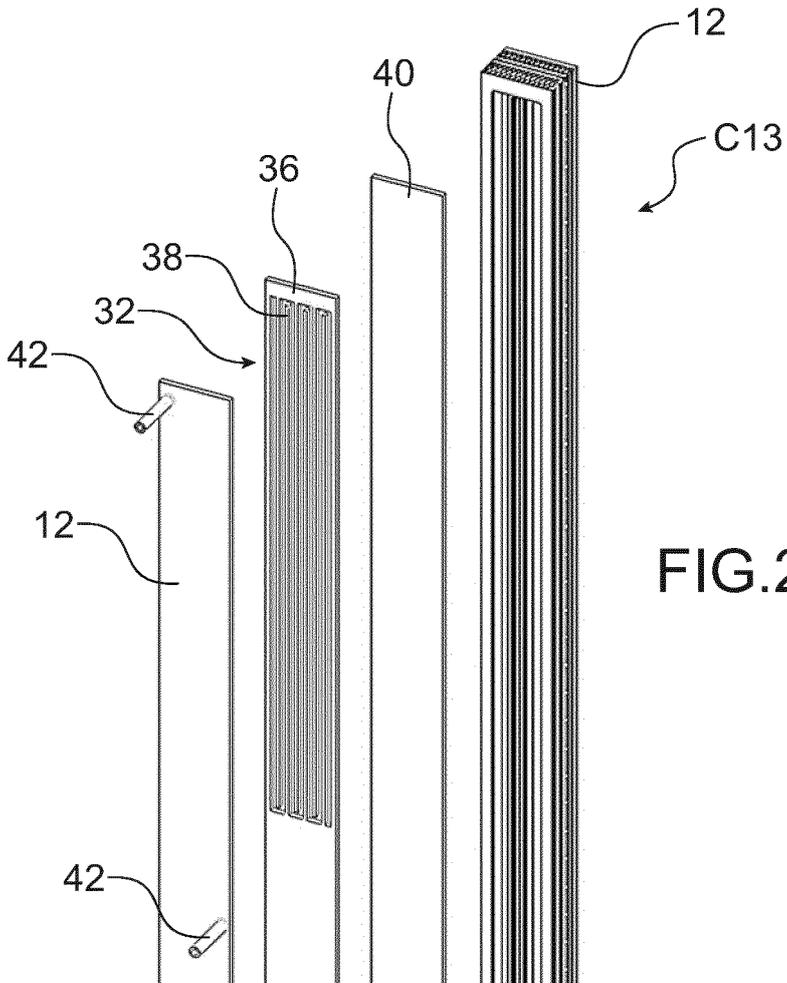


FIG. 27

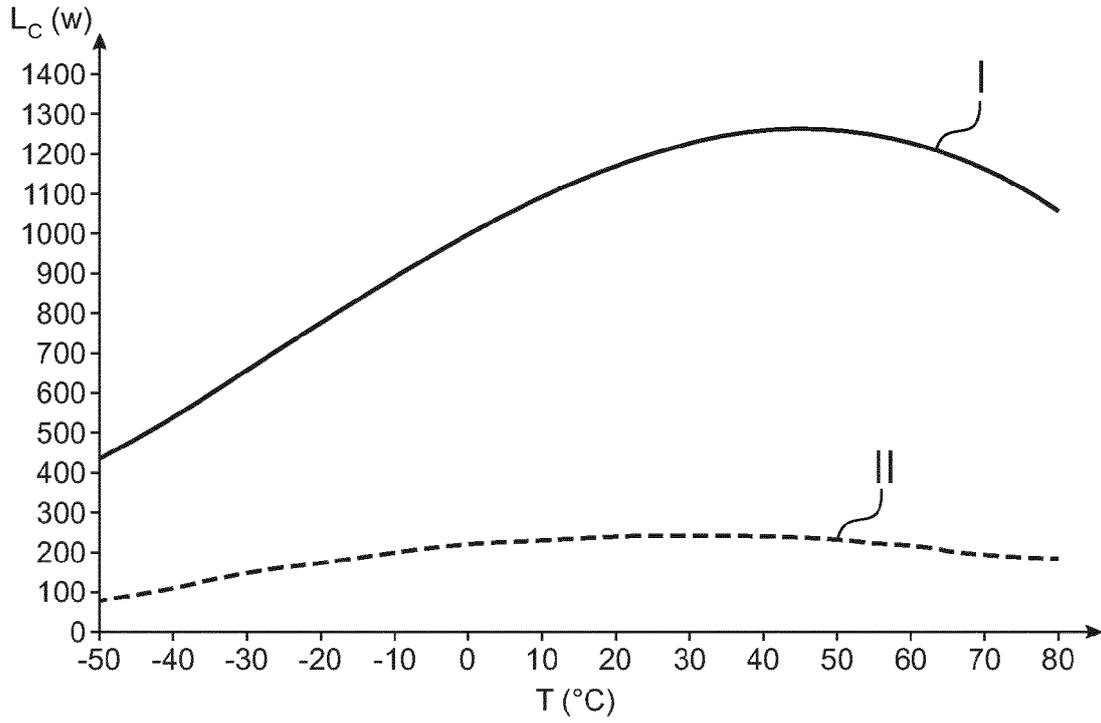


FIG.28

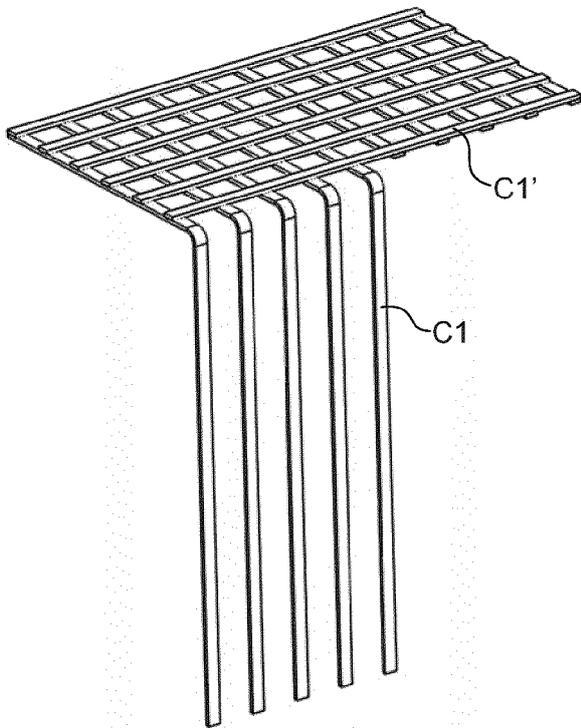


FIG.29

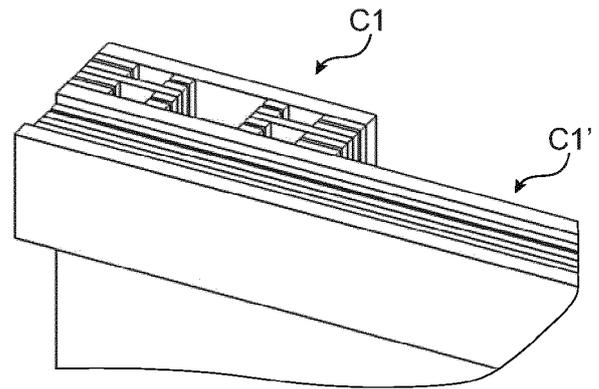
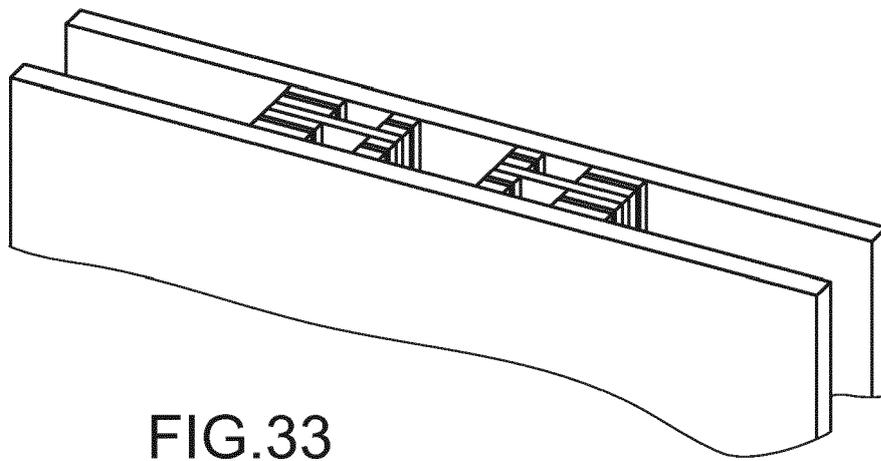
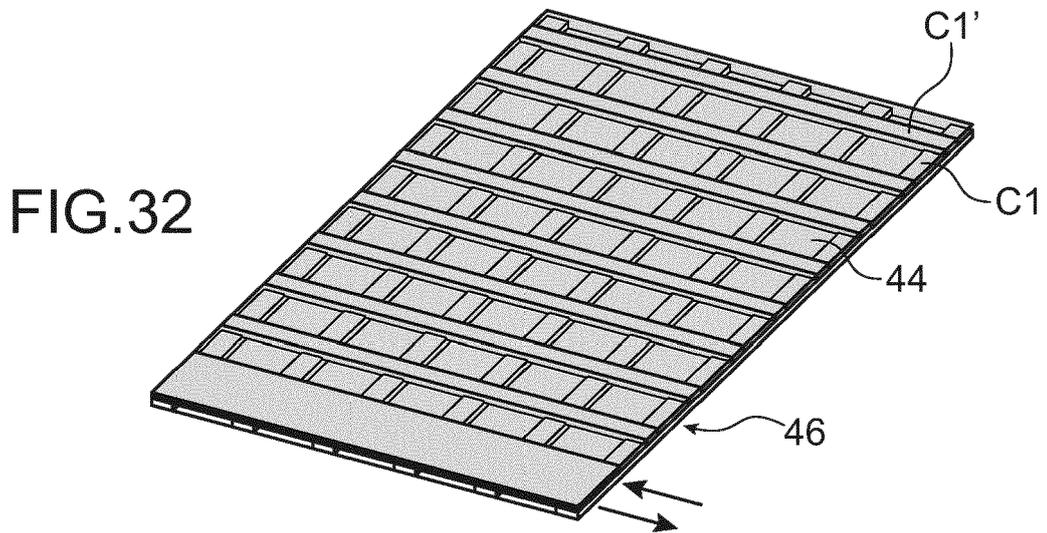
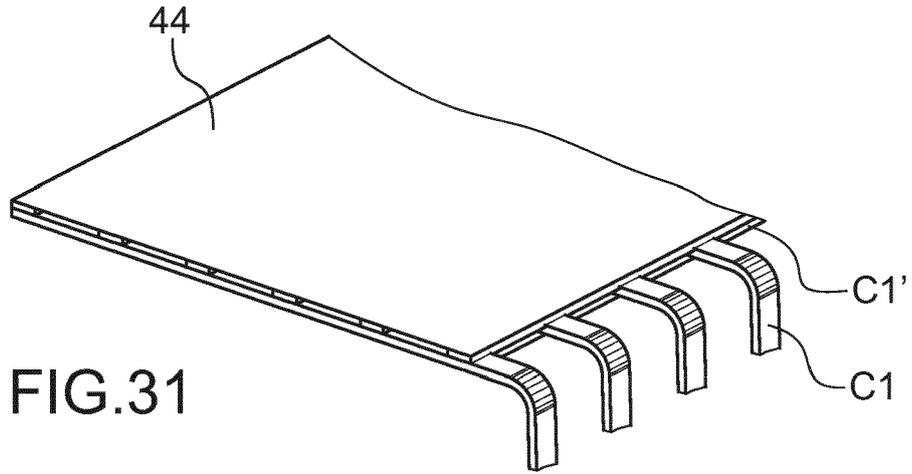


FIG.30





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 19 16 8586

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	FR 2 776 763 A1 (ATMOSTAT ETUDES ET RECH [FR]) 1 octobre 1999 (1999-10-01) * page 10, ligne 15 - page 11, ligne 24; figures 6,7 *	1-15	INV. F28D15/02 F28D15/04
A	FR 2 776 764 A1 (ATMOSTAT ETUDES ET RECH [FR]) 1 octobre 1999 (1999-10-01) * figure 12 *	1-15	
A	WO 2009/072703 A1 (KOREA ELECTRONICS TELECOMM [KR]; MOON SEOK HWAN [KR]; HWANG GUNN [KR]) 11 juin 2009 (2009-06-11) * figure 1 *	1-15	
A	US 2012/145358 A1 (MOON SEOK HWAN [KR]) 14 juin 2012 (2012-06-14) * figure 1a *	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F28D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>Munich</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>8 mai 2019</b>	Examineur <b>Bain, David</b>
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.

EP 19 16 8586

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.  
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

08-05-2019

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2776763 A1	01-10-1999	AUCUN	
FR 2776764 A1	01-10-1999	DE 69910996 T2 EP 1068481 A1 FR 2776764 A1 WO 9950607 A1	22-07-2004 17-01-2001 01-10-1999 07-10-1999
WO 2009072703 A1	11-06-2009	KR 20090058356 A US 2010243214 A1 WO 2009072703 A1	09-06-2009 30-09-2010 11-06-2009
US 2012145358 A1	14-06-2012	JP 5528419 B2 JP 2012127642 A KR 20120065575 A US 2012145358 A1 US 2015348802 A1	25-06-2014 05-07-2012 21-06-2012 14-06-2012 03-12-2015

EPO FORM P0480

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- US 7051793 B [0014]