



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
11.10.2017 Bulletin 2017/41

(51) Int Cl.:
F28F 3/08 (2006.01) **F28F 21/08** (2006.01)
F28D 21/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **17160548.8**

(22) Date de dépôt: **13.03.2017**

(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:
MA MD

(72) Inventeurs:
• **CHOMETTE, Sébastien**
38160 SAINT-MARCELLIN (FR)
• **MONTEREMAND, Mathieu**
38140 IZEAUX (FR)
• **RIGAL, Emmanuel**
38360 SASSENAGE (FR)

(30) Priorité: **14.03.2016 FR 1652105**

(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) **PROCÉDÉ DE FABRICATION D'AU MOINS UN ÉCHANGEUR DE CHALEUR À PLAQUES PAR SUPERPOSITION DE PLAQUES AVEC MOTIFS D'ALIGNEMENT**

(57) L'objet principal de l'invention est un procédé de fabrication d'au moins un échangeur de chaleur (50) à plaques (10) à au moins deux circuits de fluide, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes : a) formation d'une pluralité de plaques (10) comportant chacune un motif de référence ; b) formation d'un ou plusieurs motifs d'alignement (11) sur chaque plaque (10) par répétition circulaire du motif de référence autour d'un axe de révolution (X) ; c) formation d'une pluralité de rainures

(12) sur chaque plaque (10). Le procédé comporte en outre les étapes successives suivantes : d) assemblage des plaques (10) par superposition les unes par rapport aux autres, chaque motif de référence d'une plaque étant superposé à un motif d'alignement (11) d'une plaque adjacente ; e) réalisation d'un traitement d'assemblage sur l'assemblage obtenu à l'issue de l'étape d) précédente par soudage-diffusion, par brasage et/ou par brasagediffusion.

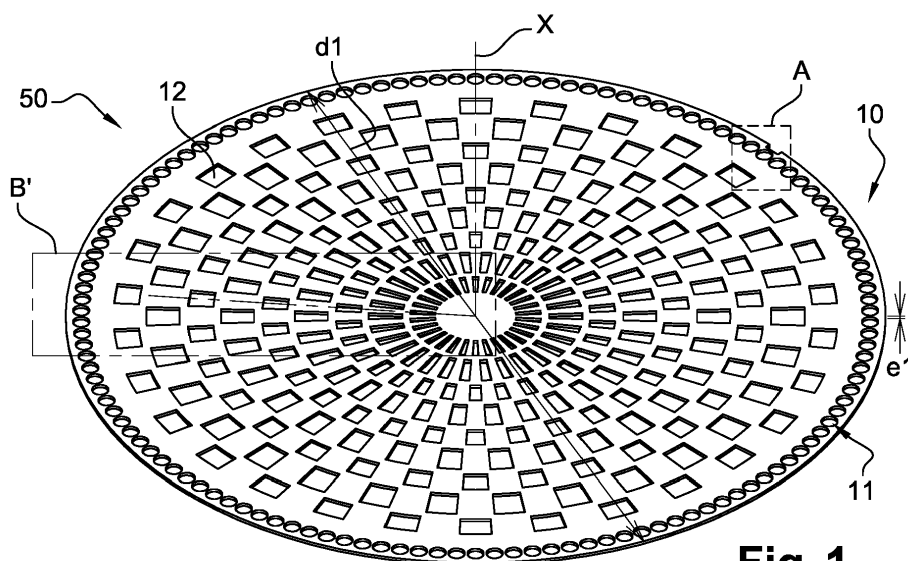


Fig. 1

Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention se rapporte au domaine général des échangeurs de chaleur à plaques, notamment des échangeurs de chaleur à plaques à au moins deux circuits de fluide comprenant chacun un ou des canaux de circulation interne de fluide.

[0002] L'invention concerne également la fabrication de tels échangeurs de chaleur à plaques par soudage par diffusion, obtenu par la technique de Compression Isostatique à Chaud (CIC), la technique de Compression Uniaxiale à Chaud (CUC), et/ou par brasage.

[0003] Les échangeurs de chaleur connus comportent typiquement un ou au moins deux circuits à canaux de circulation interne de fluide. Dans les échangeurs de chaleur à un seul circuit de fluide, les échanges thermiques se réalisent entre le circuit et l'environnement dans lequel il baigne. Dans les échangeurs à au moins deux circuits de fluide, les échanges thermiques se réalisent entre les différents circuits de fluide.

[0004] Par ailleurs, il est connu des réacteurs chimiques qui mettent en oeuvre un procédé en continu selon lequel est injectée une quantité faible de co-réactants simultanément, à l'entrée d'un premier circuit de fluide, de préférence équipé d'un mélangeur, le produit chimique obtenu étant récupéré en sortie dudit premier circuit. Parmi ces réacteurs chimiques connus, certains comprennent un deuxième circuit de fluide, appelé usuellement utilité, et dont la fonction est de contrôler thermiquement la réaction chimique, soit en apportant la chaleur nécessaire à la réaction, soit au contraire en évacuant la chaleur dégagée par celle-ci. De tels échangeurs chimiques à deux circuits de fluide avec utilité sont usuellement appelés « réacteurs-échangeurs ».

[0005] Il est ainsi à noter que la présente invention concerne aussi bien la réalisation d'échangeurs de chaleur à fonction uniquement d'échanges thermiques que la réalisation de réacteurs-échangeurs. Aussi, par l'expression « échangeur de chaleur à plaques à au moins deux circuits de fluide », il faut comprendre, dans le cadre de l'invention, aussi bien un échangeur de chaleur à fonction uniquement d'échanges thermiques qu'un réacteur-échangeur.

[0006] L'invention propose ainsi un procédé de fabrication d'au moins un échangeur de chaleur à plaques à au moins deux circuits de fluide par superposition de plusieurs plaques comprenant chacune des motifs d'alignement, ainsi qu'un échangeur de chaleur à plaques à au moins deux circuits de fluide obtenu par un tel procédé.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

[0007] Les échangeurs de chaleur dits à plaques existants présentent des avantages importants par rapport aux échangeurs de chaleur dits à tubes existants, en particulier leurs performances thermiques et leur com-

pacité grâce à un rapport de la surface sur le volume d'échanges thermiques favorablement élevé.

[0008] Les échangeurs à tubes connus sont par exemple des échangeurs à tubes et calandre, dans lesquels un faisceau de tubes droits ou cintrés en forme de U ou en forme d'hélice est fixé sur des plaques percées et disposé à l'intérieur d'une enceinte dénommée calandre. Dans ces échangeurs à tubes et calandre, l'un des fluides circule à l'intérieur des tubes tandis que l'autre fluide circule à l'intérieur de la calandre. Ces échangeurs à tubes et calandre présentent un volume important et sont donc de faible compacité.

[0009] Les échangeurs à plaques connus sont plus compacts et sont obtenus par empilement de plaques comportant des canaux et assemblées entre elles.

[0010] Les canaux sont réalisés par emboutissage de plaques, le cas échéant par ajout de feuillards pliés sous forme d'ailettes, ou par usinage de rainures. L'usinage est réalisé par des moyens mécaniques, par exemple par fraisage ou par voie chimique. L'usinage chimique est usuellement appelé gravage chimique ou électrochimique.

[0011] L'assemblage des plaques entre elles a pour objectif d'assurer l'étanchéité et/ou la tenue mécanique des échangeurs, notamment la tenue à la pression des fluides circulant à l'intérieur.

[0012] Plusieurs techniques d'assemblage sont connues et sont mises en oeuvre en fonction du type d'échangeur à plaques souhaité. L'assemblage peut ainsi être obtenu par des moyens mécaniques, tels que des tirants maintenant l'empilement serré entre deux plaques épaisses et rigides disposées aux extrémités. L'étanchéité des canaux est alors obtenue par écrasement de joints rapportés. L'assemblage peut être également obtenu par soudage, généralement limité à la périphérie des plaques, ce qui nécessite parfois d'insérer, ultérieurement au soudage, l'échangeur dans une calandre pour permettre sa tenue à la pression des fluides. L'assemblage peut encore être obtenu par brasage, en particulier pour des échangeurs pour lesquels des ailettes sont ajoutées. L'assemblage peut enfin être obtenu par soudage par diffusion (soudage-diffusion).

[0013] Les deux dernières techniques citées permettent de réaliser des échangeurs particulièrement performants en termes de tenue mécanique. En effet, grâce à ces deux techniques, l'assemblage est obtenu non seulement à la périphérie des plaques mais aussi à l'intérieur de l'échangeur.

[0014] Les échangeurs de chaleur à plaques assemblés par soudage par diffusion présentent des joints encore plus performants mécaniquement que les joints des échangeurs obtenus par brasage du fait de l'absence du métal d'apport requis pour le brasage.

[0015] Le soudage-diffusion consiste à obtenir un assemblage à l'état solide en appliquant une force à chaud sur les pièces à assembler pendant un temps donné. La force appliquée a une fonction double : elle permet l'acostage, c'est-à-dire la mise en contact des surfaces à

souder, et elle facilite l'élimination par fluage-diffusion de la porosité résiduelle dans les joints (interfaces).

[0016] La force peut être appliquée par compression uniaxiale, par exemple à l'aide d'une presse équipée d'un four ou simplement à l'aide de masses disposées au sommet de l'empilement des pièces à assembler. Ce procédé est communément appelé soudage-diffusion uniaxial et il est appliqué industriellement pour la fabrication d'échangeurs de chaleur à plaques.

[0017] Une limitation importante du procédé soudage-diffusion uniaxial tient au fait qu'il ne permet pas de souder des joints d'orientation quelconque par rapport à la direction d'application de la force de compression uniaxiale.

[0018] Un autre procédé alternatif pallie cet inconvénient. Dans cet autre procédé, la force est appliquée via un gaz sous pression dans une enceinte étanche. Ce procédé est communément appelé Compression Isostatique à Chaud (CIC). Un autre avantage du procédé de soudage-diffusion par CIC comparativement au procédé de soudage-diffusion uniaxial est qu'il est plus largement répandu à l'échelle industrielle. En effet, la CIC est aussi utilisée pour le traitement par lots de pièces de fonderie ainsi que pour la compaction de poudres.

[0019] Les échangeurs compacts actuellement connus présentent aussi des inconvénients majeurs, principalement dans le cas des échangeurs à plaques.

[0020] Un premier inconvénient majeur est le coût de fabrication des plaques, en particulier dans le cas de plaques à rainures gravées. Dans ce cas, de la matière est enlevée sur une certaine largeur et une certaine profondeur suivant une direction particulière afin de réaliser des rainures qui forment les canaux une fois l'empilement réalisé. Le gravage des rainures peut être réalisé une par une, par lot ou intégralement suivant la technique employée et ce gravage peut être effectué sur une ou sur les deux faces des plaques de l'échangeur.

[0021] Le gravage des rainures réalisé par usinage mécanique classique permet d'obtenir de bonnes tolérances dimensionnelles mais ceci nécessite un coût très important, dépendant de la qualité demandée. Le gravage chimique permet certes une certaine réduction de coût par rapport au cas précédent mais qui est toute relative. En effet, rapporté à une longueur donnée, le coût d'un canal d'un échangeur à plaques réalisé par gravage chimique est supérieur à celui d'un échangeur à tubes.

[0022] Plusieurs solutions techniques permettent de fabriquer des échangeurs de chaleur compacts constitués de plaques en utilisant différentes techniques telles que le brasage, comme décrit par exemple dans la demande internationale WO 2008/087526 A2, ou le soudage diffusion, comme décrit par exemple dans le document intitulé « Fusion reactor first wall fabrication techniques », G. Le Marois et al, Fusion Engineering and Design pages 61-62 (2002) 103-110 Elsevier Science B.V ou encore la demande internationale WO 2006/067349 A1. Cependant, ces techniques sont laborieuses, onéreuses et difficiles à mettre en oeuvre dans

la majorité des cas.

[0023] Un autre inconvénient majeur des échangeurs compacts à plaques soudées par diffusion est le manque de versatilité des éléments les constituant. En effet, la gravure des rainures sur une ou sur les deux faces des plaques impose la géométrie des canaux avec très peu de possibilités de modification lors de l'assemblage. Ainsi, un dessin de rainure donné conditionne fortement la géométrie des circuits de fluide de l'échangeur. La seule possibilité de modifier cette géométrie (longueur de canaux, dimensions latérales, etc.) est de fabriquer d'autres plaques, ce qui représente généralement un coût supplémentaire en conception (CAO), essais de validation, contrôle.

[0024] La plupart des inventions répertoriées à ce jour concernant les échangeurs compacts fabriqués à partir de plaques n'exposent pas clairement les moyens utilisés pour aligner les plaques entre elles.

[0025] Pour les échangeurs utilisant des plaques parallélépipédiques, ces dernières sont souvent ajustées les unes par rapport aux autres en utilisant les tubulures d'admission et/ou d'extraction des fluides, comme décrit par exemple dans les demandes internationales WO 2005/073658 A1 et WO 01/07857 A1. Dans de rares cas, les inventions donnent quelques indications de systèmes de motifs sur le pourtour des plaques rectangulaires pour aligner les circuits de fluides entre eux, comme par exemple dans les demandes internationales WO 98/55812 A1 et WO 2013/43263 A1, ou encore dans le brevet américain US 6,511,759 B1.

[0026] Pour les échangeurs ayant une forme finale cylindrique, dans lesquels les plaques sont des disques, ces dernières sont alignées soit par un trou central, comme décrit par exemple dans la demande de brevet allemand DE 100 31 347 A1, soit par un conteneur cylindrique mis en place autour de l'échangeur, comme décrit par exemple dans le brevet américain US 5,298,337 A. Des motifs sont quelquefois réalisés au préalable dans les plaques. Ces derniers servent, dans la majorité des cas, à des fixations a posteriori de la fabrication de l'échangeur sans qu'un rôle explicite ne leur soit attribué pour ce qui est de l'alignement des plaques entre elles, comme décrit par exemple dans la demande internationale WO 2008/087526 A2.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0027] L'invention a ainsi pour but de remédier au moins partiellement aux besoins mentionnés précédemment et aux inconvénients relatifs aux réalisations de l'art antérieur, et notamment à ceux inhérents aux procédés de fabrication d'échangeurs de chaleur à au moins deux circuits de fluide cités précédemment.

[0028] L'invention a ainsi pour objet, selon l'un de ses aspects, un procédé de fabrication d'au moins un échangeur de chaleur à plaques à au moins deux circuits de fluide, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- a) formation d'une pluralité de plaques constitutives de l'échangeur de chaleur, chaque plaque comportant un motif creusé appelé « motif de référence »,
- b) formation d'un ou plusieurs motifs creusés, comprenant le motif de référence, appelés « motifs d'alignement » sur chaque plaque par répétition circulaire du motif de référence autour d'un axe de révolution de la plaque, les axes de révolution des plaques étant confondus,
- c) formation d'une pluralité de rainures, destinées à former les canaux de circulation des fluides de l'échangeur à plaques, sur chaque plaque, les rainures comprenant au moins une première pluralité de rainures pour le premier circuit de fluide et une deuxième pluralité de rainures pour le deuxième circuit de fluide,

et en ce qu'il comporte en outre les étapes successives suivantes :

- d) assemblage des plaques par superposition les unes par rapport aux autres, chaque motif de référence d'une première plaque étant superposé à un motif d'alignement d'une deuxième plaque adjacente à la première plaque,
- e) réalisation d'un traitement d'assemblage sur l'assemblage obtenu à l'issue de l'étape d) précédente par soudage-diffusion, par brasage et/ou par brasage-diffusion.

[0029] Par « brasage-diffusion », on entend la définition usuelle pour l'Homme du métier, telle qu'explicitée dans l'article « Assemblage par diffusion (soudage ou brasage) », Yves BIENVENU, Techniques de l'Ingénieur, Référence BM 7747, 10 octobre 2010.

[0030] Par ailleurs, par l'expression « motif creusé », il faut comprendre que le motif peut présenter une forme en creux, traversante ou non, voire partiellement traversante, par exemple une ouverture ou une forme emboutie. Le motif creusé peut ainsi être obtenu par différentes techniques, notamment telles que par un procédé de déformation de la matière sans enlèvement de matière, comme l'emboutissage, et/ou par un procédé de réalisation du motif par enlèvement de matière, comme l'usinage, la découpe laser, la gravure photochimique, etc.

[0031] Grâce à l'invention, il est possible d'obtenir plusieurs avantages significatifs par rapport aux traditionnels échangeurs de chaleur à plaques à au moins deux circuits de fluide. L'invention permet en effet à la fois de réduire de manière conséquente les coûts de fabrication des échangeurs de chaleur et de rendre plus versatile une géométrie de plaque constitutive de ces échangeurs ou un jeu de plaques avec des dessins différents. En effet, le principe des « motifs d'alignement » permet de réaliser différentes configurations d'échangeurs de chaleur, c'est-à-dire de longueurs et de dessins complets des circuits de fluide différents, en utilisant les mêmes jeux de plaques, réalisés grâce à l'invention. Le coût est

ainsi réduit car les plaques « génériques » peuvent être réalisées en grande quantité et une simple modification de la méthodologie de montage des plaques les unes sur les autres peut changer la morphologie des canaux de fluide de manière importante.

[0032] Le procédé de fabrication selon l'invention peut en outre comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes prises isolément ou suivant toutes combinaisons techniques possibles.

[0033] Le motif de référence peut être ou non traversant. De même, le ou les motifs d'alignement, comprenant le motif de référence, peuvent être ou non traversants.

[0034] Les axes de révolution des plaques prennent avantageusement chacun comme centre de rotation un point virtuel situé sur la surface de la plaque considérée, appelé « centre de rotation », et comme axe de rotation la normale à ladite plaque passant par le centre de rotation. L'axe de révolution d'une plaque peut notamment correspondre à son axe de symétrie centrale.

[0035] De façon avantageuse encore, la distance entre le centre de chaque motif d'alignement, y compris le motif de référence, et le centre de rotation de la plaque portant ces motifs d'alignement est identique pour toutes les plaques de l'échangeur de chaleur.

[0036] De façon avantageuse également, les motifs d'alignement permettent une indexation des plaques les unes par rapport aux autres.

[0037] Les rainures, destinées à la circulation des fluides, peuvent être ou non traversantes. En particulier, elles peuvent être réalisées par gravure non traversante et/ou par découpe traversante. Les rainures peuvent être ou non réalisées par répétition circulaire d'un angle de répétition différent ou non de l'angle de répétition des motifs d'alignement autour des axes de révolution des plaques.

[0038] En outre, la réalisation des rainures peut être effectuée simultanément à ou indépendamment de la réalisation des motifs d'alignement, comprenant le motif de référence, sur chaque plaque.

[0039] Par ailleurs, les plaques constitutives de l'échangeur de chaleur peuvent comporter des dessins de rainures identiques ou différents pour toutes les plaques.

[0040] Les plaques peuvent ou non présenter les mêmes dimensions transversales et/ou la même épaisseur.

[0041] Les motifs d'alignement, comprenant le motif de référence, peuvent par exemple présenter une section transversale de forme circulaire ou polygonale, par exemple triangulaire, carrée, rectangulaire, pentagonale, hexagonale, entre autres.

[0042] Par ailleurs, l'étape d) d'assemblage des plaques peut comporter les sous-étapes successives suivantes :

- i) disposer une première plaque sur un support,
- ii) superposer une deuxième plaque à la première plaque en faisant coïncider le motif de référence de

la deuxième plaque avec un motif d'alignement de la première plaque,

iii) placer un outillage d'alignement au niveau des motifs coïncidant formés par le motif de référence de la deuxième plaque et le motif d'alignement de la première plaque, l'outillage d'alignement permettant de maintenir la coïncidence desdits motifs,

iv) éventuellement, placer un autre outillage d'alignement au niveau de deux autres motifs coïncidant formés par un motif d'alignement de la première plaque et un motif d'alignement de la deuxième plaque, superposés entre eux et différents des motifs utilisés à l'étape ii),

v) superposer N plaques, N étant un nombre entier supérieur ou égal à 1, à la deuxième plaque, chaque N^{ième} plaque étant superposée par coïncidence de son motif référence à un motif d'alignement de la plaque avec laquelle elle est superposée selon le principe de l'étape ii), et par utilisation d'au moins un outillage d'alignement selon le principe de l'étape iii).

[0043] Lors de l'étape ii) ci-dessus, le motif de référence de la deuxième plaque peut être superposé avec un motif d'alignement de la première plaque qui peut être soit le motif de référence de la première plaque, soit un autre motif d'alignement différent du motif de référence. De façon avantageuse, la superposition est effectuée de sorte à permettre la circulation desdits au moins deux fluides depuis les canaux de la première plaque vers les canaux de la deuxième plaque.

[0044] Après positionnement de l'outillage d'alignement au niveau des motifs coïncidant, il est avantageux d'obtenir des axes de révolution de la première plaque et de la deuxième plaque qui soient colinéaires. Aussi, afin de faciliter le montage des plaques entre elles et d'obtenir cette colinéarité des axes de révolution, il est préférable de mettre en oeuvre l'étape iv) utilisant au moins deux outillages d'alignement.

[0045] Lors de l'étape ii) ou de l'étape v), notamment dans le cas de l'utilisation de plaques de géométrie identique, il peut être possible de faire coïncider la face du dessus de la N^{ième} plaque avec la face du dessous de la (N+1)^{ième} plaque ou de faire coïncider la face du dessus de la N^{ième} plaque avec la face du dessus de la (N+1)^{ième} plaque, par retournement de la (N+1)^{ième} plaque. Ceci peut dépendre de la géométrie des canaux des plaques de l'échangeur de chaleur et/ou de la géométrie finale désirée des canaux.

[0046] Le ou les outillages d'alignement peuvent présenter une dimension transversale, notamment un diamètre, sensiblement égale à la dimension transversale, notamment le diamètre, des motifs d'alignement des plaques.

[0047] Le ou les outillages d'alignement peuvent notamment présenter une section transversale de forme semblable à celle des motifs d'alignement, par exemple circulaire ou polygonale.

[0048] La longueur d'un outillage d'alignement est

avantageusement supérieure ou égale à la longueur totale des plaques assemblées ensemble, à savoir à l'issue de l'étape d).

[0049] De façon avantageuse, le ou les outillages d'alignement présentent une forme adéquate pour permettre d'aligner au moins deux plaques entre elles. Le ou les outillages d'alignement peuvent notamment présenter une forme cylindrique.

[0050] L'étape e) de réalisation d'un traitement d'assemblage peut comporter le soudage-diffusion et/ou le brasage-diffusion, notamment par la technique de compression isostatique à chaud (CIC) et/ou par la technique de compression uniaxiale à chaud (CUC).

[0051] En variante, l'étape e) de réalisation d'un traitement d'assemblage peut comporter le brasage.

[0052] En outre, l'angle de la répétition circulaire, appelé « angle de rotation », du motif de référence de chaque plaque autour de l'axe de révolution considéré de la plaque peut être identique pour toutes les plaques.

[0053] En variante, l'angle de la répétition circulaire, appelé « angle de rotation », du motif de référence de chaque plaque autour de l'axe de révolution considéré de la plaque peut être différent pour au moins deux des plaques, notamment la totalité des plaques. Dans ce cas, la valeur de chaque angle de rotation du motif de référence pour former un ou plusieurs motifs d'alignement est avantageusement un multiple entier de la valeur de l'angle de rotation le plus petit parmi l'ensemble des angles de rotation formant les motifs d'alignement.

[0054] Par ailleurs, le procédé peut être mis en oeuvre pour la fabrication d'une pluralité de modules élémentaires d'échangeur de chaleur à plaques, chaque module élémentaire d'échangeur de chaleur à plaques étant obtenu par le biais des étapes a) à e), et le procédé peut alors comporter l'étape suivante :

f) fabrication d'un échangeur de chaleur à plaques par combinaison des modules élémentaires d'échangeur de chaleur à plaques entre eux.

[0055] Les modules élémentaires destinés à être combinés entre eux pour former un échangeur de chaleur de plus grande taille peuvent être identiques ou différents les uns des autres, par exemple par alternance de plaques différentes. Les modules élémentaires peuvent par ailleurs être combinés en série ou en parallèle en connectant les canaux d'un module aux canaux d'un autre module. L'étanchéité pour finaliser l'assemblage de l'échangeur de chaleur à plaques ainsi formé peut être réalisée par soudage-diffusion, par brasage et/ou par brasage-diffusion, ou bien encore par des techniques de soudure plus conventionnelles telles que par soudage laser ou soudage TIG ou encore par ajout de joints écrasés par un bridage mécanique.

[0056] La réalisation de modules élémentaires présente l'avantage de pouvoir fabriquer et stocker des modules élémentaires, puis de pouvoir réaliser des échangeurs de chaleur sur mesure suivant les exigences demandées

sur ces échangeurs de chaleur.

[0057] De plus, les plaques peuvent toutes présenter une forme identique. En variante, les plaques peuvent présenter des formes différentes.

[0058] Les formes des plaques peuvent être de différents types, par exemple circulaire ou polygonale, par exemple triangulaire, carrée, rectangulaire, pentagonale, hexagonale, entre autres.

[0059] Les plaques peuvent être réalisées en métal, notamment en acier inoxydable.

[0060] De plus, chaque plaque peut comporter un élément de repérage pour permettre de connaître la position dudit au moins un motif de référence de la plaque.

[0061] L'élément de repérage peut se présenter sous la forme d'une encoche réalisée à la périphérie de la plaque.

[0062] Par ailleurs, l'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, un échangeur de chaleur à plaques à au moins deux circuits de fluide, caractérisé en ce qu'il peut être obtenu au moyen du procédé tel que défini précédemment.

[0063] Le procédé de fabrication et l'échangeur de chaleur à plaques selon l'invention peuvent comporter l'une quelconque des caractéristiques énoncées dans la description, prises isolément ou selon toutes combinaisons techniquement possibles avec d'autres caractéristiques.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0064] L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre, d'exemples de mise en oeuvre non limitatifs de celle-ci, ainsi qu'à l'examen des figures, schématiques et partielles, du dessin annexé, sur lequel :

- la figure 1 représente une vue isométrique d'un exemple de plaque métallique circulaire d'un échangeur de chaleur à plaques à deux circuits de fluide conforme à un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 1A est une vue de détails selon A de la plaque de la figure 1,
- les figures 1B et 1C sont des vues de détails selon B' de la plaque de la figure 1 vue de dessus, différemment référencées,
- la figure 2 représente, schématiquement en perspective, un exemple d'outillage d'alignement de l'échangeur de chaleur à plaques conforme au premier mode de réalisation de l'invention, constitué d'une pluralité de plaques selon la figure 1,
- la figure 3 représente une vue en négatif des motifs d'alignement de la plaque de la figure 1, ainsi que d'une rangée de rainures du premier fluide et d'une rangée de rainures du deuxième fluide,
- les figures 4A et 4B représentent, partiellement en perspective, un cas d'échangeur de chaleur conforme au premier mode de réalisation de l'invention

dans lequel le motif de référence d'une plaque supérieure est aligné avec celui de la plaque inférieure, l'axe de rotation de la plaque supérieure étant également aligné avec l'axe de rotation de la plaque inférieure, la figure 4B permettant de visualiser en transparence partielle la plaque inférieure,

- la figure 5 représente une vue en négatif, semblable à celle de la figure 3, illustrant la configuration des figures 4A et 4B,
- la figure 5A est une vue de l'assemblage de la figure 5 suivant le plan C',
- les figures 6A et 6B représentent, partiellement en perspective, un cas d'échangeur de chaleur conforme au premier mode de réalisation de l'invention dans lequel le motif de référence d'une plaque supérieure est décalé à droite (rotation horaire d'un pas) du motif de référence de la plaque inférieure, l'axe de rotation de la plaque supérieure étant aligné avec l'axe de rotation de la plaque inférieure, la figure 5B permettant de visualiser en transparence partielle la plaque inférieure,
- la figure 7 représente une vue en négatif, semblable à celle de la figure 3, illustrant la configuration des figures 5A et 5B,
- la figure 7A est une vue de l'assemblage de la figure 7 suivant le plan D,
- la figure 8 représente une vue en négatif, semblable à celle de la figure 3, dans le cas d'un échangeur de chaleur conforme au premier mode de réalisation de l'invention dans lequel on effectue un décalage des motifs de référence lors de l'empilement des plaques en effectuant trois rotations horaires d'un pas, puis trois rotations antihoraires d'un pas, le tout sur 21 plaques, les axes de rotation de l'ensemble des plaques étant tous colinéaires,
- la figure 8A est une vue de l'assemblage de la figure 8 suivant le plan E,
- la figure 9 représente une vue isométrique d'un exemple de première plaque métallique hexagonale d'un échangeur de chaleur à plaques à deux circuits de fluide conforme à un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 9A est une vue partielle de dessus de la figure 9,
- la figure 9B est une vue rapprochée du centre de la figure 9,
- la figure 10 représente une vue isométrique d'une deuxième plaque intermédiaire de l'échangeur de chaleur à plaques conforme au deuxième mode de réalisation de l'invention, permettant de faire la liaison entre deux plaques du type de celle présentée sur la figure 9,
- la figure 10A est une vue partielle de dessus de la figure 10,
- la figure 11 représente une vue isométrique d'une troisième plaque de l'échangeur de chaleur à plaques conforme au deuxième mode de réalisation de l'invention, permettant de former une première pla-

- que de fermeture,
- la figure 12 représente une vue isométrique d'une quatrième plaque de l'échangeur de chaleur à plaques conforme au deuxième mode de réalisation de l'invention, permettant de former une deuxième plaque de fermeture,
- la figure 13 représente, schématiquement en perspective, un exemple d'outillage d'alignement de l'échangeur de chaleur à plaques conforme au deuxième mode de réalisation de l'invention, constitué des plaques des figures 9, 10, 11 et 12,
- la figure 14 représente une vue éclatée d'un échangeur de chaleur conforme au deuxième mode de réalisation de l'invention, ou un module élémentaire d'un échangeur de chaleur conforme au deuxième mode de réalisation de l'invention, constitué des plaques des figures 9, 10, 11 et 12,
- la figure 14A représente l'empilement de la figure 14 selon une vue assemblée, montrant l'orientation des plaques les unes par rapport aux autres,
- la figure 15 représente l'échangeur de chaleur conforme au deuxième mode de réalisation de l'invention, ou le module élémentaire d'un échangeur de chaleur conforme au deuxième mode de réalisation de l'invention, de la figure 14, après les étapes de fabrication et d'usinage finales,
- la figure 16 représente une vue en négatif des motifs d'alignement et rainures de la figure 9,
- la figure 17 représente la superposition de deux plaques de la figure 9, l'une étant inversée par rapport à l'autre, vues en négatif, et
- la figure 17A représente une vue en négatif de l'empilement de la figure 17 avec la plaque de la figure 10.

[0065] Dans l'ensemble de ces figures, des références identiques peuvent désigner des éléments identiques ou analogues.

[0066] De plus, les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Exemple 1

[0067] En référence aux figures 1 à 8A, on va décrire ci-après un premier mode de réalisation d'un échangeur de chaleur 50 à plaques comprenant deux circuits de fluide C1 et C2, respectivement constitués de 130 canaux et de 150 canaux.

[0068] Dans ce premier mode de réalisation de l'invention, le procédé de fabrication de l'échangeur de chaleur 50 met en oeuvre un assemblage d'une pluralité de plaques 10, telle que celle représentée sur la figure 1, par soudage par diffusion obtenu par la technique de Compression Isostatique à Chaud (CIC).

[0069] Dans cet exemple, l'échangeur de chaleur 50

comporte une pluralité de plaques 10 toutes identiques et semblables à celle représentée sur la figure 1.

[0070] Ainsi, la plaque 10, représentée sur la figure 1, a une forme de disque de diamètre $d1$ et d'épaisseur $e1$. Elle comporte, sur sa périphérie, une pluralité de motifs d'alignement 11, en l'occurrence 130 motifs d'alignement 11 incluant le motif de référence 11a, ainsi qu'une pluralité de rainures 12 entre ces motifs d'alignement 11 et l'axe de révolution central X.

[0071] La figure 1A est une vue de détails selon A de la plaque 10 de la figure 1, permettant de mieux visualiser les motifs d'alignement 11 de la plaque 10.

[0072] Ainsi, chaque motif d'alignement 11 présente une forme de disque traversant la plaque 10 et présentant un diamètre $d2$.

[0073] Afin de pouvoir repérer le motif de référence 11a par rapport aux autres motifs d'alignement 11 de la plaque 10, une encoche 13, formant un élément de repérage 13, a été réalisée à la périphérie de la plaque 10 au niveau du motif de référence 11a.

[0074] Par ailleurs, les figures 1B et 1C sont des vues de détails selon B' de la plaque 10 de la figure 1 vue de dessus.

[0075] La figure 1B fait ainsi apparaître les rainures 121 du fluide C1 et les rainures 122 du fluide C2. Par rapport au centre O de la plaque 10, situé sur l'axe de révolution central X, le premier anneau de rainures 121 du fluide C1 commence à une distance $r'1$ du centre O et se termine à une distance $r'2$ du centre O, de sorte que l'épaisseur de ce premier anneau soit égale à $r'2 - r'1$. Le premier anneau de rainures 122 du fluide C2 commence quant à lui à une distance $r'3$ du centre O et se termine à une distance $r'4$ du centre O, de sorte que l'épaisseur de ce premier anneau soit égale à $r'4 - r'3$.

[0076] Ainsi, la séparation entre le premier anneau de rainures 121 du fluide C1 et le premier anneau de rainures 122 du fluide C2 est égale à $r'1 - r'4$. Alors, les rainures suivantes 121 et 122 des fluides C1 et C2 sont disposées en anneaux concentriques successifs.

[0077] Il est ainsi à noter que, dans ce premier exemple de réalisation de l'invention, les rainures 12, comprenant les rainures 121 et 122, sont des morceaux d'anneau présentant deux bords opposés en arc de cercle dont le centre est le centre O de la plaque 10, les deux autres bords opposés étant droits et alignés suivant un rayon de la plaque 10. Les motifs d'alignement 11 sont quant à eux situés sur un cercle de centre O et de rayon $R3$, comme représenté sur la figure 1B.

[0078] En outre, la figure 1C représente les angles $\theta1$, $\theta2$, $\theta2'$ et $\theta3$ des répétitions circulaires des motifs d'alignement 11 et des rainures 12.

[0079] Ainsi, en partant du centre O de la plaque 10, les rainures 121 du fluide C1 se répètent avec un angle $\theta1$ et les rainures 122 du fluide C2 se répètent avec un angle $\theta2 + \theta2'$. Pour ce qui est des motifs d'alignement 11, ils se répètent avec un angle $\theta3$.

[0080] La figure 2 représente quant à elle, schématiquement en perspective, un exemple d'outillage d'aligne-

ment 20 de l'échangeur de chaleur 50 à plaques 10 conforme au premier mode de réalisation de l'invention.

[0081] Ainsi, afin de permettre l'alignement des plaques 10 entre elles, une pluralité d'outillages d'alignement 20 est utilisée, chacun étant sous la forme d'une tige cylindrique 20 de diamètre nominal d2 égal à celui des motifs d'alignement 11 et de longueur L1, comme visible sur la figure 2.

[0082] A titre d'exemples non limitatifs, chaque plaque 10 peut être en métal, notamment en acier inoxydable, par exemple du type X2CrNiMo17-12-02 1.4404 selon la norme européenne EN 10027, avec une épaisseur e1 de l'ordre de 0,5 mm pour un diamètre d1 de l'ordre de 100 mm.

[0083] Les motifs d'alignement 11 et/ou les rainures 12 peuvent être réalisés par découpe Laser et, sauf indication contraire, les tolérances sur les dimensions finales peuvent être de l'ordre de $\pm 0,05$ mm. De plus, les motifs d'alignement 11, ici au nombre de 130, peuvent présenter un diamètre d2 de l'ordre de 2 mm, étant répartis sur un cercle de diamètre égal à environ 96 mm, l'angle $\theta 3$ étant égal à $(360/130)^\circ$.

[0084] Par ailleurs, pour le premier anneau de rainures 122 du fluide C2, les distances r'3 et r'4 peuvent respectivement être égales à environ 5 mm et 8 mm, soit une épaisseur d'environ 3 mm. Les cinq anneaux de rainures 122 du fluide C2 ont avantageusement tous une épaisseur d'environ 3 mm.

[0085] En outre, pour le premier anneau de rainures 121 du fluide C1, les distances r'1 et r'2 peuvent respectivement être égales à environ 9 mm et 13 mm, soit une épaisseur d'environ 4 mm. Les quatre anneaux de rainures 121 du fluide C1 ont avantageusement tous une épaisseur d'environ 4 mm.

[0086] De plus, la séparation entre un anneau de rainures 121 du fluide C1 et un anneau de rainures 122 du fluide C2 est préférentiellement identique pour toute la plaque 10, soit $r'1 - r'4 = 1$ mm. Les valeurs des angles de répétition peuvent alors être telles que $\frac{1}{2} \cdot \theta 1 = \theta 2 = \theta 2' = 6^\circ$.

[0087] Afin de mieux visualiser les empilements, ces derniers seront par la suite représentés avec des schémas des plaques 10 vues en « négatif », c'est-à-dire que les rainures 12 et les motifs d'alignement 11 apparaissent en épaisseur alors que le reste est vide.

[0088] Ainsi, à titre d'illustration, la figure 3 représente une vue en négatif des motifs d'alignement 11, formant des canaux 11', de la figure 1 avec une rangée de rainures 121 du fluide C1, formant des canaux 121', et une rangée de rainures 122 du fluide C2, formant des canaux 122', comportant les caractéristiques géométriques décrites précédemment.

[0089] Il va alors être présenté ci-après, en référence aux figures 4A à 8, différents sous-exemples d'assemblage des plaques 10 selon le procédé de fabrication de l'invention, pour obtenir diverses configurations d'échangeurs de chaleur 50.

[0090] On considère que chaque échangeur de cha-

leur 50 obtenu est formé par l'assemblage de 21 plaques 10 identiques superposées entre elles, avec les caractéristiques géométriques décrites précédemment. Ainsi, la longueur totale L de ces échangeurs de chaleur 50 après fabrication est d'environ 10, 5 mm.

[0091] Dans le premier sous-exemple décrit en référence aux figures 4A à 5A, l'ensemble des motifs de référence 11a des plaques 10 qui constituent l'empilement formant l'échangeur de chaleur 50 sont alignés les uns avec les autres. Les figures 4A et 4B permettent de visualiser ce premier sous-exemple où seule la superposition de deux plaques 10 est représentée pour des raisons de clarté.

[0092] Alors, une fois l'empilement terminé, les canaux 11a' formés par les motifs de référence 11a sont tous alignés, comme l'illustre la figure 5A, et par conséquent, les canaux 121' du fluide C1 et les canaux 122' du fluide C2 formés respectivement par empilement des rainures 121 et 122 sont tous orientés verticalement, comme l'illustre la figure 5.

[0093] Dans le deuxième sous-exemple décrit maintenant en référence aux figures 6A à 7A, l'ensemble des motifs de référence 11a des plaques 10 qui constituent l'empilement formant l'échangeur de chaleur 50 sont décalés d'un angle $\theta 3$ dans le sens horaire (plaque inférieure par rapport à celle située au-dessus dans l'assemblage). Les figures 6A et 6B permettent de visualiser ce deuxième sous-exemple où seule la superposition de deux plaques 10 est représentée pour des raisons de clarté.

[0094] Alors, une fois l'empilement terminé, les canaux 121' et 122' formés par les rainures 121 du fluide C1 et 122 du fluide C2 forment des marches d'escalier dans un même sens de rotation, comme illustré sur la figure 7. En observant alors l'empilement suivant le plan D, comme selon la figure 7A, le canal 11a' formé par le motif de référence 11a d'une plaque 10 se retrouve superposé avec les canaux 11' des motifs d'alignement 11 de l'ensemble des plaques 10 du montage mais décalé d'un pas d'angle $\theta 3$ par rapport à la plaque supérieure et/ou inférieure.

[0095] Dans le troisième sous-exemple décrit à présent en référence aux figures 8 et 8A, tout comme pour le deuxième sous-exemple, on procède à un empilement des plaques 10 avec un décalage des motifs de référence 11a selon une séquence répétée du type $\theta 3$, $\theta 3$, $-\theta 3$, $-\theta 3$, etc... Cette alternance de décalages suivant le sens horaire et le sens antihoraire permet d'obtenir un empilement de 21 plaques 10 tel que représenté sur les figures 8 et 8A, présentant des vues respectivement semblables à celles des figures 7 et 7A.

[0096] Il est à noter que les trois sous-exemples décrits précédemment ne sont présentés qu'à titre d'illustration et de manière non limitative pour l'invention. Les combinaisons d'empilement des plaques 10 pour obtenir des échangeurs de chaleur 50, ainsi que le nombre de ces plaques 10, permettent de réaliser un très grand nombre d'assemblages différents. En particulier, on constate que

les caractéristiques des canaux que l'on peut obtenir avec un seul type de plaque 10 sont très variées. Dans les trois sous-exemples décrits, les longueurs de canal sont différentes de même que les sections de passage. On peut apporter aux canaux une complexité géométrique apte à améliorer l'efficacité des échanges thermiques en apportant de la turbulence. Cette complexité géométrique peut présenter aussi un intérêt pour le mélange dans le cas des réacteurs-échangeurs décrits auparavant.

Exemple 2

[0097] En référence maintenant aux figures 9 à 17A, on va décrire ci-après un deuxième mode de réalisation d'un échangeur de chaleur 50 à plaques comprenant deux circuits de fluide C1 et C2, constitués chacun d'un seul canal.

[0098] Dans ce deuxième mode de réalisation de l'invention, le procédé de fabrication de l'échangeur de chaleur 50 met en oeuvre un assemblage d'une pluralité de plaques 10a, 10a', 10b, 10c, 10d par soudage par diffusion obtenu par la technique de Compression Uniaxiale à Chaud (CUC).

[0099] Dans ce deuxième exemple, contrairement au premier exemple décrit auparavant, l'échangeur de chaleur 50 comporte des plaques 10a, 10a', 10b, 10c et 10d possédant des motifs différents. Plus précisément, l'échangeur de chaleur 50 comporte quatre types de plaques.

[0100] La figure 9 représente le premier modèle de plaque 10a de l'échangeur de chaleur 50.

[0101] Ainsi, la plaque 10a, représentée sur la figure 9, a une forme hexagonale, une épaisseur e_2 et une largeur L_2 , correspondant à la distance entre deux côtés opposés. La plaque 10a comporte six motifs d'alignement 11 à proximité de chaque angle, incluant le motif de référence 11a. le motif de référence 11a est repéré par le biais d'un détrompeur 13, formant un élément de repérage 13. Par ailleurs, une pluralité de rainures 12 est formée sur la plaque 10a autour de l'axe de révolution central X. Ces rainures 12 comprennent des rainures 121 pour le fluide C1 et des rainures 122 pour le fluide C2.

[0102] La figure 9A présente une vue de dessus de la moitié de la plaque 10a de la figure 9. Sur cette figure 9A, on s'aperçoit que le détrompeur 13 se présente sous la forme d'une encoche 13 en forme de losange dans le coin portant le motif de référence 11a. Le motif de référence 11a, comme les autres motifs d'alignement 11, sont sous la forme de motifs cylindriques traversant de diamètre d_3 , et sont situés à une distance d_4 du bord de la plaque 10a.

[0103] De plus, les rainures 121 et 122 présentent une forme identique, à savoir une forme de lumière droite traversante avec des extrémités circulaires d'un diamètre égal à la largeur du canal.

[0104] En prenant comme référence le triangle de matière entre le centre O de la plaque 10a et deux sommets

B et C consécutifs de la plaque 10a, à savoir le triangle équilatéral OBC représenté sur la figure 9A, les rainures 122 sont percées parallèlement au côté BC en partant de la droite OB jusqu'à la hauteur OH, H étant le milieu du segment BC, et les rainures 121 sont percées parallèlement au côté BC en partant de la droite OC jusqu'à la hauteur OH. De plus, en partant du centre O de la plaque 10a suivant la droite OH, la première rainure 121 est distante d'une longueur d_1' du centre O de la plaque 10a, la première rainure 122 est distante d'une longueur d_2' de la première rainure 121 et la seconde rainure 121 est distante d'une longueur d_3' de la première rainure 122. La distance entre une rainure 121 et la rainure 122 suivante reste ensuite fixée à d_2' , et entre une rainure 122 et la rainure 121 suivante à d_3' .

[0105] Ces rainures 121 et 122 sont ensuite reproduites par symétrie centrale six fois d'un angle de 60° par rapport à l'axe centrale X de la plaque 10a. Pour la dernière symétrie, les extrémités des rainures 121 et 122 ne se terminent pas suivant la droite OH', comme représenté sur la figure 9A, mais à une distance d_5 de part et d'autre de la droite OH'.

[0106] Par ailleurs, comme on peut le voir sur la figure 9B, les rainures 121 ont une largeur d_6 et les rainures 122 ont une largeur d_7 . Le motif central hexagonal M présente des côtés égaux et une largeur L_3 .

[0107] En référence maintenant aux figures 10 et 10A, on a représenté le second modèle de plaque 10b de l'échangeur de chaleur 50 selon le deuxième mode de réalisation de l'invention.

[0108] Le second modèle de plaque 10b est de même dimension que le premier modèle de plaque 10a, à savoir avec une forme hexagonale à côtés égaux de largeur L_2 . De même, la plaque 10b comporte six motifs d'alignement 11 situés aux coins de l'hexagone, le motif de référence 11a étant repéré par un détrompeur 13 semblable à celui de la plaque 10a, la plaque 10b présentant ici une épaisseur e_3 .

[0109] La figure 10A, vue de dessus de la moitié de plaque 10b de la figure 10, montre que ce modèle de plaque 10b comporte des rainures 12 sous forme circulaire et sous forme oblongue. Tout d'abord, la plaque 10b comporte des rainures 121 de forme circulaire pour le fluide C1 et des rainures 122 de forme circulaire pour le fluide C2. Les rainures 121 ont un diamètre d_6 et les rainures 122 ont un diamètre d_7 . Ces rainures 121 et 122 sont réalisées suivant les diagonales de l'hexagone et suivant les hauteurs OH présentées précédemment en référence à la figure 10A. De plus, l'espacement entre les rainures 121 et 122 est identique à celui des rainures 121 et 122 du premier modèle de plaque 10a hexagonal, à savoir les distances d_1' , d_2' et d_3' .

[0110] Par ailleurs, sur l'un des côtés de l'hexagone, les rainures circulaires sont remplacées par des rainures sous la forme de trous oblongs 123 pour le fluide C1 et 124 pour le fluide C2, respectivement de largeur d_6 et d_7 , centrés suivant la droite OH'. La distance suivant la droite OH' entre deux trous oblongs 123 consécutifs ou

124 consécutifs est de $d2' + d3'$, et la largeur de ces trous 123 et 124 suivant la normale à la droite OH' est de $2 \times d5$.

[0111] On va maintenant décrire en référence aux figures 11 et 12 respectivement, les troisième 10c et quatrième 10d types de plaques utilisées dans l'échangeur de chaleur 50 selon le deuxième mode de réalisation de l'invention.

[0112] Ces deux plaques 10c et 10d présentent les mêmes dimensions que les plaques 10a et 10b précédentes, à savoir une forme d'hexagone à côtés égaux de largeur L2. Les motifs d'alignement 11, incluant le motif de référence 11a, et le détrompeur 13 sont identiques à ceux décrits précédemment pour les plaques 10a et 10b.

[0113] Les épaisseurs respectives des plaques 10c et 10d sont $e4$ et $e5$. De plus, les plaques 10c et 10d comportent également un motif central M hexagonal de largeur L3.

[0114] La plaque 10c comporte une rainure 12, sous la forme d'une rainure circulaire 12a, avec un diamètre $d7$, qui va se superposer à la dernière rainure 122 de la plaque 10a.

[0115] La plaque 10d comporte quant à elle une rainure 12, sous la forme d'une rainure circulaire 12b, de diamètre $d6$, qui va se superposer à la première rainure 122 de la plaque 10a.

[0116] Par ailleurs, la figure 13 représente, schématiquement en perspective, un exemple d'outillage d'alignement 20 de l'échangeur de chaleur 50 à plaques 10a, 10b, 10c, 10d, sous la forme d'un plot d'alignement 13 qui va servir de guide lors du montage. Ce plot d'alignement 13 a la forme d'un cylindre chanfreiné de longueur L3 et de diamètre $d3$.

[0117] A titre d'exemples non limitatifs, chaque plaque 10a, 10b, 10c et 10d peut être en métal, notamment en acier inoxydable, par exemple du type X2CrNiMo17-12-02 1.4404 selon la norme européenne EN 10027, avec une épaisseur $e2 = e3 = e4 = e5$ de l'ordre de 0,5 mm pour une largeur L2 de l'ordre de 84 mm.

[0118] Les motifs d'alignement 11 et/ou les rainures 12 peuvent être réalisés par découpe Laser et, sauf indication contraire, les tolérances sur les dimensions finales peuvent être de l'ordre de $\pm 0,05$ mm. De plus, les motifs d'alignement 11, ici au nombre de 6, peuvent présenter un diamètre $d2$ de l'ordre de 2 mm, étant situés à une distance $d3$ de l'ordre de 2 mm du bord des plaques.

[0119] Par ailleurs, les rainures 121 et 122 peuvent être de largeur respective $d6$ de l'ordre de 1 mm et $d7$ de l'ordre de 1,6 mm. Les dimensions restantes peuvent être les suivantes : $d1' = 2,7$ mm ; $d2' = d3' = 2,3$ mm ; $d5 = 2,6$ mm ; et $L3 = 3,4$ mm.

[0120] La figure 14 représente l'empilement final, selon une vue éclatée, de l'échangeur de chaleur 50 obtenu par le biais d'une plaque 10a, d'une plaque 10b, d'une plaque 10c, d'une plaque 10d et d'une plaque référencée 10a' car elle correspond à une plaque 10a retournée.

[0121] Plus précisément, l'empilement représenté sur

la figure 14 est constitué de bas en haut par une plaque 10c, une plaque 10a, une plaque 10b, une seconde plaque 10a retournée, notée 10a', et une plaque 10d. Ainsi, toutes les plaques sont disposées avec une vue de dessus identique aux figures 9, 10, 11 et 12, sauf pour la seconde plaque 10a'. En effet, pour permettre la formation des canaux à partir des rainures 121 et 122, cette dernière doit être retournée, la face de dessus présentée sur la figure 9 se trouvant en dessous dans l'empilement.

[0122] Les motifs de référence 11a sont donc superposés pour toutes les plaques, hormis la seconde plaque 10a' pour laquelle le détrompeur 13 est alors situé sur un autre sommet de l'empilement hexagonal.

[0123] Le montage est réalisé de sorte que les droites OH' décrites précédemment soient toutes parallèles entre elles. Deux outils d'alignement 20 sont nécessaires afin de conserver l'alignement des plaques entre elles durant la suite de la fabrication.

[0124] On va maintenant décrire la suite de la fabrication de l'échangeur de chaleur 50 à partir de l'empilement de la figure 14A.

[0125] L'étanchéité des plaques les unes par rapport aux autres de l'échangeur de chaleur 50 est réalisée par soudage par diffusion assisté par Compression Uniaxiale à Chaud (CUC).

[0126] Pour cela, il faut disposer d'une presse permettant de travailler à haute température sous vide ou sous gaz neutre.

[0127] Un exemple de procédure de soudage par diffusion assisté par CUC pour les exemples présentés ci-dessus en acier inoxydable 316L est décrit ci-dessous :

- une fois l'empilement des plaques réalisé et correctement alignées les unes par rapport aux autres, l'assemblage est placé entre les deux plateaux de la presse,
- un pompage permet de réaliser un taux de vide suffisant au niveau de l'empilement, soit environ une pression de 10^{-3} mbar minimum ; il est possible également de travailler sous gaz neutre (du type argon, azote) : pour cela, il faut alterner des phases de dégazage et de remplissage afin d'obtenir une atmosphère la plus propre possible,
- l'empilement subit ensuite le cycle de Compression Uniaxiale à Chaud (CUC) qui comprend un chauffage en 3 heures à une température de 1020°C avec une augmentation de charge jusqu'à 10 MPa, un palier de 3 heures à une température de 1020°C sous 10 MPa, puis un refroidissement en plusieurs heures, et enfin un déchargement.

[0128] Bien entendu, cette procédure n'est donnée qu'à titre d'exemple dans des cas précis. Elle n'est aucunement limitative quant aux possibilités de réalisation utilisant cette technique d'assemblage.

[0129] Comme visible sur la figure 15, une fois l'échangeur de chaleur 50 fabriqué en utilisant le soudage par diffusion assisté par Compression Uniaxiale à Chaud

(CUC) dans cet exemple, une encoche 30 est réalisée au centre de la face latérale de l'échangeur de chaleur 50 situé entre les détrompeurs 13 de la plaque 10a' et des plaques 10a, 10b, 10c et 10d.

[0130] En référence aux figures 16, 17 et 17A, comme pour le premier mode de réalisation de l'invention selon la figure 3 par exemple, les plaques 10a, 10a' et 10b sont présentées en négatif pour mieux comprendre l'empilement, les canaux 11' formés par les motifs d'alignement 11, et les canaux 121' et 122' formés par les rainures 121 et 122 étant en relief, le reste des plaques étant transparent.

[0131] La figure 16 présente ainsi la plaque 10a vue en négatif. Lorsque les deux plaques 10a et 10a' sont superposées, la plaque 10a' étant inversée par rapport à l'autre plaque 10a, comme selon la figure 17, les droites OH' étant parallèles, la formation des canaux 121' et 122' à partir des rainures 121 et 122 est visible sur tout le pourtour du montage sauf au niveau de la droite OH'. Ainsi, l'ajout d'une plaque 10b, comme selon la figure 17A, permet de pallier ce problème et de réaliser la continuité des rainures. La présente invention permet ainsi d'utiliser un seul modèle de plaque, à savoir le premier modèle de plaque 10a, dans deux configurations différentes pour réaliser un échangeur de chaleur 50 à plaques.

[0132] Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation qui viennent d'être décrits. Diverses modifications peuvent y être apportées par l'homme du métier.

[0133] En particulier, l'invention peut être appliquée pour la réalisation d'un échangeur de chaleur à plaques à géométrie de canaux évolutive. En particulier, il est possible de faire évoluer la géométrie des canaux de circulation des fluides tout au long de l'échangeur de chaleur. En effet, il est possible de modifier l'angle de répétition θ_3 , ou pas de décalage, des motifs d'alignement 11 sur toute la longueur de l'échangeur de chaleur 50, tant que les rainures 12 d'une plaque sont légèrement en regard de celles des plaques adjacentes pour former un canal. Ceci présente l'avantage dans certains cas d'intensifier les échanges dans certaines zones critiques alors que d'autres ne le nécessitent pas.

[0134] Par ailleurs, la compacité et l'intégrité de l'échangeur de chaleur après fabrication peuvent également être optimisées en intégrant les collecteurs de fluide C1 et C2 circulant dans les canaux formés à partir des rainures 121 et 122 respectivement directement pendant les phases de montage de l'échangeur de chaleur.

[0135] Par ailleurs, les motifs creusés représentés dans les exemples décrits ci-dessus correspondent à des creux traversants formés notamment par enlèvement de matière. En variante, les motifs creusés peuvent aussi correspondre, en totalité ou partiellement, à des creux formés sans enlèvement de matière, par exemple par emboutissage. Au moins un canal continu peut alors être formé par superposition d'au moins deux plaques comportant de tels motifs creusés emboutis, l'une des pla-

ques étant retournée par rapport à l'autre et le cas échéant décalée d'un angle prédéterminé par rapport à l'autre pour mettre les motifs creusés emboutis en superposition au moins partielle.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'au moins un échangeur de chaleur (50) à plaques (10 ; 10a-10d) à au moins deux circuits de fluide (C1, C2), **caractérisé en ce qu'il** comporte les étapes suivantes :

- a) formation d'une pluralité de plaques (10 ; 10a-10d) constitutives de l'échangeur de chaleur (50), chaque plaque (10 ; 10a-10d) comportant un motif creusé appelé « motif de référence » (11a),
- b) formation d'un ou plusieurs motifs creusés, comprenant le motif de référence (11a), appelés « motifs d'alignement » (11) sur chaque plaque (10 ; 10a-10d) par répétition circulaire du motif de référence (11a) autour d'un axe de révolution (X) de la plaque (10 ; 10a-10d), les axes de révolution (X) des plaques (10 ; 10a-10d) étant confondus,
- c) formation d'une pluralité de rainures (12), destinées à former les canaux de circulation des fluides (C1, C2) de l'échangeur à plaques (50), sur chaque plaque (10 ; 10a-10d), les rainures (12) comprenant au moins une première pluralité de rainures (121) pour le premier circuit de fluide (C1) et une deuxième pluralité de rainures (122) pour le deuxième circuit de fluide (C2),

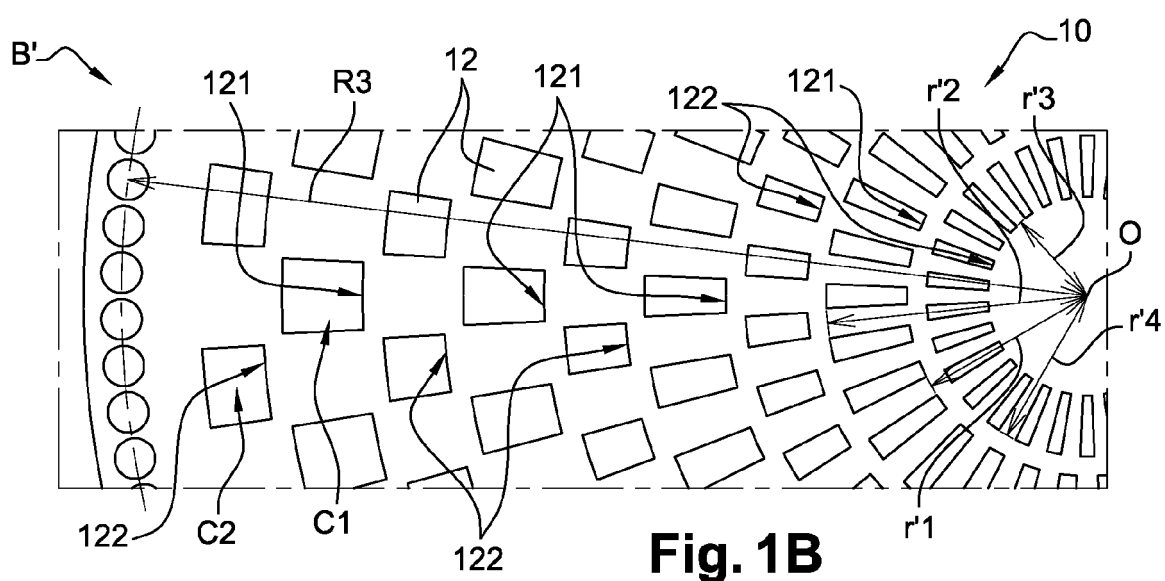
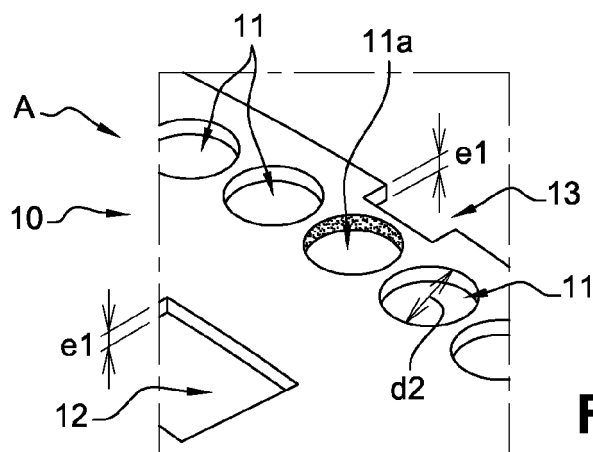
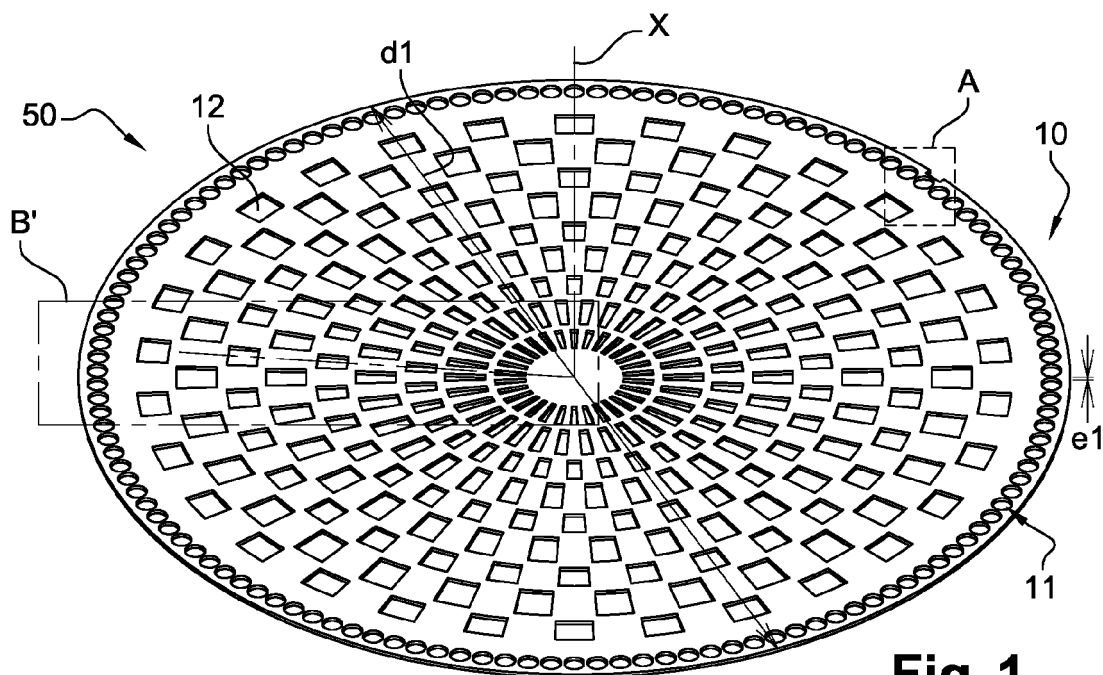
et en ce qu'il comporte en outre les étapes successives suivantes :

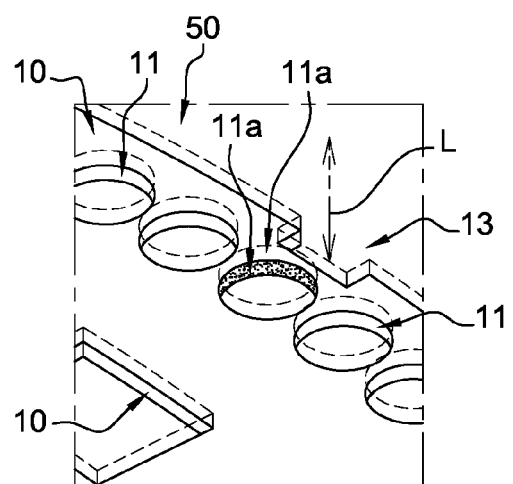
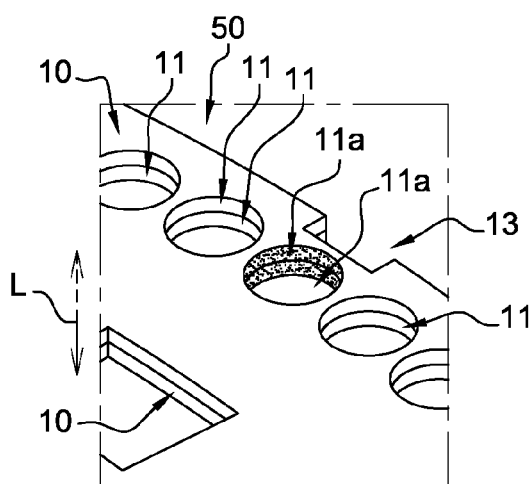
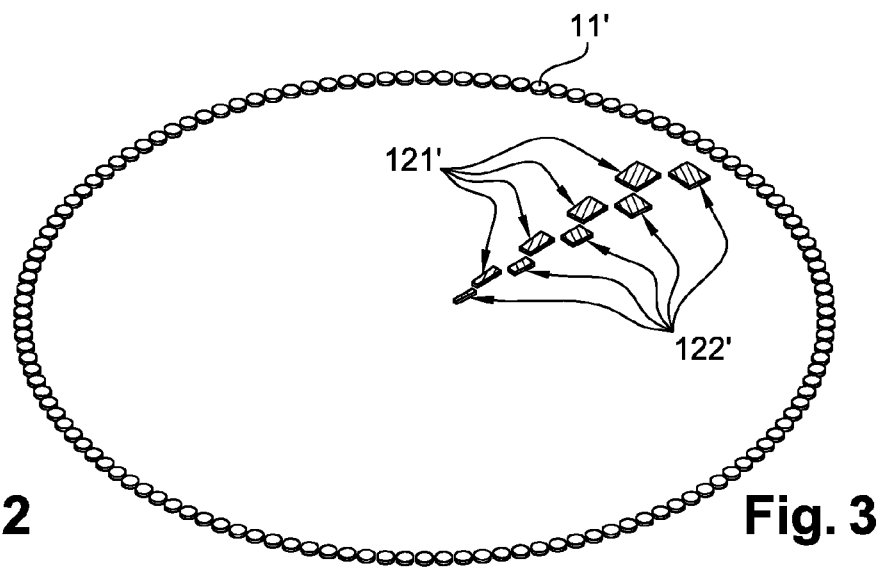
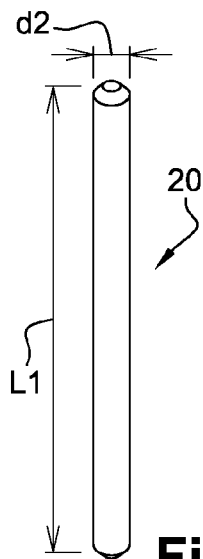
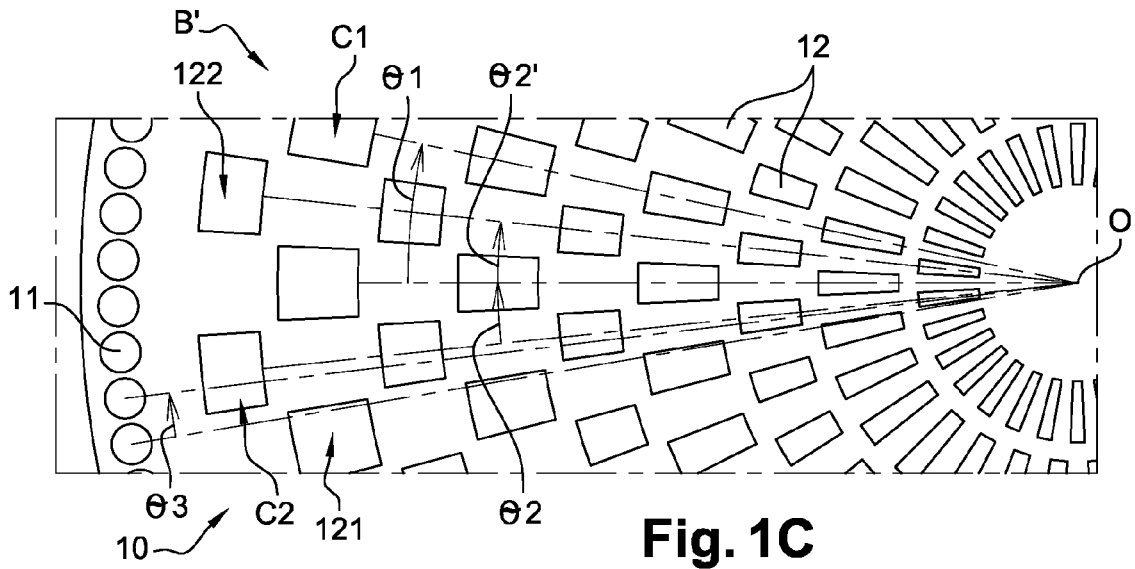
- d) assemblage des plaques (10 ; 10a-10d) par superposition les unes par rapport aux autres, chaque motif de référence (11a) d'une première plaque étant superposé à un motif d'alignement (11) d'une deuxième plaque adjacente à la première plaque,
- e) réalisation d'un traitement d'assemblage sur l'assemblage obtenu à l'issue de l'étape d) précédente par soudage-diffusion, par brasage et/ou par brasage-diffusion.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'étape d) d'assemblage des plaques (10 ; 10a-10d) comporte les sous-étapes successives suivantes :

- i) disposer une première plaque (10 ; 10c) sur un support,
- ii) superposer une deuxième plaque (10 ; 10a) à la première plaque (10 ; 10c) en faisant coïn-

- cider le motif de référence (11a) de la deuxième plaque (10 ; 10a) avec un motif d'alignement (11) de la première plaque (10 ; 10c),
 iii) placer un outillage d'alignement (20) au niveau des motifs coïncidant formés par le motif de référence (11a) de la deuxième plaque (10 ; 10a) et le motif d'alignement de la première plaque (10 ; 10c), l'outillage d'alignement (20) permettant de maintenir la coïncidence desdits motifs (11a, 11),
 iv) éventuellement, placer un autre outillage d'alignement (20) au niveau de deux autres motifs coïncidant formés par un motif d'alignement (11) de la première plaque (10 ; 10c) et un motif d'alignement (11) de la deuxième plaque (10 ; 10a), superposés entre eux et différents des motifs utilisés à l'étape ii),
 v) superposer N plaques (10 ; 10b, 10a', 10d), N étant un nombre entier supérieur ou égal à 1, à la deuxième plaque (10 ; 10a), chaque N^{ième} plaque (10 ; 10b, 10a', 10d) étant superposée par coïncidence de son motif référence (11a) à un motif d'alignement (11) de la plaque avec laquelle elle est superposée selon le principe de l'étape ii), et par utilisation d'au moins un outillage d'alignement (20) selon le principe de l'étape iii).
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le ou les outillages d'alignement (20) présentent une dimension transversale, notamment un diamètre (d2 ; d3), sensiblement égale à la dimension transversale, notamment le diamètre (d2 ; d3), des motifs d'alignement (11) des plaques (10 ; 10a-10d)
 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'étape e) de réalisation d'un traitement d'assemblage comporte le soudage-diffusion et/ou le brasage-diffusion, notamment par la technique de compression isostatique à chaud (CIC) et/ou par la technique de compression uniaxiale à chaud (CUC).
 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'étape e) de réalisation d'un traitement d'assemblage comporte le brasage.
 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'angle ($\theta 3$) de la répétition circulaire, appelé « angle de rotation », du motif de référence (11a) de chaque plaque (10 ; 10a-10d) autour de l'axe de révolution (X) considéré de la plaque (10 ; 10a-10d) est identique pour toutes les plaques (10 ; 10a-10d).
 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'angle ($\theta 3$) de la répétition circulaire, appelé « angle de rotation », du motif de référence (11a) de chaque plaque (10 ; 10a-10d) autour de l'axe de révolution (X) considéré de la plaque (10 ; 10a-10d) est différent pour au moins deux des plaques (10 ; 10a-10d), notamment la totalité des plaques (10 ; 10a-10d)
 8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** la valeur de chaque angle de rotation ($\theta 3$) du motif de référence (11a) pour former un ou plusieurs motifs d'alignement (11) est un multiple entier de la valeur de l'angle de rotation ($\theta 3$) le plus petit parmi l'ensemble des angles de rotation formant les motifs d'alignement (11).
 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** est mis en oeuvre pour la fabrication d'une pluralité de modules élémentaires d'échangeur de chaleur à plaques (50), chaque module élémentaire d'échangeur de chaleur à plaques (50) étant obtenu par le biais des étapes a) à e),
 et **en ce qu'il** comporte l'étape suivante :
 f) fabrication d'un échangeur de chaleur à plaques (50) par combinaison des modules élémentaires d'échangeur de chaleur à plaques (50) entre eux.
 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les plaques (10 ; 10a-10d) présentent toutes une forme identique.
 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** les plaques (10 ; 10a-10d) présentent des formes différentes.
 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les plaques (10 ; 10a-10d) sont réalisées en métal, notamment en acier inoxydable.
 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** chaque plaque (10 ; 10a-10d) comporte un élément de repérage (13) pour permettre de connaître la position dudit au moins un motif de référence (11a) de la plaque (10 ; 10a-10d).
 14. Procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** l'élément de repérage (13) se présente sous la forme d'une encoche (13) réalisée à la périphérie de la plaque (10 ; 10a-10d)
 15. Echangeur de chaleur (50) à plaques à au moins deux circuits de fluide (C1, C2), **caractérisé en ce qu'il** est obtenu au moyen du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.





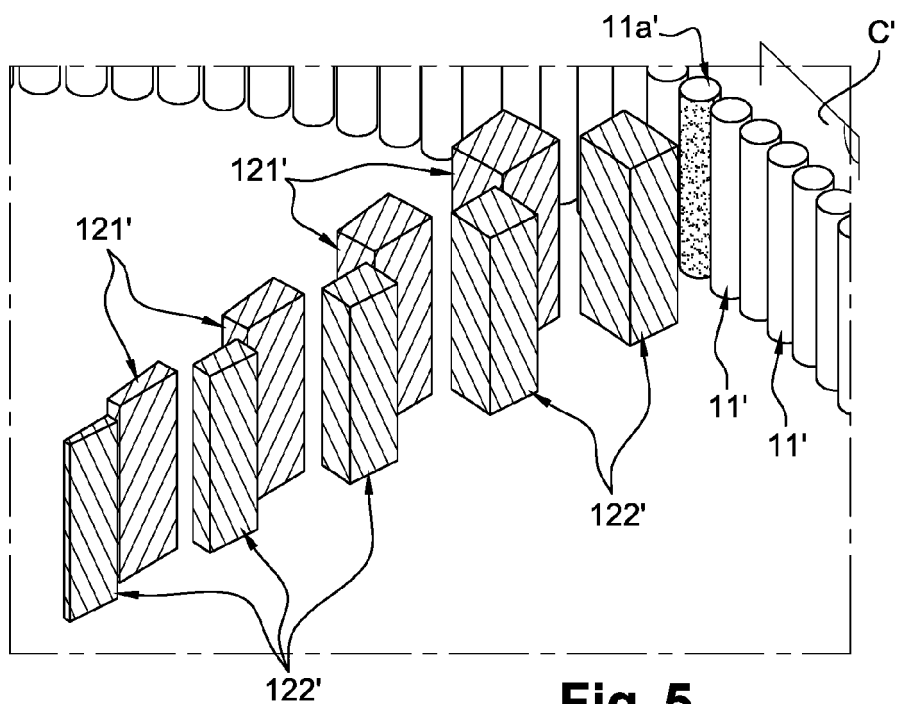


Fig. 5

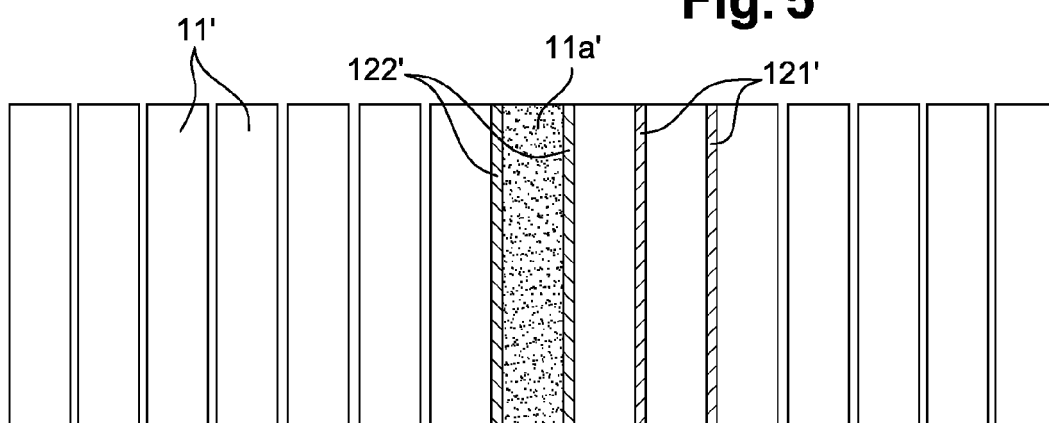


Fig. 5A

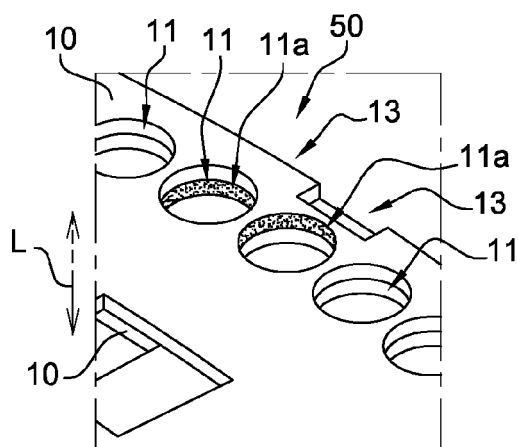


Fig. 6A

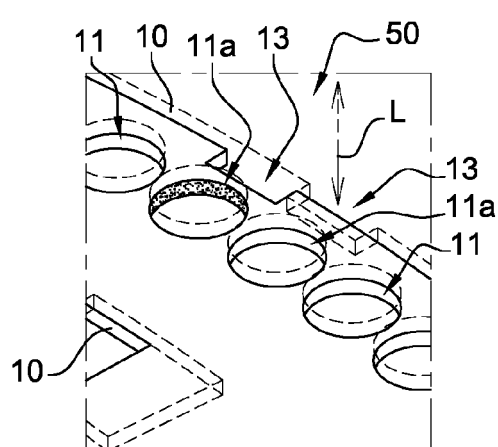
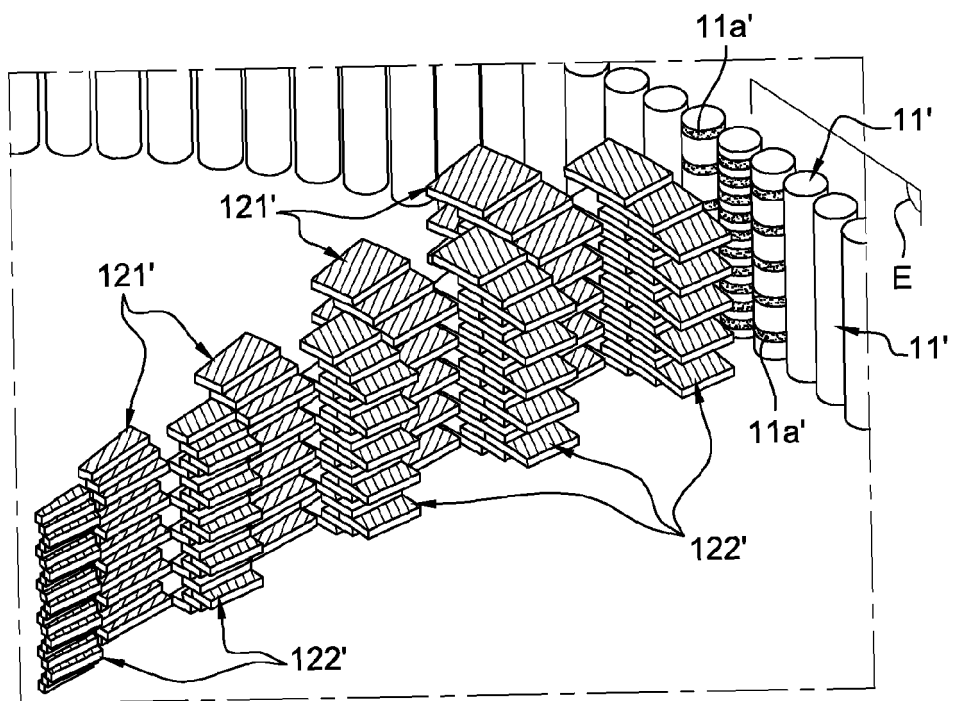
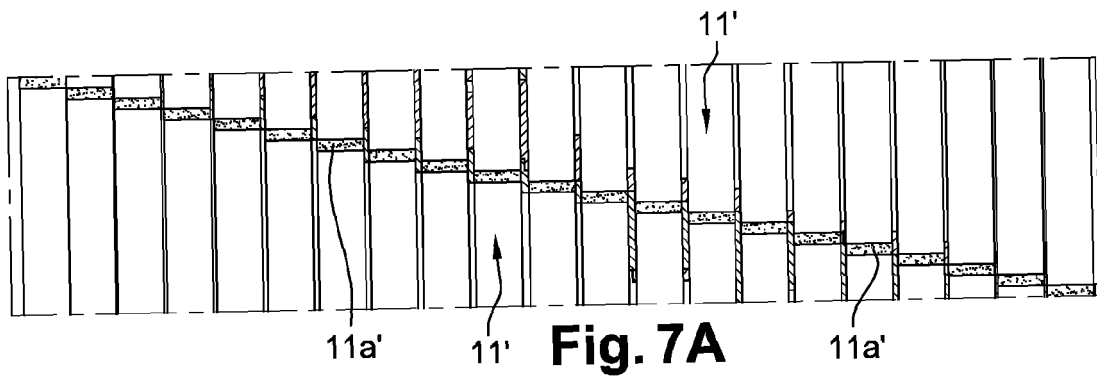
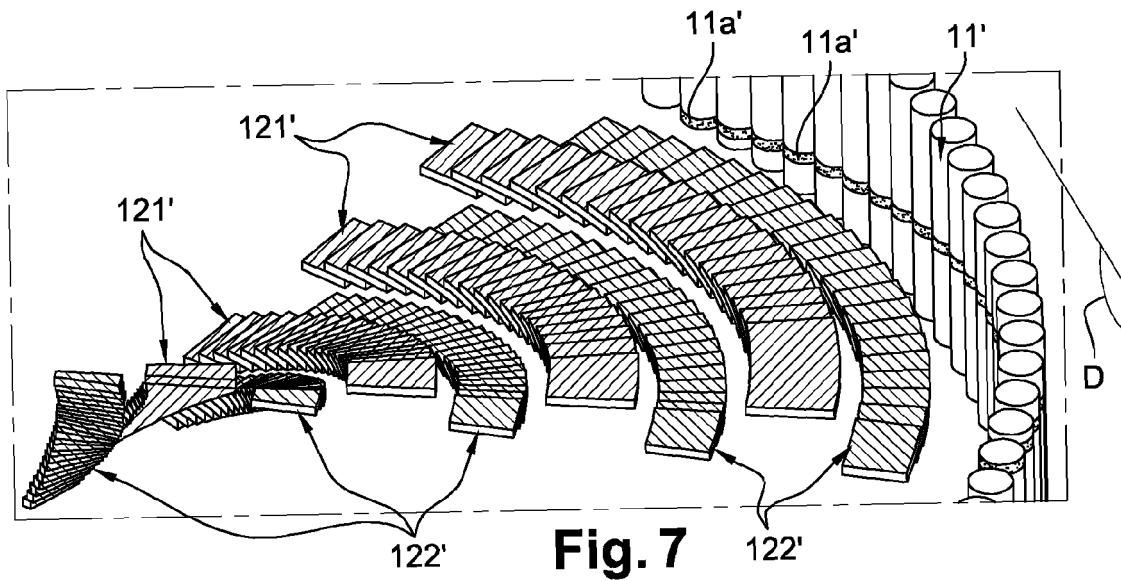


Fig. 6B



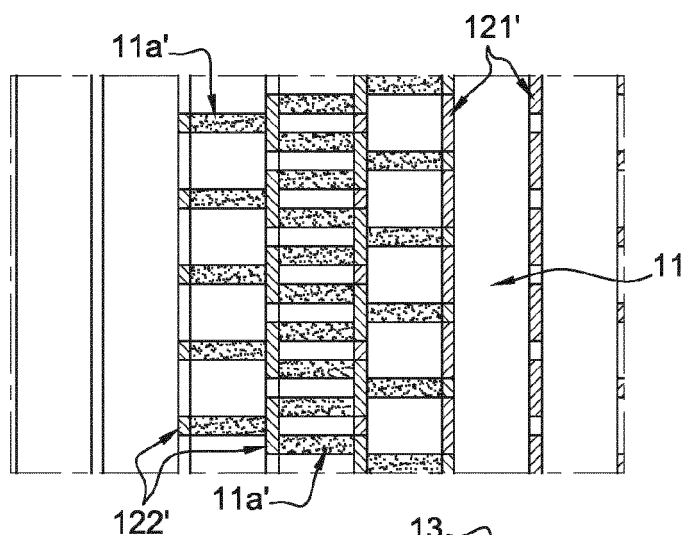


Fig. 8A

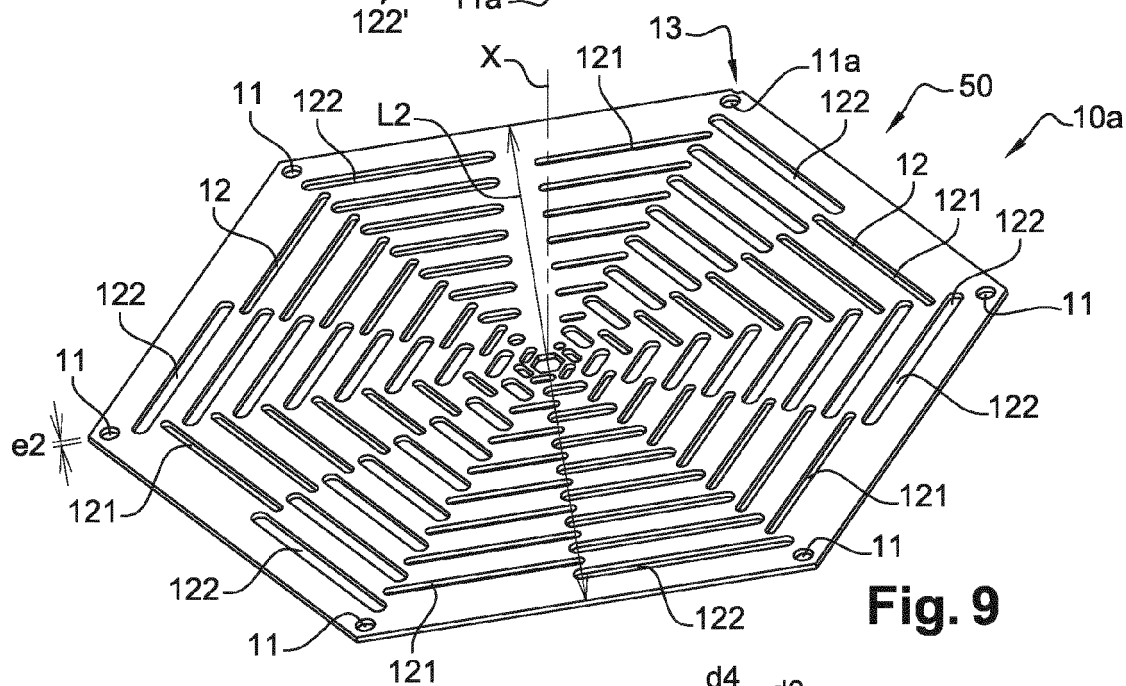


Fig. 9

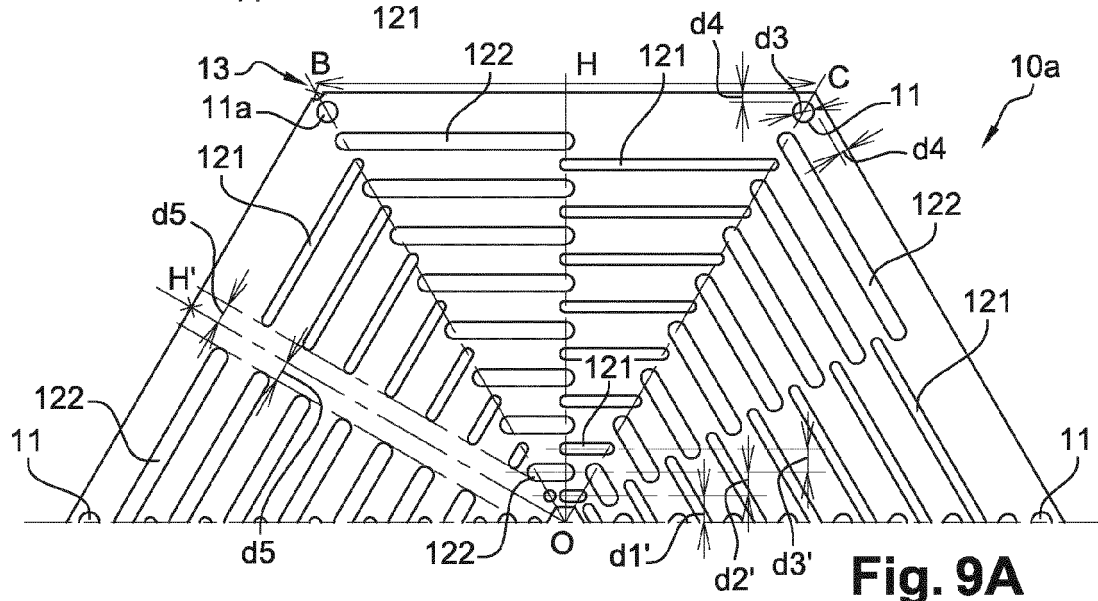


Fig. 9A

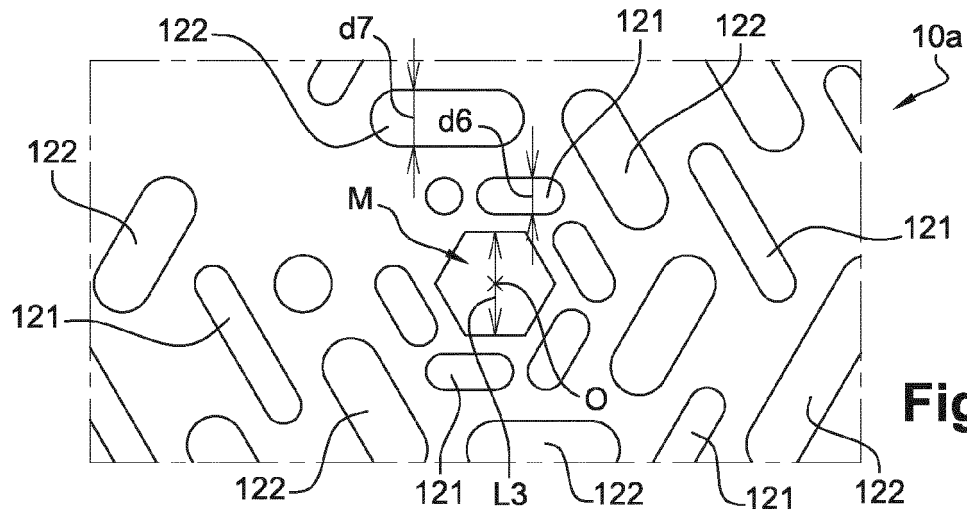


Fig. 9B

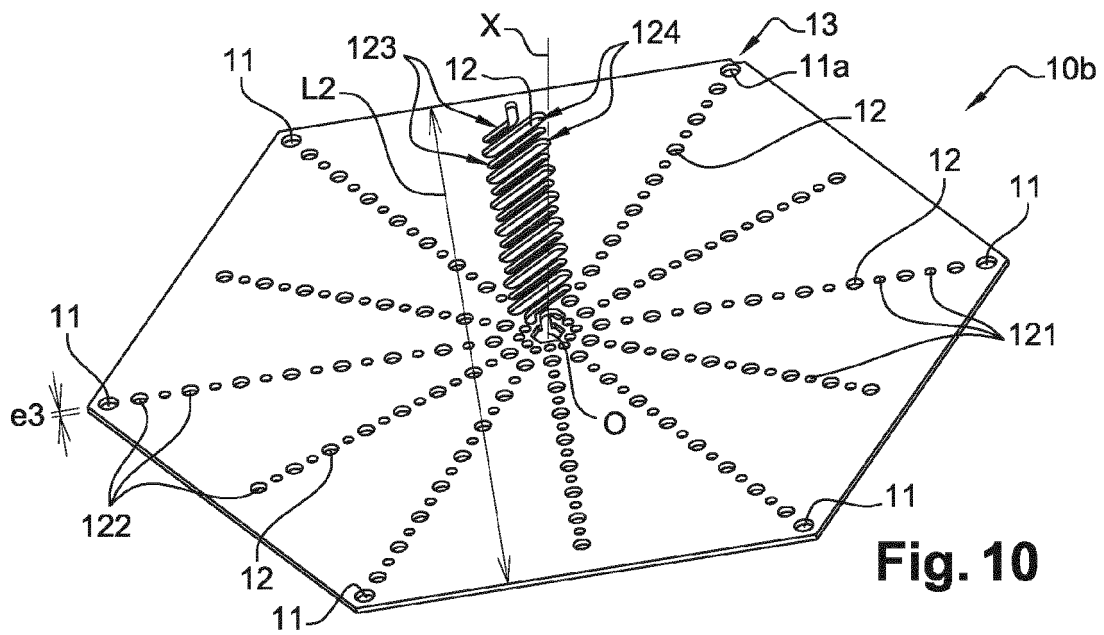


Fig. 10

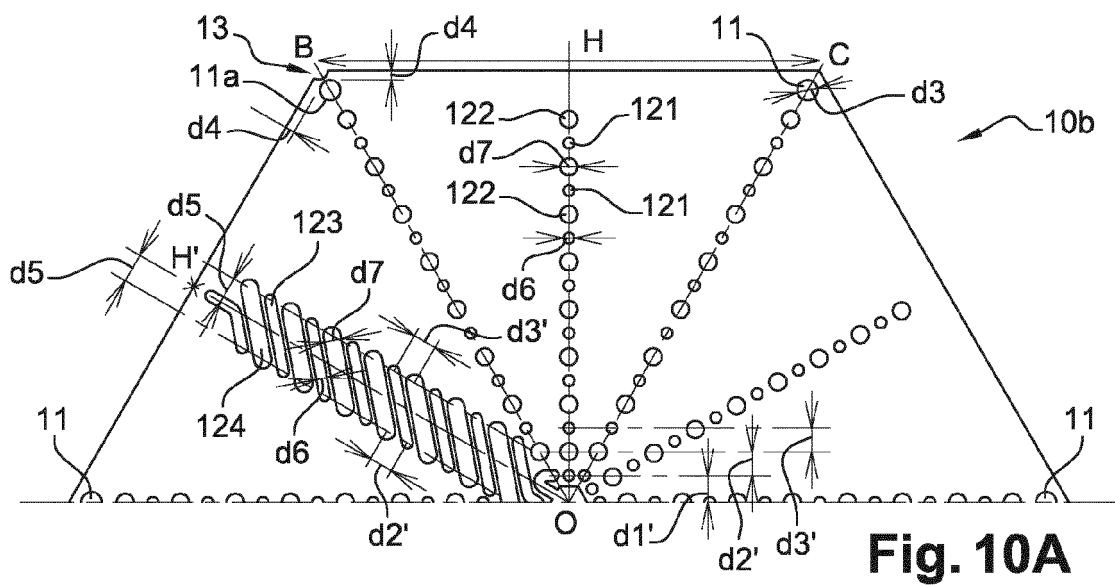
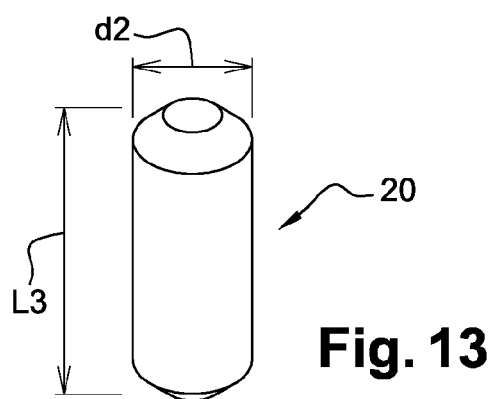
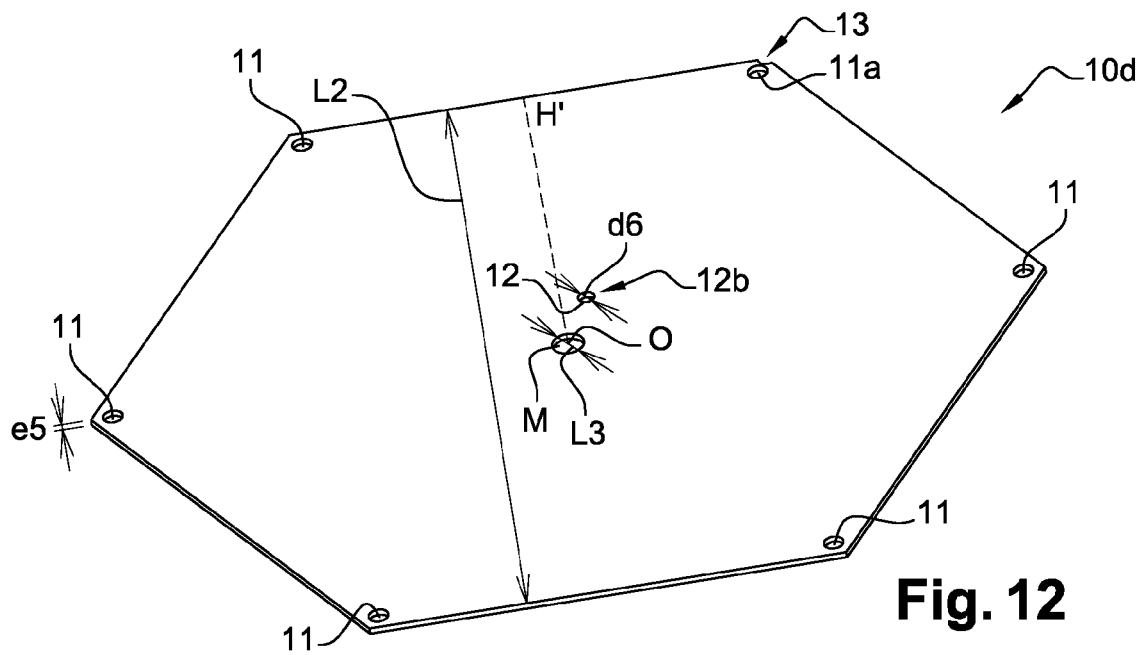
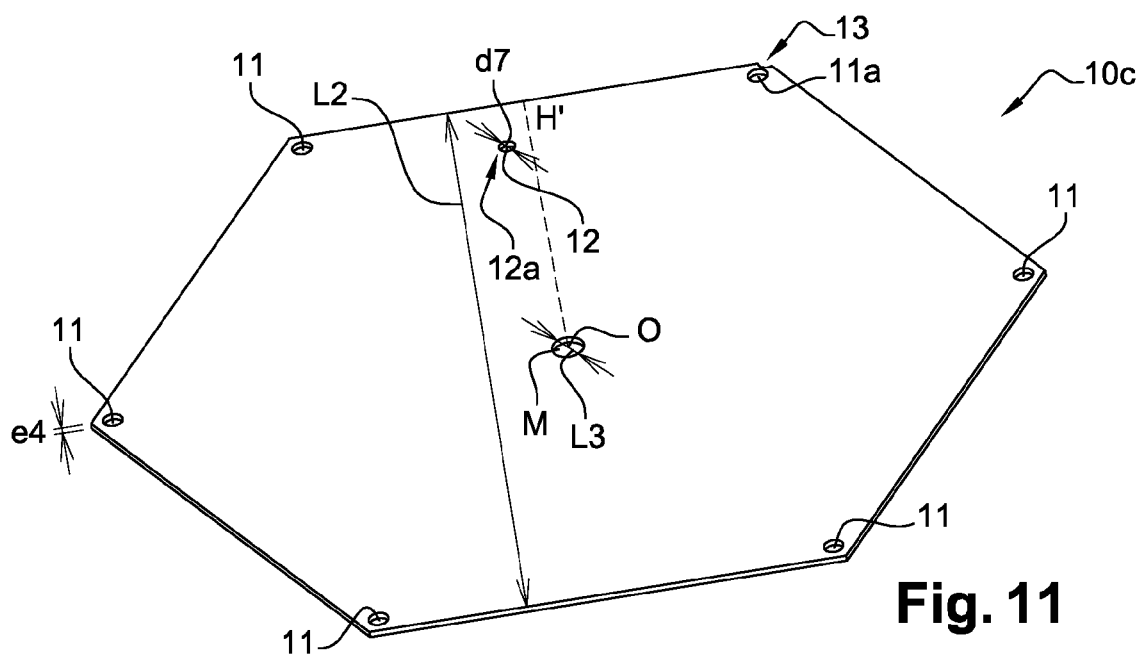


Fig. 10A



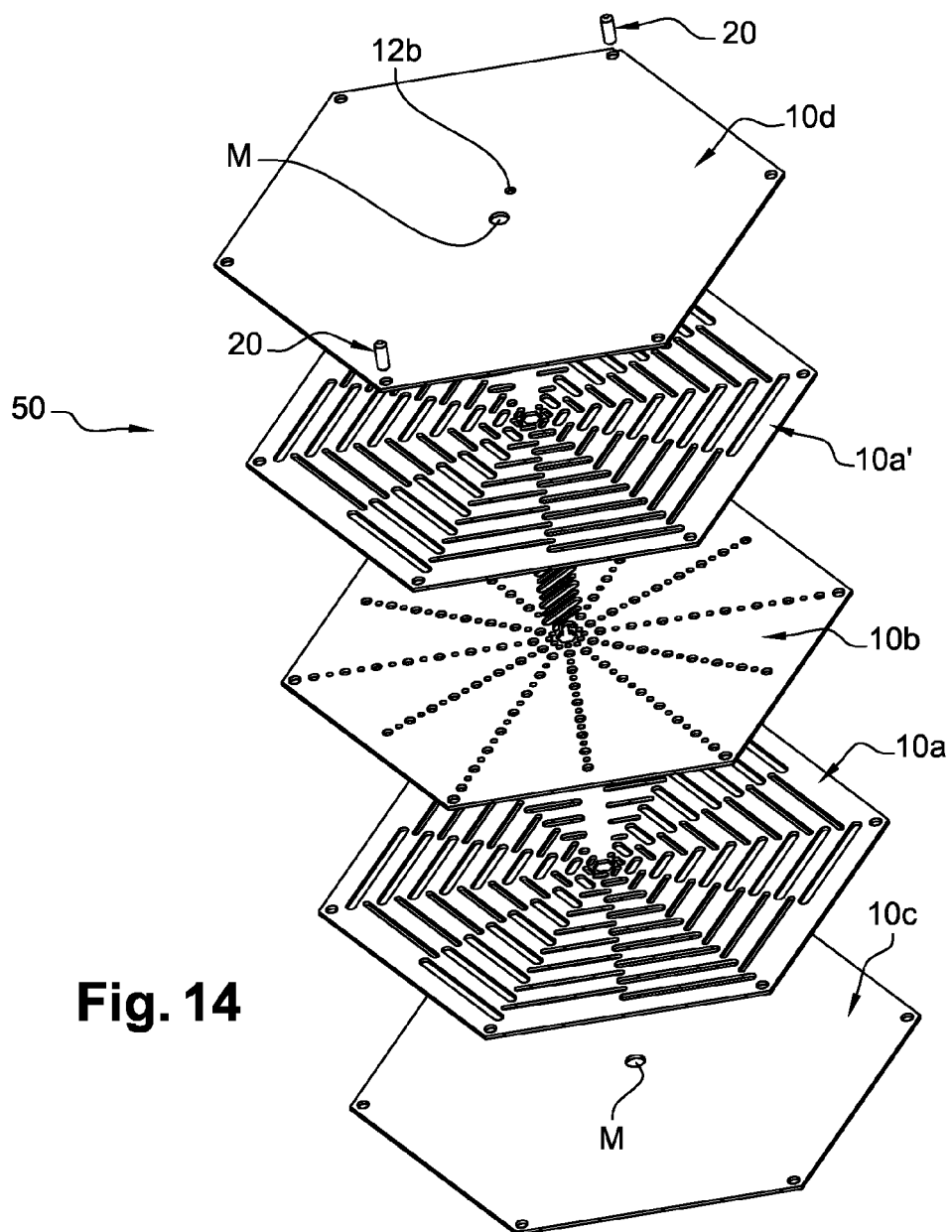


Fig. 14

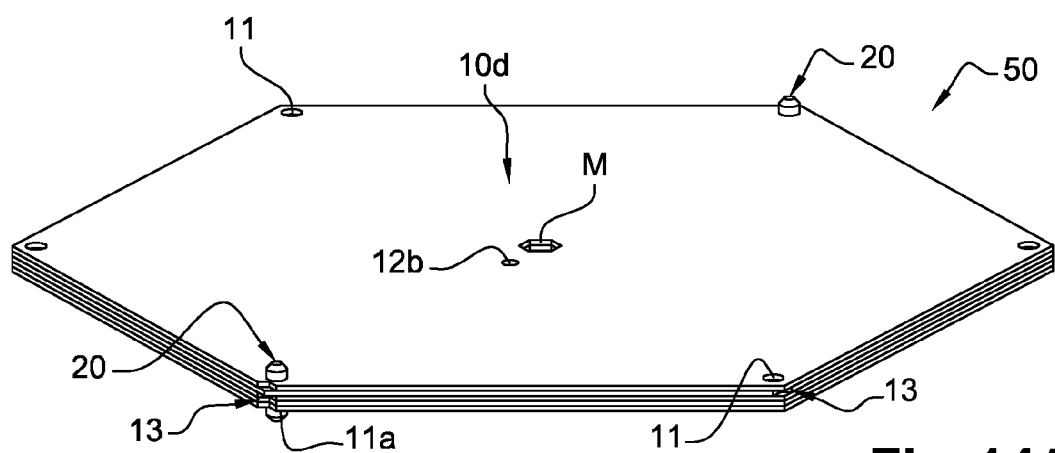


Fig. 14A

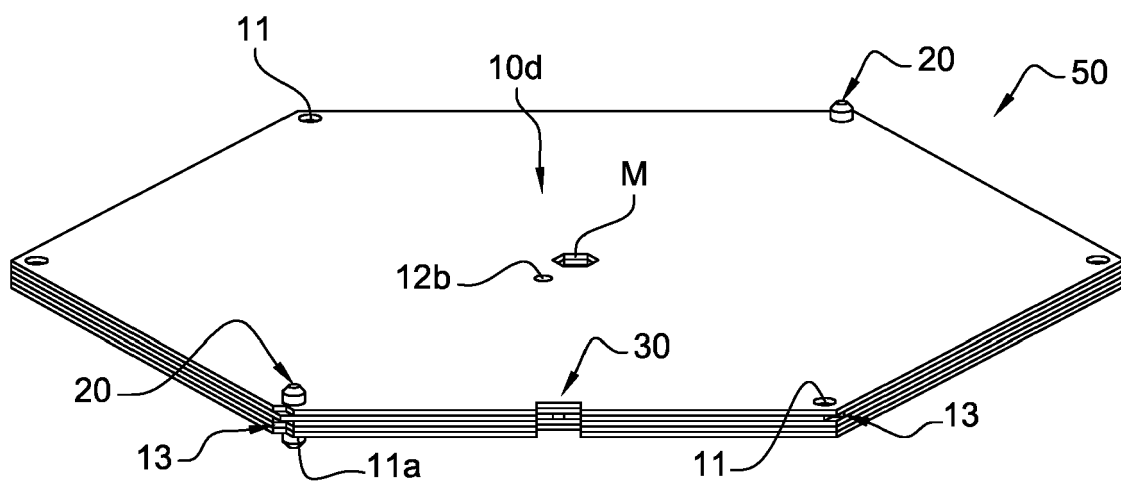


Fig. 15

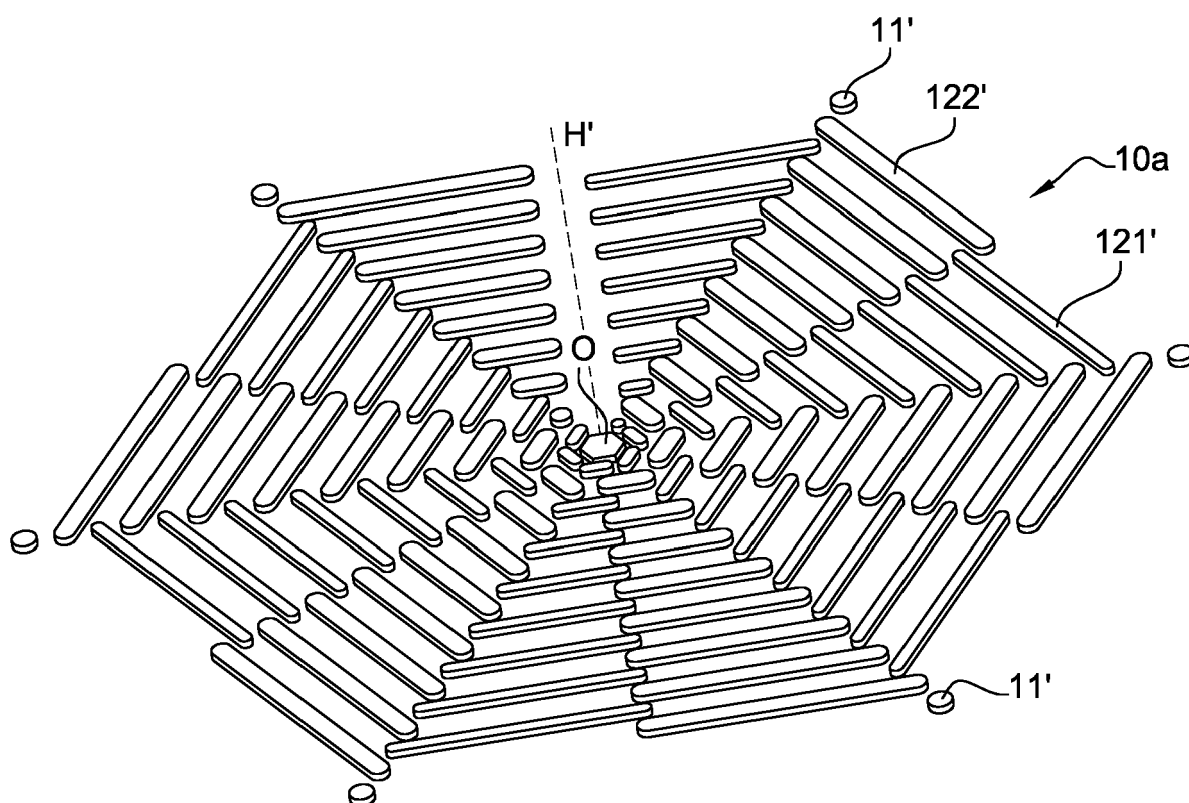


Fig. 16

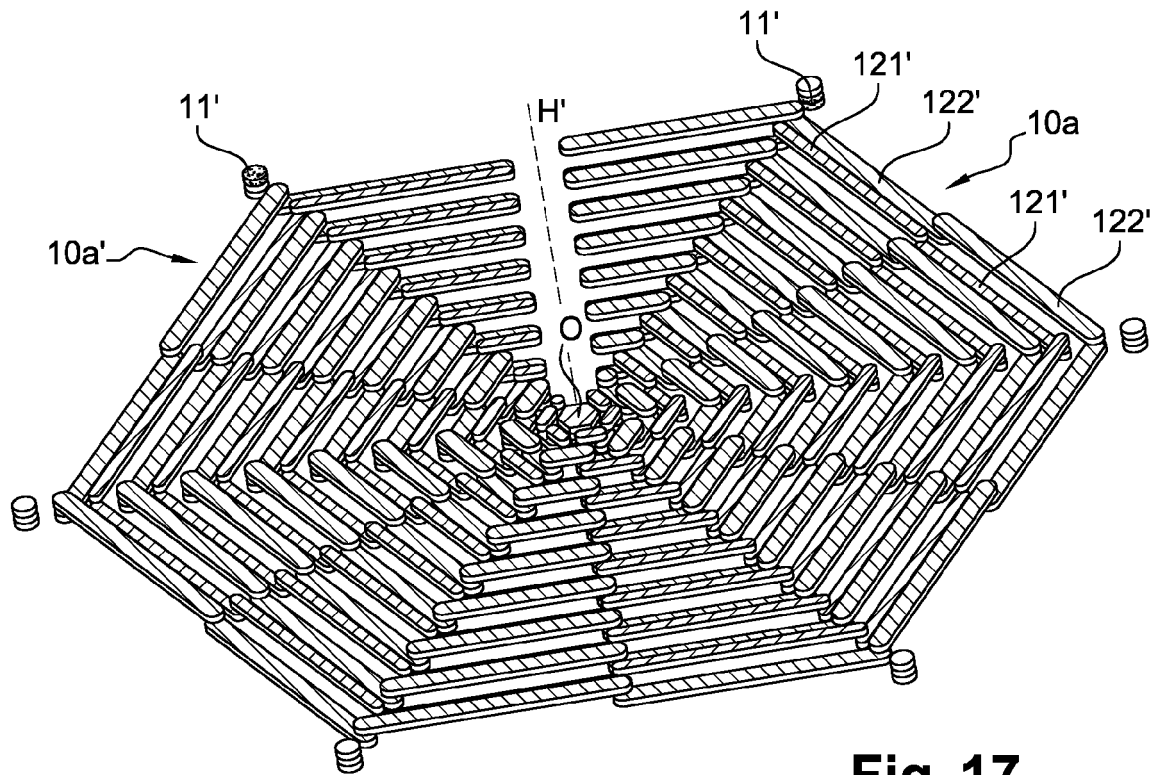


Fig. 17

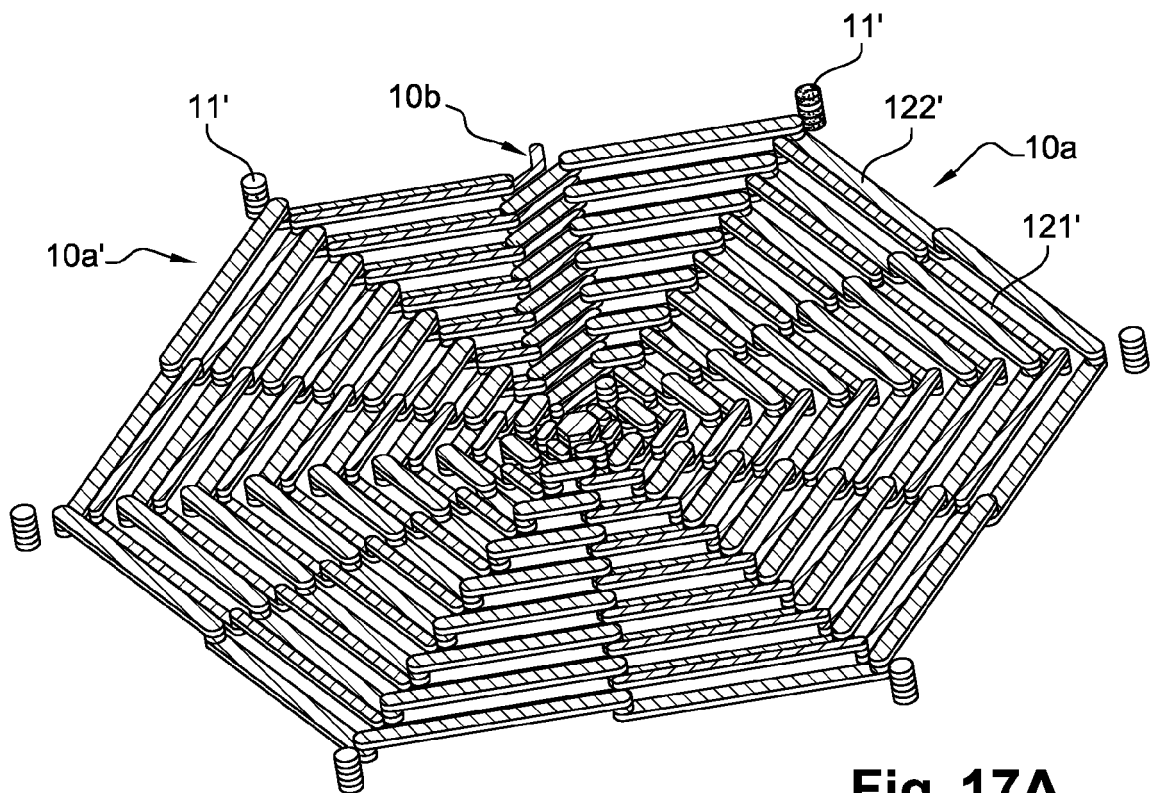


Fig. 17A



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 17 16 0548

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)
X	US 5 099 915 A (VANDYKE JOHN M [US]) 31 mars 1992 (1992-03-31) * figures 1-3 *	1-12,15	INV. F28F3/08 F28F21/08
X	US 5 787 977 A (YUASA MUNENORI [JP] ET AL) 4 août 1998 (1998-08-04) * figure 3 *	1-6, 10-12,15	ADD. F28D21/00
X	DE 195 47 440 A1 (NIPPON DENSO CO [JP]) 27 juin 1996 (1996-06-27) * figure 12 *	1-6, 10-12,15	
A	EP 0 611 235 A1 (FERRAZ SA [FR]) 17 août 1994 (1994-08-17) * figure 2 *	1-15	
A	US 2012/080166 A1 (CHENG CHIA-CHUN [TW]) 5 avril 2012 (2012-04-05) * le document en entier *	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F28F F28D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 5 septembre 2017	Examineur Vassoille, Bruno
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 17 16 0548

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.

05-09-2017

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5099915 A	31-03-1992	AUCUN	
US 5787977 A	04-08-1998	DE 69323505 D1 DE 69323505 T2 EP 0563951 A2 US 5787977 A	25-03-1999 17-06-1999 06-10-1993 04-08-1998
DE 19547440 A1	27-06-1996	DE 19547440 A1 JP 3427526 B2 JP H08178575 A US 5685368 A	27-06-1996 22-07-2003 12-07-1996 11-11-1997
EP 0611235 A1	17-08-1994	DE 69400127 D1 DE 69400127 T2 EP 0611235 A1 ES 2085181 T3 FR 2701554 A1 JP H074885 A US 5423376 A	15-05-1996 28-11-1996 17-08-1994 16-05-1996 19-08-1994 10-01-1995 13-06-1995
US 2012080166 A1	05-04-2012	TW M405139 U US 2012080166 A1	01-06-2011 05-04-2012

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

- WO 2008087526 A2 [0022] [0026]
- WO 2006067349 A1 [0022]
- WO 2005073658 A1 [0025]
- WO 0107857 A1 [0025]
- WO 9855812 A1 [0025]
- WO 201343263 A1 [0025]
- US 6511759 B1 [0025]
- DE 10031347 A1 [0026]
- US 5298337 A [0026]

Littérature non-brevet citée dans la description

- Fusion reactor first wall fabrication techniques. **G. LE MAROIS et al.** Fusion Engineering and Design. Elsevier Science, 2002, vol. 103-110, 61-62 [0022]
- **YVES BIENVENU.** Assemblage par diffusion (soudage ou brasage), 10 Octobre 2010 [0029]