

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 075 335

21 N° d'enregistrement national : 17 62419

51 Int Cl⁸ : F 28 D 9/02 (2018.01), F 28 F 3/02, 3/08, 13/18, 21/00

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 19.12.17.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 21.06.19 Bulletin 19/25.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : CRAYSSAC FREDERIC, FAURE RAPHAEL, RICHET NICOLAS et WAGNER MARC.

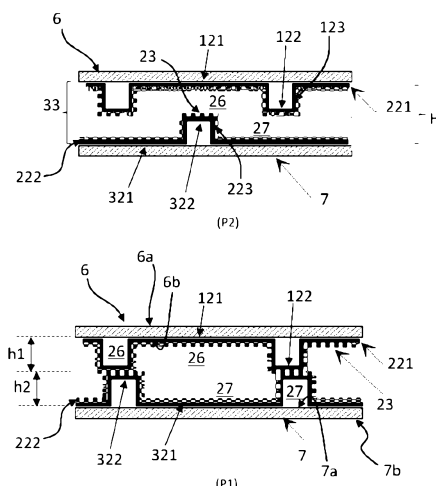
73 Titulaire(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE Société anonyme.

74 Mandataire(s) : L'AIR LIQUIDE.

54 ECHANGEUR DE CHALEUR AVEC ELEMENTS INTERCALAIRES SUPERPOSES.

57 L'invention concerne un échangeur de chaleur du type à plaques et ailettes brasées comprenant une pluralité de plaques agencées parallèlement entre elles de façon à définir une série de passages (33) pour l'écoulement d'un premier fluide à mettre en relation d'échange thermique avec au moins un deuxième fluide, au moins un passage (33) étant formé entre une première plaque (6) et une deuxième plaque (7) successives et comprenant au moins un premier élément intercalaire (221) s'étendant en regard de la première plaque (6) et définissant, au sein du passage (33), un premier ensemble de canaux (26) pour l'écoulement du premier fluide, au moins un deuxième élément intercalaire (222) s'étendant en regard de la deuxième plaque (7) et définissant, au sein du passage (33), un deuxième ensemble de canaux (27) pour l'écoulement du premier fluide, lesdits premier et deuxième éléments intercalaires (221, 222) étant superposés dans la hauteur (H) du passage (33), mesurée perpendiculairement aux plaques (6, 7). Selon l'invention, les canaux (26) du premier ensemble s'étendent globalement parallèlement à une première direction (z1) parallèle aux première et deuxième plaques (6, 7) et les canaux (27) du deuxième ensemble s'étendent globalement parallèlement à une deuxième direction (z2) parallèle aux première et deuxième plaques (6, 7), la première direction (z1) for-

mant, en section dans un plan parallèle aux première et deuxième plaques (6, 7), un angle aigu (A) avec la deuxième direction (z2).



FR 3 075 335 - A1



La présente invention concerne un échangeur de chaleur du type à plaques et ailettes ainsi qu'un élément intercalaire adapté à un tel échangeur.

5 La présente invention trouve notamment application dans le domaine de la séparation de gaz par cryogénie, en particulier de la séparation d'air par cryogénie (connue sous l'acronyme anglais « ASU » pour unité de séparation d'air) exploitée pour la production d'oxygène gazeux sous pression. En particulier, la présente invention peut s'appliquer à un échangeur de chaleur
10 qui vaporise un débit liquide, par exemple de l'oxygène liquide, de l'azote et/ou de l'argon par échange de chaleur avec un gaz calorigène, par exemple l'air ou l'azote.

Si l'échangeur de chaleur se trouve dans la cuve d'une colonne de distillation, il peut constituer un vaporiseur fonctionnant en thermosiphon pour
15 lequel l'échangeur est immergé dans un bain de liquide descendant la colonne ou un vaporiseur fonctionnant en vaporisation à film alimenté directement par le liquide tombant de la colonne et/ou par une pompe de recirculation.

La présente invention peut également s'appliquer à un échangeur de chaleur qui vaporise au moins un débit de mélange liquide-gaz, en particulier
20 un débit de mélange à plusieurs constituants, par exemple un mélange d'hydrocarbures, par échange de chaleur avec au moins un autre fluide, par exemple du gaz naturel.

La technologie couramment utilisée pour un échangeur est celle des échangeurs en aluminium à plaques et à ailettes ou ondes brasés, qui
25 permettent d'obtenir des dispositifs très compacts offrant une grande surface d'échange.

Ces échangeurs comprennent des plaques séparatrices entre lesquelles sont insérées des structures d'échange thermique, généralement des structures ondulées ou ondes, formées d'une succession d'ailettes ou
30 jambes d'onde, constituant ainsi un empilement de passages pour les différents fluides à mettre en relation d'échange thermique.

Les performances d'un échangeur sont liées au coefficient d'échange thermique des structures d'échange thermique se trouvant en contact avec les

fluides. Le coefficient d'échange thermique d'une structure dépend notamment de la nature du matériau la constituant, de la porosité de ce matériau, de sa rugosité et du régime d'écoulement des fluides.

5 Il est possible de modifier le coefficient d'échange thermique d'une structure d'échange en modifiant la géométrie ou les propriétés physico-chimiques de sa surface. Ceci permet d'augmenter la surface effective d'échange et/ou de modifier les interactions entre le fluide et la surface, en changeant des propriétés de la surface considérée comme sa mouillabilité ou sa capacité à intensifier l'ébullition d'un fluide. On parle alors de surfaces
10 intensifiées.

Par exemple, on peut réaliser des dépôts de surface de revêtements poreux ou formant des reliefs à la surface des structures, ou bien créer de tels états de surfaces par des traitements mécaniques ou par attaque chimique.

On connaît du document WO-A-2005/075920 différentes techniques de
15 dépôt de revêtements poreux ou de reliefs à la surface d'une onde pour échangeur de chaleur.

Le document WO-A-2004/109211 décrit un procédé de dépôt d'un revêtement poreux à la surface d'une plaque séparatrice d'un échangeur de
chaleur.

20 Un problème qui se pose avec l'utilisation de surfaces intensifiées par texturation dans des échangeurs en aluminium brasés concerne l'assemblage d'éléments comportant de telles surfaces lors de la fabrication de l'échangeur.

En effet, la liaison des éléments constitutifs de l'échangeur est réalisée par brasage avec utilisation d'un métal d'apport, appelé brasure ou agent de
25 brasage, l'assemblage étant obtenu par fusion et diffusion de l'agent de brasage au sein des pièces à braser, sans fusion de celles-ci.

Or, la présence d'un revêtement poreux ou de reliefs au niveau de la zone de liaison entre les pièces à assembler pose problème, puisqu'au jeu existant entre les pièces à assembler, s'ajoute la porosité ouverte du
30 revêtement ou les cavités ménagées sur les surfaces texturées. Lors de sa fusion, le métal d'apport comble ces porosités ou cavités avant le jeu entre les pièces, ce qui peut engendrer des défauts dans le joint brasé, tels des porosités, un manque de brasure, voire une absence de joint. Ceci affecte les

propriétés mécaniques et/ou thermiques du joint, et donc celles de l'échangeur qui sont directement liées à la qualité du joint brasé.

5 Pour tenter de remédier à ces inconvénients, une solution est de réaliser la texturation des structures d'échange thermique après que le brasage de ces structures dans l'échangeur a été réalisé.

10 Toutefois, il est difficile d'accéder aux canaux formés par les structures d'échange dans les passages de l'échangeur. Il devient alors impossible d'utiliser des techniques de texturation mécanique ou de revêtement par projection thermique. D'autres techniques de traitement de surface sont
15 difficiles à mettre en œuvre. Par exemple, pour les techniques impliquant des étapes préalables de traitement thermique ou de dépôt d'une couche d'imprégnation pour assurer l'adhésion du revêtement, c'est l'échangeur entier qu'il faut traiter. Il y a alors des risques de boucher les canaux, de débraser des pièces de l'échangeur ou de créer des phases métallurgiques fragiles et d'endommager la matrice brasée.

20 Par ailleurs, il a été proposé de réaliser des texturations de surface sur les plaques séparatrices avant brasage. Mais dans ce cas, il n'y a pas de structure d'échange thermique brasée aux plaques et il est nécessaire de procéder à un recuit des plaques. Or, les structures d'échange ont aussi un rôle d'entretoises. Elles contribuent à la rigidité des passages de l'échangeur et à leur résistance à la compression lors du brasage sous vide de l'échangeur. De plus, les plaques recuites perdent de leur résistance mécanique. Il est alors
25 nécessaire d'agencer des barres de renfort supplémentaires dans les passages et de doubler l'épaisseur des plaques.

30 Une autre solution est de ne pas réaliser de texturation sur l'élément sur les portions de surface au niveau desquelles le joint brasé doit être formé. Toutefois, cela implique de modifier localement l'état de surface des pièces, ce qui complexifie le procédé de fabrication. On peut par exemple masquer les zones où le brasage doit avoir lieu ou retirer le revêtement de ces zones. Mais ces étapes supplémentaires entraînent une complexification et des difficultés de mise en œuvre.

Un problème plus général concerne la tenue mécanique de l'échangeur lors de sa fabrication. En effet, les passages de l'échangeur sont soumis à des

forces de compression importantes lors de l'opération de brasage sous vide. Dans certaines configurations, notamment lorsqu'on utilise des structures à faible densité d'ailettes, la rigidité des structures d'échange thermique agencées dans les passages peut s'avérer insuffisante pour garantir leur

5 résistance à la compression.

La présente invention a pour but de résoudre en tout ou partie les problèmes mentionnés ci-avant, notamment d'améliorer la résistance mécanique d'un échangeur de chaleur du type à plaques et ailettes brasés et d'améliorer la fabrication d'un tel échangeur lorsqu'il présente des structures

10 d'échanges à propriétés thermiques améliorées.

La solution selon l'invention est alors un échangeur de chaleur du type à plaques et ailettes brasées comprenant une pluralité de plaques agencées parallèlement entre elles de façon à définir une série de passages pour l'écoulement d'un premier fluide à mettre en relation d'échange thermique avec

15 au moins un deuxième fluide, au moins un passage étant formé entre une première plaque et une deuxième plaque successives et comprenant :

- au moins un premier élément intercalaire s'étendant en regard de la première plaque et définissant, au sein du passage, un premier ensemble de canaux pour l'écoulement du premier fluide,

20 - au moins un deuxième élément intercalaire s'étendant en regard de la deuxième plaque et définissant, au sein du passage, un deuxième ensemble de canaux pour l'écoulement du premier fluide,

lesdits premier et deuxième éléments intercalaires étant superposés dans la hauteur H du passage, mesurée perpendiculairement aux plaques,

25 caractérisé en ce que les canaux du premier ensemble s'étendent globalement parallèlement à une première direction z_1 parallèle aux première et deuxième plaques et les canaux du deuxième ensemble s'étendent globalement parallèlement à une deuxième direction z_2 parallèle aux première et deuxième plaques, la première direction z_1 formant, en section dans un plan parallèle aux

30 première et deuxième plaques, un angle aigu A avec la deuxième direction z_2 .

Selon le cas, l'échangeur selon l'invention peut comprendre l'une ou plusieurs des caractéristiques techniques suivantes :

- l'angle aigu A est inférieur ou égal à 30° , de préférence inférieur ou égal à 20° .

5 - les passages s'étendent sur une longueur L, mesurée suivant une direction longitudinale z, de préférence verticale lors du fonctionnement de l'échangeur, la première direction z_1 formant un premier angle β avec la direction longitudinale z et/ou la deuxième direction z_2 formant un deuxième angle α avec la direction longitudinale z, les premier et deuxième angles β , α étant inférieurs ou égaux à 15° , de préférence compris entre 1° et 10° .

10 - le premier élément intercalaire comprend un premier ensemble d'ailettes ou jambes d'onde délimitant le premier ensemble de canaux et le deuxième élément intercalaire comprend un deuxième ensemble d'ailettes ou jambes d'onde délimitant le deuxième ensemble de canaux, les ailettes ou jambes d'onde du premier ensemble se succédant suivant une première direction latérale x_1 parallèle aux première et deuxième plaques et orthogonale à la première direction z_1 et les ailettes ou jambes d'onde du deuxième ensemble se succédant suivant une deuxième direction latérale parallèle aux première et deuxième plaques et orthogonale à la deuxième direction.

20 - les canaux du premier ensemble et les canaux du deuxième éléments intercalaires présentent respectivement une première hauteur h_1 et une deuxième hauteur h_2 , mesurées suivant une direction d'empilement y qui est perpendiculaire aux plaques, telles que $h_1+h_2=H$.

- chaque canal du premier ensemble croise au moins un canal du deuxième ensemble en un point d'intersection.

25 - le passage comprend plusieurs superpositions de premiers et deuxièmes éléments intercalaires se succédant suivant la direction longitudinale.

- le premier et le deuxième éléments intercalaires comprenant au moins une texturation de surface sous la forme d'une structure poreuse ou de reliefs formés sur des surfaces du premier et du deuxième éléments intercalaires,

30 - le premier élément intercalaire comprend au moins une première portion d'assemblage positionnée contre la première plaque et comprenant une première paire de surfaces opposées, l'une des surfaces de la première paire étant orientée du côté de la première plaque et l'autre des surfaces de la première paire étant orientée du côté de la deuxième plaque, et le deuxième

élément intercalaire comprenant au moins une deuxième portion d'assemblage positionnée contre la deuxième plaque et comprenant une deuxième paire de surfaces opposées, l'une des surfaces de la deuxième paire étant orientée du côté de la première plaque et l'autre des surfaces de la deuxième paire étant orientée du côté de la deuxième plaque.

- la première portion d'assemblage est exempte de texturation de surface sur au moins celle des surfaces de la première paire orientée du côté de la première plaque,

- la deuxième portion d'assemblage étant exempte de texturation de surface sur au moins l'autre des surfaces de la deuxième paire orientée du côté de la deuxième plaque.

- la première portion d'assemblage présente la texturation de surface sur la surface de la première paire orientée du côté de la deuxième plaque.

- la deuxième portion d'assemblage présente la texturation de surface sur la surface de la deuxième paire orientée du côté de la première plaque.

- la texturation de surface est sous la forme d'une structure poreuse ayant une porosité ouverte comprise entre 15 et 60 % en volume, de préférence une porosité ouverte comprise entre 20 et 45 % en volume ou sous la forme de reliefs définissant, en coupe transversale, des cavités ouvertes à la surface des premier et deuxième éléments intercalaires.

- les premier et deuxième éléments intercalaires sont sous la forme respectivement d'un premier et d'un deuxième produits ondulés comprenant chacun une succession de jambes d'onde reliées alternativement par des sommets d'onde et des bases d'onde, le premier produit ondulé comprenant un premier ensemble de jambes d'onde délimitant le premier ensemble de canaux et le deuxième produit ondulé comprenant un deuxième ensemble de jambes d'onde délimitant le deuxième ensemble de canaux.

- les sommets d'onde du premier produit ondulé sont positionnés contre la première plaque.

- les sommets d'onde du deuxième produit ondulé sont positionnés contre la deuxième plaque.

- au moins une base d'onde du premier produit ondulé présente au moins une zone de contact ou quasi-contact avec au moins une base d'onde du deuxième produit ondulé.

5 - au moins un sommet d'onde des premier et deuxième produits ondulés présente deux extrémités reliées à des jambes d'onde respectives séparées par une première largeur L_1 , mesurée suivant la direction latérale x , et chaque base d'onde des premier et deuxième produits ondulés présente une deuxième largeur, mesurée suivant la direction latérale x , le rapport L_2/L_1 entre la deuxième largeur et la première largeur étant inférieur à 1, de préférence 10 compris entre 0,1 et 0,4, de préférence encore compris entre 0,1 et 0,35.

- au moins une base d'onde du premier produit ondulé comprend une troisième paire de surfaces opposées dont l'une orientée du côté de la première plaque est exempte de texturation de surface et l'autre orientée du côté de la deuxième plaque présente la texturation de surface.

15 - au moins une base d'onde du deuxième produit ondulé comprend une quatrième paire de surfaces opposées dont l'une orientée du côté de la première plaque présente la texturation de surface et l'autre orientée du côté de la deuxième plaque est exempte de texturation de surface.

20 La présente invention va maintenant être mieux comprise grâce à la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux schémas ci-annexés, parmi lesquels :

- la Figure 1 illustre un exemple d'échangeur de chaleur selon l'invention ;

25 - la Figure 2 est une vue schématique partielle d'un exemple de configuration de brasage dans un échangeur selon l'invention ;

- la Figure 3 montre deux vues en coupe transversale d'un assemblage d'éléments intercalaires dans un passage d'un échangeur selon un mode de réalisation de l'invention ;

30 - la Figure 4 montre une vue en coupe longitudinale d'éléments intercalaires selon un mode de réalisation de l'invention ;

- les Figures 5 et 6 illustrent d'autres modes de réalisation de l'invention ;

- les Figures 7 et 8 illustrent des éléments intercalaires selon un mode de réalisation de l'invention,

- la Figure 9 illustre des éléments intercalaires selon un mode de réalisation de l'invention.

5 De façon connue en soi, un échangeur de chaleur comprend un empilement de plaques disposées parallèlement l'une au-dessus de l'autre avec espacement et formant ainsi plusieurs séries de passages de forme parallélépipédique et plate pour l'écoulement d'un premier fluide et d'au moins un deuxième fluide à mettre en relation d'échange de chaleur indirect via les
10 plaques. De préférence, le premier fluide comprend un liquide frigorigène à vaporiser au moins partiellement.

La Figure 1 illustre de façon schématique un exemple de passage 33 d'un échangeur 1 du type vaporiseur-condenseur alimenté en oxygène liquide. Ce vaporiseur-condenseur vaporise l'oxygène liquide OL sous basse pression
15 (typiquement légèrement supérieure à la pression atmosphérique) recueilli en bas d'une colonne, par condensation d'azote moyenne pression (typiquement de 5 à 6 bars absolus) circulant dans des passages adjacents des passages 33 (non illustrés) dédiés à la circulation d'oxygène. L'azote moyenne pression est le plus souvent prélevé à l'état gazeux en tête d'une colonne de distillation
20 d'air à moyenne pression à laquelle la colonne basse pression citée ci-dessus est connectée. Après son passage et sa condensation au moins partielle dans le vaporiseur-condenseur, cet azote est renvoyé dans la colonne moyenne pression.

C'est plus spécifiquement dans le cadre de cette application que
25 l'invention sera décrite par la suite, étant entendu que son application peut être envisagée dans d'autres contextes, notamment avec des fluides d'une autre nature. Ainsi, l'échangeur 1 peut vaporiser au moins un débit de mélange liquide-gaz, en particulier un débit de mélange à plusieurs constituants, par exemple un mélange d'hydrocarbures, par échange de chaleur avec au moins
30 un autre fluide, par exemple du gaz naturel.

En particulier, l'invention peut concerner un procédé d'échange de chaleur entre un premier fluide et au moins un deuxième fluide dans un échangeur de chaleur selon l'invention, ledit premier fluide s'écoulant dans le

passage 33 à une pression inférieure ou égale à 5 bar, de préférence une pression comprise entre 1 et 2 bar.

5 Tout ou partie des passages de vaporisation 33 de l'échangeur 1 sont pourvus d'éléments intercalaires 221 définissant, au sein des passages 33, des canaux 26 pour la circulation de l'oxygène liquide et pouvant revêtir différentes formes.

10 Les éléments intercalaires 221 peuvent avoir des formes ondulées, comme montré sur la Figure 7, et comprendre des jambes d'onde 123 reliées alternativement par des sommets d'onde 121 et des bases d'onde 122. Dans ce cas, on appelle « ailettes » les jambes d'onde qui relient les sommets et les bases successifs de l'onde.

15 Les éléments intercalaires 221 peuvent revêtir d'autres formes particulières définies selon les caractéristiques d'écoulement de fluide souhaitées. De manière plus générale, le terme « ailettes » couvre des lames ou autres surfaces secondaires d'échange thermique, qui s'étendent entre les surfaces primaires d'échange thermique, c'est-à-dire les plaques de l'échangeur, dans les passages de l'échangeur.

20 Les éléments intercalaires 221 sont liés par brasage aux plaques séparatrices de l'échangeur. Avantagusement, la liaison est réalisée par brasage sous vide avec utilisation d'un métal d'apport 30, appelé brasure ou agent de brasage, l'assemblage étant obtenu par fusion et diffusion d'agent de brasage 30 au sein des pièces à braser, c'est-à-dire dans le métal de base, sans fusion de celles-ci.

25 La Figure 2 est une vue partielle d'un premier élément intercalaire 221 assemblé à une première plaque 6 adaptée pour définir, en association avec une autre deuxième plaque 7 parallèle (non illustrée), un passage 33 de l'échangeur 1.

30 Le premier élément intercalaire 221 et la plaque 6 comportent respectivement des portions d'assemblage 121, 60 destinées à être brasées l'une avec l'autre. Les portions d'assemblage 121, 60 sont positionnées l'une contre l'autre, de préférence avec un faible jeu entre elles afin d'y interposer l'agent de brasage 30. Typiquement les portions d'assemblage 121, 60 peuvent être celles où le jeu entre les pièces 221, 6 est le plus faible, typiquement les

portions au niveau desquelles les pièces 221, 6 sont en contact l'une avec l'autre ou en quasi-contact, c'est-à-dire avec un jeu très faible existant entre tout ou partie desdites portions, l'une avec l'autre. De préférence, un jeu faible est compris entre 0 et 0,1 mm, de préférence encore compris entre 0 et 0,05 mm.

De préférence, les plaques 6, 7 de l'échangeur sont des plaques colaminées comprenant une feuille centrale 40 dont chaque face est revêtue d'une couche 30. Selon un autre mode de réalisation, l'agent de brasage 30 peut prendre la forme d'un feuillard ou d'une couche de revêtement de surface 30. La couche de revêtement 30 peut être déposée par pulvérisation ou par application au pinceau de l'agent de brasage 30 sous forme d'une suspension de poudre contenant la poudre, un dispersant, un liant, des additifs pour contrôler la viscosité.

De préférence, l'agent de brasage 30 a une épaisseur e comprise entre 50 et 300 μm , de préférence comprise entre 100 et 250 μm .

L'agent de brasage 30 est de préférence formé d'un matériau métallique ayant une température de fusion inférieure à celle des matériaux constitutifs des pièces 6, 221. Les pièces 6, 221 et 30 sont de préférence formées d'alliage d'aluminium. Les plaques et les éléments intercalaires de l'échangeur sont avantageusement formées d'un premier alliage d'aluminium de la famille 3XXX, de préférence du type 3003 (norme ASME SB-2019 SECTION 2-B). L'agent de brasage 30 est formé d'un deuxième alliage d'aluminium, de préférence un alliage du type 4XXX (norme ASME SB-2019 SECTION 2-B), en particulier du type 4004.

Comme on le voit en coupe transversale sur la Figure 3, l'échangeur selon l'invention comprend un premier élément intercalaire 221 et un deuxième élément intercalaire 222 superposés dans la hauteur H d'un passage 33 pour le premier fluide. Le premier élément intercalaire 221 s'étend en regard de la première plaque 6 et le deuxième élément intercalaire 222 s'étend en regard de la deuxième plaque 7. De préférence, la superposition des premier et deuxième éléments intercalaires forme un ensemble de forme globalement parallélépipédique.

Selon l'invention, le premier élément intercalaire 221 définit un premier ensemble de canaux 26 s'étendant parallèlement à une première direction z_1 et le deuxième élément intercalaire 222 définit un deuxième ensemble de canaux 27 s'étendant parallèlement à une deuxième direction z_2 . Les première et deuxième directions z_1 , z_2 sont parallèles aux plaques 6, 7 et forment entre elles, en section dans un plan parallèle aux première et deuxième plaques 6, 7, un angle aigu A avec la deuxième direction z_2 .

La Figure 3 montre ainsi un exemple d'agencement selon l'invention suivant deux plans de coupe transversale P1 et P2 agencés à des positions différentes suivant la direction longitudinale z , c'est-à-dire dans la longueur L du passage 33. Cet agencement est également schématisé en coupe longitudinale dans un plan parallèle aux plaques 6, 7 sur la Figure 4.

L'agencement d'éléments intercalaires selon l'invention favorise la résistance à la compression des passages lors du brasage sous vide de l'échangeur. De plus, cela permet d'utiliser des éléments intercalaires de hauteurs réduites, ce qui est intéressant lorsque l'on souhaite travailler avec des densités d'ailettes plus importantes. De plus, des canaux de hauteur réduite sont plus accessibles, ce qui facilite la réalisation de texturations de surface lorsque cela est souhaitable.

En outre, le fait de disposer deux éléments intercalaires 221, 222 distincts dans le passage 33 de l'échangeur, l'un s'étendant en regard de la première plaque 6, et l'autre s'étendant en regard de la deuxième plaque 7, est particulièrement intéressant lorsque l'on souhaite utiliser des éléments intercalaires à texturation de surface. On dispose en effet d'un plus grand degré de liberté quant aux surfaces des éléments qui peuvent présenter la texturation de surface 23. En particulier, les surfaces de chaque élément qui sont situées à l'opposé de la plaque à laquelle cet élément doit être assemblé peuvent, en tout ou partie, présenter une texturation de surface.

Cela permet de maximiser la part de surface interne des canaux 26, 27 formés au sein du passage 33 qui peut présenter une texturation de surface, tout en continuant d'utiliser les procédés traditionnels de fabrication d'échangeurs à plaques et ailettes brasés puisque les joints de brasage peuvent être réalisés au niveau de surfaces sans texturation.

De préférence, l'angle aigu A est inférieur ou égal à 30 °, de préférence encore inférieur ou égal à 20 °.

Selon un mode de réalisation illustré sur la Figure 4, l'écoulement du premier fluide a lieu globalement suivant la direction longitudinale z, qui est de préférence verticale lors du fonctionnement de l'échangeur. La première direction z1 forme un premier angle β avec la direction longitudinale z et/ou la deuxième direction z2 formant un deuxième angle α avec la direction longitudinale z, les premier et deuxième angles β , α étant inférieurs ou égaux à 15 °, de préférence compris entre 1 et 10 °. Etant précisé que les premier et deuxième angles ne sont pas nécessairement égaux.

En utilisant des angles d'inclinaison relativement faibles, on améliore la résistance mécanique du passage 33 tout en limitant, voire en évitant, le risque de perturber l'écoulement du premier fluide ou de créer des zones mortes au sein du passage, c'est-à-dire des zones de stagnation de fluide.

Selon une variante illustrée sur la Figure 5, l'un des éléments intercalaires, le premier 221 sur la Figure 5, comprend des canaux 26 qui s'étendent parallèlement à une première direction z1 qui est parallèle à la direction longitudinale z. Dans ce cas, le premier angle α est égal à 0°.

Comme illustré sur la Figure 4, le premier élément intercalaire 221 peut comprendre un premier ensemble d'ailettes ou jambes d'onde 123 délimitant le premier ensemble de canaux 26 et le deuxième élément intercalaire 222 peut comprendre un deuxième ensemble d'ailettes ou jambes d'onde 223 délimitant le deuxième ensemble de canaux 27.

Les ailettes ou jambes d'onde 123, 223 forment les parois latérales des canaux 26, 27 et s'étendent globalement selon les première et deuxième directions z1, z2. Les ailettes ou jambes d'onde 223 du premier ensemble se succédant suivant une première direction latérale x1 parallèle aux plaques 6, 7 et orthogonale à la première direction z1 et les ailettes ou jambes d'onde 223 du deuxième ensemble se succédant suivant une deuxième direction latérale x2 parallèle aux plaques 6, 7 et orthogonale à la deuxième direction z2.

De préférence, les canaux 26 du premier ensemble et les canaux 27 du deuxième ensemble sont agencés de sorte que chaque canal 26 du premier

ensemble croise au moins un canal 27 du deuxième ensemble en un point d'intersection i , comme illustré sur la Figure 3.

Comme on le voit sur la Figure 3, les canaux 26, 27 des premier et deuxième ensembles peuvent présenter respectivement une première hauteur h_1 et une deuxième hauteur h_2 , mesurées suivant la direction d'empilement y et perpendiculaire aux plaques 6, 7, telles que $h_1+h_2=H$. Ainsi, la structure d'échange formée par la superposition des premier et deuxième éléments intercalaires 221, 222 s'étend globalement de la première plaque 6 à la deuxième plaque 7, les premier et deuxième éléments intercalaires venant au moins en partie s'appuyer l'un sur l'autre, de manière à rigidifier le passage 33. De préférence, les premier et deuxième éléments présentent la même hauteur $h_1=h_2=H/2$.

Selon un mode de réalisation illustré sur la Figure 6, le passage 33 comprend plusieurs superpositions de premiers et deuxièmes éléments intercalaires 221, 222 se succédant, de préférence en juxtaposition, suivant la direction longitudinale z . En disposant plusieurs blocs de premiers et deuxièmes éléments intercalaires dans la longueur du passage, on homogénéise sa résistance à la compression.

Les première et deuxième directions z_1 , z_2 peuvent éventuellement varier selon la superposition 221, 222 considérée. La Figure 6 illustre le cas où les première et deuxième directions z_1 , z_2 sont les mêmes pour chaque superposition.

Avantageusement, le premier élément intercalaire 221 est destiné à être assemblé par brasage à la première plaque 6 et le deuxième élément intercalaire 222 est destiné à être assemblé par brasage à la deuxième plaque 7.

Comme on le voit sur la Figure 7, le premier élément 221 comprend de préférence au moins une première portion d'assemblage 121 positionnée contre la première plaque 6 (non illustrée sur la Figure 4). La première portion d'assemblage 121 comprend une première paire de surfaces 121a, 121b opposées, l'une 121a orientée du côté de la première plaque 6 et l'autre 121b orientée du côté de la deuxième plaque 7.

La Figure 8 montre un deuxième élément intercalaire 222 comprenant au moins une deuxième portion d'assemblage 321 positionnée contre la

deuxième plaque 7. La deuxième portion 321 comprend une deuxième paire de surfaces 321a, 321b opposées, l'une 321a étant orientée du côté de la première plaque 6 et l'autre 321b étant orientée du côté de la deuxième plaque 7.

Notons que les termes « positionnée contre », s'entendent d'une
5 portion d'assemblage juxtaposée à une plaque, avec ou sans jeu existant entre tout ou partie de la portion et la plaque.

Optionnellement, le premier et le deuxième éléments intercalaires 221, 222 comprennent au moins une texturation de surface 23 sous la forme d'une structure poreuse ou de reliefs formés sur des surfaces du premier et du
10 deuxième éléments intercalaires 221, 222.

Il est à noter que les éléments intercalaires peuvent présenter une ou plusieurs formes prédéterminées de texturation de surface réparties sur différentes zones de sa surface, étant entendu qu'une texturation de surface peut aussi bien être réalisée dans les surface du matériau constitutif des
15 éléments intercalaires qu'y être déposée, c'est-à-dire résulter d'un apport de matière supplémentaire sur les surfaces des éléments intercalaires.

De préférence, les éléments intercalaires 221, 222 comprennent chacun un substrat massif, en particulier un substrat non-poreux, sur lequel la texturation 23 est formée. Selon les structures des éléments intercalaires, les substrats
20 peuvent comprendre une ou plusieurs premières et/ou deuxièmes portions d'assemblage, les ailettes ou jambes d'onde.

A noter que chaque élément intercalaire est de préférence monobloc, c'est-à-dire formé d'une seule pièce.

Dans le cadre de l'invention, la texturation de surface 23 peut résulter
25 d'un revêtement de surface déposé sur l'élément ou bien d'une modification de l'état de surface dudit élément pièces.

En particulier, la texturation de surface 23 peut résulter d'un revêtement de surface déposé sur les substrats des éléments intercalaires, en particulier un revêtement déposé par voie liquide, notamment par trempage, pulvérisation ou
30 par voie électrolytique, par voie sèche, notamment par dépôt chimique en phase vapeur (en anglais *Chemical Vapor Deposition* ou *CVD*) ou dépôt physique en phase vapeur (en anglais *Physical Vapor Deposition* ou *CVD*), ou par projection thermique, en particulier par flamme ou par plasma.

La modification de l'état de surface desdites pièces pourra être obtenu par un traitement chimique ou par un traitement mécanique, par exemple par sablage, rainurage....

5 De préférence, la texturation de surface est formée d'aluminium ou d'un alliage d'aluminium comprenant, pour 100% de sa masse, au moins 80% en masse d'aluminium, de préférence au moins 90%, de préférence encore au moins 99% d'aluminium.

10 Selon un mode préféré de réalisation, la texturation de surface 23 est sous la forme d'une structure poreuse, de préférence une couche poreuse. La structure poreuse peut par exemple être formé d'un dépôt de particules d'aluminium légèrement frittées, de filaments d'aluminium enchevêtrés, de particules d'aluminium semi fondues collées les unes aux autres, telles les particules d'aluminium qui sont obtenues après projection que l'on obtient en projection thermique par flamme.

15 De préférence, la texturation de surface 23 présente avant brasage une porosité ouverte comprise entre 15 et 60%, de préférence entre 20 et 45%, de préférence encore une porosité ouverte initiale comprise entre 25 et 35% (% en volume). A noter que la porosité ouverte est définie comme le rapport entre le volume des pores ouverts, c'est-à-dire les pores communiquant fluidiquement
20 avec l'environnement extérieur dans lequel se situe l'élément intercalaire considéré, et le volume total de la structure poreuse.

25 Les pores de la structure poreuse 23 ont de préférence un diamètre compris entre 1 et 200 μm , de préférence compris entre 5 et 100 μm . Etant noté que les pores ne sont pas nécessairement de section circulaire mais peuvent présenter des formes irrégulières. Le terme « diamètre », couvre donc également un diamètre hydraulique équivalent qui peut être calculé à partir de
30 mesure de la perte de charge subit par un écoulement gazeux à travers la structure poreuse et en supposant que les pores ont une forme régulière, notamment sphérique, cylindrique, ...

30 On pourra également caractériser la dimension des pores par leur volume. De préférence, les pores de la structure poreuse 23 ont un volume compris entre 1000 et 1 000 000 μm^3 . Le volume des pores pourra par exemple

être déterminé par tomographie ou par analyse d'images de sections polies d'échantillons prises dans une multitude de directions dans l'espace.

De façon alternative, la texturation de surface 23 peut être sous la forme de reliefs, ou motifs, imprimés ou réalisés dans ou sur le matériau constitutif du substrat d'un élément intercalaire. De préférence, ces reliefs définissent, en coupe transversale, des cavités ouvertes à la surface de l'élément. Par exemple, des micro-reliefs ou taille ou morphologie diverses, tels des gorges, discrètes ou ininterrompues, des stries, des protubérances, ... pourront être formés ou déposés à la surface de l'élément considéré. En particulier, les reliefs formant la texturation de surface 23 peuvent être réalisés par usinage laser ou mécanique et/ou chimique.

Avantageusement, on pourra agencer des éléments intercalaires 221, 222 à texturation de surface dans une zone 3 d'un passage 33 de l'échangeur dans laquelle pénètre l'oxygène montant, les éléments présentant ainsi en surface des porosités ou reliefs multipliant les sites d'amorçage pour la formation du bulles d'oxygène gazeux OG.

De préférence, au moins une ailette ou jambe d'onde 123 du premier ensemble et au moins une ailette ou jambe d'onde 223 du deuxième ensemble présentant ladite texturation de surface 23, la première portion d'assemblage 121 étant exempte de texturation 23 au moins sur sa surface 121a orientée du côté de la première plaque 6 et ladite deuxième portion d'assemblage 321 étant exempte de texturation 23 au moins sur sa surface 321b orientée du côté de la deuxième plaque 7.

Ainsi, on préserve la mouillabilité et la bonne brasabilité des surfaces des premier et deuxième éléments intercalaires destinées à être positionnées contre les plaques adjacentes pour y être assemblées par brasage. Au cours du brasage, la répartition de l'agent de brasage au niveau du joint peut être contrôlée, ce qui conduit à un joint ayant de bonnes propriétés mécaniques et thermiques.

De préférence, les surfaces 6a, 6b, et 7a, 7b des plaques 6, 7 sont exemptes de texturation de surface. On préserve ainsi la qualité des joints de brasage formés avec les plaques.

Avantageusement, la première portion d'assemblage 121 présente la texturation de surface 23 sur sa surface 121b orientée du côté de la deuxième plaque 7, de préférence sur la totalité ou la quasi-totalité de ladite surface 121b, et la deuxième portion d'assemblage 221 présente la texturation de surface 23 sur sa surface 321a orientée du côté de la première plaque 6, de préférence sur la totalité ou la quasi-totalité de ladite surface 321a.

De préférence, la première portion d'assemblage 121 du premier élément intercalaire 221 est agencée entre deux ailettes ou jambes d'ondes 123 successives du premier ensemble, la surface 121b orientée du côté de la deuxième plaque 7 ayant deux extrémités reliées chacune à une surface de liaison 123a de chacune des deux ailettes ou jambes d'ondes 123. La surface 121b de la première paire et lesdites surfaces de liaison 123a, 123a présentant la texturation de surface 23, de préférence sur leur totalité ou quasi-totalité.

Ainsi, les ailettes ou jambes d'onde 123 délimitent entre elles un canal 26 dont le fond, formé par la première portion d'assemblage, et les parois latérales, formées par les deux ailettes 123, présente des surfaces internes à coefficient d'échange thermique amélioré.

De même, la deuxième portion d'assemblage 321 du deuxième élément intercalaire 222 peut être agencée entre deux ailettes ou jambes d'ondes 223 du deuxième ensemble, la surface 321a de la deuxième paire orientée du côté de la première plaque 6 ayant deux extrémités reliées chacune à une surface de liaison 223a, 223b de chacune des deux ailettes ou jambes d'ondes 223, ladite surface 321a de la deuxième paire et lesdites surfaces de liaison 223a présentant la texturation de surface 23, de préférence sur leur totalité ou quasi-totalité.

Ainsi, les ailettes ou jambes d'onde 223 délimitent entre elles un canal 27 dont le fond, formé par la première portion d'assemblage 121, et les parois latérales, formées par les deux ailettes 223, présente des surfaces internes à coefficient d'échange thermique amélioré.

De préférence, les surfaces 123b, 223b opposées auxdites surfaces de liaison 123a, 223a sont exemptes de texturation de surface 23.

A noter que dans la cadre de la présente invention, la quasi-totalité d'une surface, d'une face ou d'un élément s'entend d'une portion représentant au

moins 90%, de préférence au moins 95%, de préférence encore au moins 98% de la superficie de cette surface ou face ou de la superficie totale de cet élément.

Selon un mode de réalisation particulier, les premier et deuxième éléments intercalaires 221, 222 sont des produits ondulés comprenant chacun
5 une succession de jambes d'onde 123, 223 reliées alternativement par des sommets d'onde 121, 321 et des bases d'onde 122, 322.

Les explications qui suivent sont faites en référence aux Figures 7 et 8, étant entendu que les éléments intercalaires 221, 222 peuvent revêtir toute autre forme adéquate et n'incluent pas nécessairement toutes les caractéristiques
10 détaillées ci-après.

Les Figures 7 et 8 montrent des vues en coupe transversale de produits ondulés 221, 222. Chacun des produits ondulés 221, 222 comprennent plusieurs jambes d'onde 123, 223 de forme longiligne qui s'étendent parallèlement entre elles et globalement suivant une direction longitudinale z.
15 Les jambes d'onde se succèdent suivant une direction latérale x, qui est perpendiculaire à la direction longitudinale z, et sont reliées alternativement par des sommets d'onde 121, 321 et des bases d'onde 122, 322.

Selon l'exemple illustré sur les Figures 7 et 8, les sommets et les bases d'onde des premier et deuxième produits ondulés sont de forme plane et
20 s'étendent parallèlement entre eux et perpendiculairement aux jambes d'onde 123, 223. Les canaux 26, 27 pour le premier fluide, qui sont formés entre deux jambes d'onde successives et un sommet ou une base agencé entre lesdites jambes d'onde successives de chaque produit ondulé, présentent ainsi des sections transversales de forme générale rectangulaire.

Les Figures 7 et 8 illustrent des ondes droites présentant des jambes d'onde 123, 223 à surfaces planes. D'autres configurations d'éléments intercalaires 221, 222 sont bien sûr envisageables, notamment des configurations du type onde droite perforée, onde à décalage partiel, onde à vagues ou à arête de hareng (« *herringbone* » en anglais).
25

Les premier et deuxième produits ondulés 221, 222 selon les Figures 7 et 8 sont visibles sur la Figure 3 à l'état monté, c'est-à-dire montés entre une première et une deuxième plaque 6, 7 directement voisines formant un passage 33 d'échangeur. Le passage 33 est de forme globalement
30

parallélépipédique et configuré pour canaliser le premier fluide parallèlement à la direction longitudinale z.

En fonctionnement, le premier fluide s'écoule sur la largeur du passage 33, mesurée suivant la direction latérale x, entre une entrée et une sortie du passage 33 situées à deux extrémités opposées suivant la longueur du passage 33, mesurée suivant la direction longitudinale z. Les jambes d'onde 123, 223 délimitent, au sein du passage 33, une pluralité de canaux 26, 27 qui s'étendent parallèlement à la direction longitudinale z.

De préférence, les produits ondulés 221, 222 sont disposés en configuration dite « *easyway* » dans le passage 33, c'est-à-dire que les jambes d'onde 123, 223 s'étendent globalement suivant la direction d'écoulement du premier fluide dans le passage 33. A noter qu'en service, la direction d'écoulement du premier fluide est de préférence verticale, le sens d'écoulement pouvant être ascendant ou descendant.

Le premier produit ondulé 221 s'étend globalement parallèlement à la première plaque 6 et présente des sommets d'onde 121 positionnés contre la première plaque 6 pour y être assemblés. Le deuxième produit ondulé 222 s'étend globalement parallèlement à la deuxième plaque 7 et présente des sommets d'onde 321 positionnés contre la deuxième plaque 7 pour y être assemblés.

Pour chaque produit ondulé 221, 222, plusieurs paires de jambes d'onde 123, 223 s'étendent depuis deux sommets d'onde 121, 321 adjacents et sont reliées entre elles par des bases d'onde 122, 322.

Dans les exemples des Figures 7 et 8, les premier et deuxième produits ondulés 221, 222 sont exempts de texturation de surface.

Avantageusement, les premier et deuxième produits ondulés 221, 222 peuvent présenter au moins une texturation de surface 23 sur tout ou partie de leurs surfaces.

Dans le cas illustré sur la Figure 3, les sommets d'onde 121 du premier produit ondulé 221 sont exempts de texturation de surface 23 sur leur surface 121a orientée du côté de la première plaque 6, ce qui permet de les braser solidement à une portion d'assemblage réciproque sur la première plaque 6 lors de la fabrication de l'échangeur, mais présentent la texturation de surface 23 sur

leur surface 121b orientée du côté de la deuxième plaque 7, ce qui favorise les performances thermiques de l'échangeur.

5 Les sommets d'onde 321 du deuxième produit ondulé 222 sont exempts de texturation de surface 23 sur leur surface 321b orientée du côté de la deuxième plaque 7, ce qui permet de les braser solidement à une portion d'assemblage réciproque sur la deuxième plaque 7 lors de la fabrication de l'échangeur, mais présentent la texturation de surface 23 sur la surface 321a de la deuxième paire orientée du côté de la première plaque 6, ce qui favorise les performances thermiques de l'échangeur.

10 Comme visible plus distinctement sur les Figures 4 et 5, les produits ondulés 221, 222 comprennent des bases d'onde 122, 322 présentant chacune des surfaces opposées 122a, 122b, 322a, 322b.

15 Selon le mode de réalisation illustré sur la Figure 3, chaque produit ondulé 221, 222 est assemblé seulement à l'une des première et deuxième plaques 6, 7 par ses sommets d'onde 121, 122 respectifs.

20 Ainsi, les bases d'onde 122, 322 des premier et deuxième produits ondulés 221, 222 ne sont pas destinées à être brasées avec les plaques 6, 7 et peuvent présenter avantageusement une texturation de surface 23 sur leurs surfaces 122b orientées du côté de la deuxième plaque 7 en ce qui concerne le premier produit ondulé 221, et sur leurs surfaces orientées 322a orientées du côté de la première plaque 6 en ce qui concerne le deuxième produit ondulé 222. Cela permet de maximiser la superficie des surfaces à texturation de surface 23 présente dans le passage 23 et donc de maximiser l'efficacité de transfert thermique au sein dudit passage 33.

25 Selon un mode de réalisation illustré sur la Figure 9, les premier et deuxième produits ondulés 221, 222 peuvent chacun être formé à partir d'un produit plat. Avant sa mise en forme, le produit plat comprend deux faces opposées 221a, 221b ou 222a, 222b. La texturation de surface 23 est d'abord formée sur le produit plat, puis le produit plat est mis en forme, généralement par emboutissage. De préférence le produit plat, par exemple une tôle ou feuillard, a une épaisseur d'au moins 0,15 mm, de préférence comprise entre 0,2 et 0,5 mm.

30

Avantageusement, on forme au moins une texturation de surface 23 sur l'une seulement desdites faces opposées 221a, 221b ou 222a, 222b. De préférence, les faces opposées 221b, 222a sur lesquelles la texturation de surface 23 est formée présentent ladite texturation, sur leur totalité ou leur quasi-totalité. La face 221b sur laquelle la texturation est formée donne lieu, après mise en forme, aux surfaces 123a, 121b, 122b du premier produit ondulé identifiées ci-dessus. La face 222a sur laquelle la texturation est formée donne lieu, après mise en forme, aux surfaces 123a, 321a, 322a du deuxième produit ondulé identifiées ci-dessus.

Selon ce mode de réalisation, toutes les surfaces du premier produit 221 situées, à l'état monté, du côté de la deuxième plaque 7 présentent donc une texturation de surface 23 et toutes les surfaces du premier produit 221 situées, à l'état monté, du côté de la première plaque 6 sont exemptes de texturation de surface 23. De même, toutes les surfaces du deuxième produit ondulé 222 situées, à l'état monté, du côté de la première plaque 6 présentent une texturation de surface 23 et toutes les surfaces du deuxième produit ondulé 222 situées, à l'état monté, du côté de la deuxième plaque 7 sont exemptes de texturation de surface 23.

Ainsi, on simplifie le procédé de fabrication puisque la texturation de surface peut être formée ou déposée sur une face entière des produits ondulés sans nécessiter d'étape supplémentaire de masquage ou de post-traitement visant à éliminer la texturation de surface des portions à assembler puisque cette face n'est pas destinée à former des portions d'assemblage avec une plaque. Aucune texturation n'est réalisée sur l'autre face des produits ondulés de manière à préserver la qualité des joints de brasage des produits ondulés avec les plaques.

Il n'est pas nécessaire de réaliser de texturation de surface après montage des éléments intercalaires 221, 222 dans l'échangeur puisque ceux-ci présentent déjà la texturation sur les zones souhaitées des ailettes. On peut ainsi incorporer une structure d'échange thermique à surface intensifiée dans l'échangeur tout en préservant l'intégrité structurelle de la matrice de l'échangeur et de ses canaux internes.

De préférence, les premier et deuxième produits ondulés 221, 222 ont des densités, définies comme le nombre de jambes d'onde par unité de longueur mesuré le long de la direction latérale x, inférieure à 18 jambes par 2,54 centimètres, de préférence inférieure à 10 jambes d'onde par 2,54 centimètres, de préférence encore inférieure ou égale à 5 jambes par 2,54 centimètre. Avantageusement, la densité peut être comprise entre 1 et 5 jambes par 2,54 centimètres. A noter que ces valeurs de densités sont applicables à des éléments intercalaires qui ne sont pas nécessairement des produits ondulés, les ailettes se succédant selon la direction latérale x et la densité étant alors définie comme le nombre d'ailettes par unité de longueur, mesuré suivant la direction latérale x.

L'utilisation d'une densité relativement faible permet de faciliter la phase de dépôt de la texturation de surface sur les ailettes ou jambes d'onde, leur surface étant plus accessible. En outre, l'utilisation d'éléments intercalaires de densité plus faible facilite l'élimination des bulles créées au niveau de la texturation de surface.

De préférence, chaque base d'onde 122 du premier produit ondulé 221 présente au moins une zone de contact ou quasi-contact avec au moins une base d'onde 322 du deuxième produit ondulé 222. On améliore ainsi la rigidité du passage 33, tout en ayant la possibilité d'utiliser des produits ondulés de densité relativement faible. De telles zones de contact ou quasi-contact sont visibles sur la Figure 3 dans le plan de coupe transversale P1.

Par « quasi-contact », on entend qu'il existe un jeu très faible entre tout ou partie desdites bases d'onde, de préférence un jeu compris entre 0 et 0,1 mm, de préférence encore compris entre 0 et 0,05 mm.

Etant noté que les bases peuvent seulement être mises en contact sans nécessiter de brasage entre elles. Cela est possible notamment lorsqu'en fonctionnement, les canaux 26, 27 canalisent un premier fluide dont la pression est relativement faible, typiquement inférieure ou égale à 5 bar, de préférence une pression comprise entre 1 et 2 bar, comme c'est le cas dans les passages pour l'oxygène du vaporiseur-condenseur précédemment décrit.

Selon un mode de réalisation, pour chacun des premier et deuxième produits ondulés 221, 222, au moins un sommet d'onde 121, 321, de préférence

chaque sommet d'onde 121, 321, présente deux extrémités reliées à des jambes d'onde 123, 223 respectives séparées par une première largeur L1, mesurée suivant la direction latérale x. Au moins une base d'onde 122, 322, de préférence chaque base d'onde 122, 322, présente deux extrémités reliées à des jambes d'onde 123, 223 respectives séparées par une deuxième largeur L2, mesurée suivant la direction latérale x. Etant noté que les largeurs L1, L2 correspondent à l'écartement entre deux jambes d'onde successives, mesuré suivant la direction latérale x, typiquement en section dans un plan médian de l'onde qui est parallèle aux plaques

10 De préférence, on configure les premier et deuxième produits ondulés de sorte que le rapport $L2/L1$ soit strictement inférieur à 1, de préférence compris entre 0,1 et 0,4, de préférence encore entre 0,1 et 0,35.

Il est aussi possible que les largeurs L1, L2 soient égales entre elles.

15 Ainsi, le premier ensemble de jambes d'onde 123 et le deuxième ensemble de jambes d'onde 223 comprennent chacun un agencement périodique de paires de jambes d'onde, la période de cet agencement correspondant à la distance $L1+L2$.

20 De préférence, la première largeur L1 est comprise entre 3 et 20 mm, de préférence entre 5 et 15 mm, et la deuxième largeur L2 est comprise entre 1,2 et 7 mm, de préférence entre 2 et 5 mm.

Etant précisé que le premier produit ondulé peut présenter des largeurs et/ou des hauteurs identiques à celles du deuxième produit ondulé, mais pas nécessairement.

25

REVENDEICATIONS

1. Echangeur de chaleur du type à plaques et ailettes brasées comprenant une pluralité de plaques agencées parallèlement entre elles de façon à définir une série de passages (33) pour l'écoulement d'un premier fluide à mettre en relation d'échange thermique avec au moins un deuxième fluide, au moins un passage (33) étant formé entre une première plaque (6) et une deuxième plaque (7) successives et comprenant :
- au moins un premier élément intercalaire (221) s'étendant en regard de la première plaque (6) et définissant, au sein du passage (33), un premier ensemble de canaux (26) pour l'écoulement du premier fluide,
 - au moins un deuxième élément intercalaire (222) s'étendant en regard de la deuxième plaque (7) et définissant, au sein du passage (33), un deuxième ensemble de canaux (27) pour l'écoulement du premier fluide,
- lesdits premier et deuxième éléments intercalaires (221, 222) étant superposés dans la hauteur (H) du passage (33), mesurée perpendiculairement aux plaques (6, 7),
- caractérisé en ce que les canaux (26) du premier ensemble s'étendent globalement parallèlement à une première direction (z1) parallèle aux première et deuxième plaques (6, 7) et les canaux (27) du deuxième ensemble s'étendent globalement parallèlement à une deuxième direction (z2) parallèle aux première et deuxième plaques (6, 7), la première direction (z1) formant, en section dans un plan parallèle aux première et deuxième plaques (6, 7), un angle aigu (A) avec la deuxième direction (z2).
2. Echangeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'angle aigu (A) est inférieur ou égal à 30° , de préférence inférieur ou égal à 20° .
3. Echangeur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les passages (33) s'étendent sur une longueur (L), mesurée suivant une direction longitudinale (z), de préférence verticale lors du fonctionnement de l'échangeur, la première direction (z1) formant un premier angle (β) avec la direction longitudinale (z) et/ou la deuxième direction (z2) formant un deuxième

angle (α) avec la direction longitudinale (z), les premier et deuxième angles (β , α) étant inférieurs ou égaux à 15° , de préférence compris entre 1 et 10° .

4. Echangeur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le premier élément intercalaire (221) comprend un premier ensemble d'ailettes ou jambes d'onde (123) délimitant le premier ensemble de canaux (26) et le deuxième élément intercalaire (222) comprend un deuxième ensemble d'ailettes ou jambes d'onde (223) délimitant le deuxième ensemble de canaux (27), les ailettes ou jambes d'onde (223) du premier ensemble se succédant suivant une première direction latérale (x_1) parallèle aux première et deuxième plaques (6, 7) et orthogonale à la première direction (z_1) et les ailettes ou jambes d'onde (223) du deuxième ensemble se succédant suivant une deuxième direction latérale (x_2) parallèle aux première et deuxième plaques (6, 7) et orthogonale à la deuxième direction (z_2).

15

5. Echangeur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les canaux (26) du premier ensemble et les canaux (27) du deuxième éléments intercalaires (221, 222) présentent respectivement une première hauteur (h_1) et une deuxième hauteur (h_2), mesurées suivant une direction d'empilement (y) qui est perpendiculaire aux plaques (6, 7), telles que ($h_1+h_2=H$).

20

6. Echangeur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque canal (26) du premier ensemble croise au moins un canal (27) du deuxième ensemble en un point d'intersection (i).

25

7. Echangeur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le passage (33) comprend plusieurs superpositions de premiers et deuxièmes éléments intercalaires (221, 222) se succédant suivant la direction longitudinale (z).

30

8. Echangeur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le premier et le deuxième éléments intercalaires (221, 222) comprenant au moins une texturation de surface (23) sous la forme d'une

structure poreuse ou de reliefs formés sur des surfaces du premier et du deuxième éléments intercalaires (221, 222),

9. Echangeur selon la revendication 8, caractérisé en ce que le
5 premier élément intercalaire (221) comprend au moins une première portion d'assemblage positionnée contre la première plaque (6) et comprenant une première paire de surfaces (121a, 121b) opposées, l'une (121a) des surfaces de la première paire étant orientée du côté de la première plaque (6) et l'autre (121b) des surfaces de la première paire étant orientée du côté de la deuxième
10 plaque (7), et le deuxième élément intercalaire (222) comprenant au moins une deuxième portion d'assemblage (321) positionnée contre la deuxième plaque (7) et comprenant une deuxième paire de surfaces (321a, 321b) opposées, l'une (321a) des surfaces de la deuxième paire étant orientée du côté de la première plaque (6) et l'autre (321b) des surfaces de la deuxième paire étant orientée du
15 côté de la deuxième plaque (7), la première portion d'assemblage (121) étant exempte de texturation de surface (23) sur au moins celle (121a) des surfaces de la première paire orientée du côté de la première plaque (6) et la deuxième portion d'assemblage (321) étant exempte de texturation de surface (23) sur au moins l'autre (321b) des surfaces de la deuxième paire orientée du côté de la
20 deuxième plaque (7).

10. Echangeur selon l'une des revendications 8 ou 9, caractérisé en ce que la première portion d'assemblage (121) présente la texturation de surface (23) sur la surface (121b) de la première paire orientée du côté de la
25 deuxième plaque (7) et la deuxième portion d'assemblage (221) présente la texturation de surface (23) sur la surface (321a) de la deuxième paire orientée du côté de la première plaque (6).

11. Echangeur selon l'une des revendications 8 à 10, caractérisé
30 en ce que la texturation de surface (23) est sous la forme d'une structure poreuse ayant une porosité ouverte comprise entre 15 et 60 %, de préférence une porosité ouverte comprise entre 20 et 45 % (% en volume) ou sous la forme

de reliefs définissant, en coupe transversale, des cavités ouvertes à la surface des premier et deuxième éléments intercalaires (221, 222).

12. Echangeur selon l'une des revendications précédentes,
5 caractérisé en ce que les premier et deuxième éléments intercalaires sont sous la forme respectivement d'un premier et d'un deuxième produits ondulés (221, 222) comprenant chacun une succession de jambes d'onde (123, 223) reliées alternativement par des sommets d'onde (121, 321) et des bases d'onde (122, 322), le premier produit ondulé comprenant un premier ensemble de jambes
10 d'onde (123) délimitant le premier ensemble de canaux (26) et le deuxième produit ondulé comprenant un deuxième ensemble de jambes d'onde (223) délimitant le deuxième ensemble de canaux (27).

13. Echangeur selon la revendication 12, caractérisé en ce que
15 les sommets d'onde (121) du premier produit ondulé (221) sont positionnés contre la première plaque (6) et les sommets d'onde (321) du deuxième produit ondulé (222) sont positionnés contre la deuxième plaque (7).

14. Echangeur selon l'une des revendications 12 ou 13,
20 caractérisé en ce qu'au moins une base d'onde (122) du premier produit ondulé (221) présente au moins une zone de contact ou quasi-contact avec au moins une base d'onde (322) du deuxième produit ondulé (222).

15. Echangeur selon l'une des revendications 12 à 14, caractérisé
25 en ce qu'au moins un sommet d'onde (121, 321) des premier et deuxième produits ondulés (221, 222) présente deux extrémités reliées à des jambes d'onde (123, 223) respectives séparées par une première largeur (L1), mesurée suivant la direction latérale (x), et au moins une base d'onde (122, 322) des
30 premier et deuxième produits ondulés (221, 222) présente une deuxième largeur (L2), mesurée suivant la direction latérale (x), le rapport (L2/L1) entre la deuxième largeur et la première largeur étant inférieur à 1, de préférence compris entre 0,1 et 0,4, de préférence encore compris entre 0,1 et 0,35.

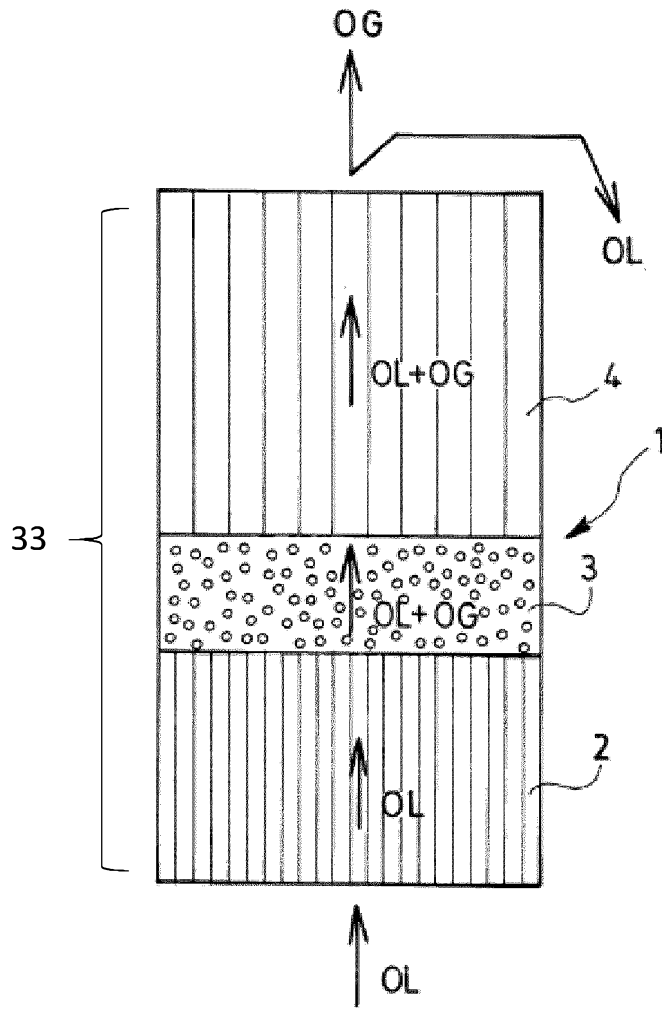


Figure 1

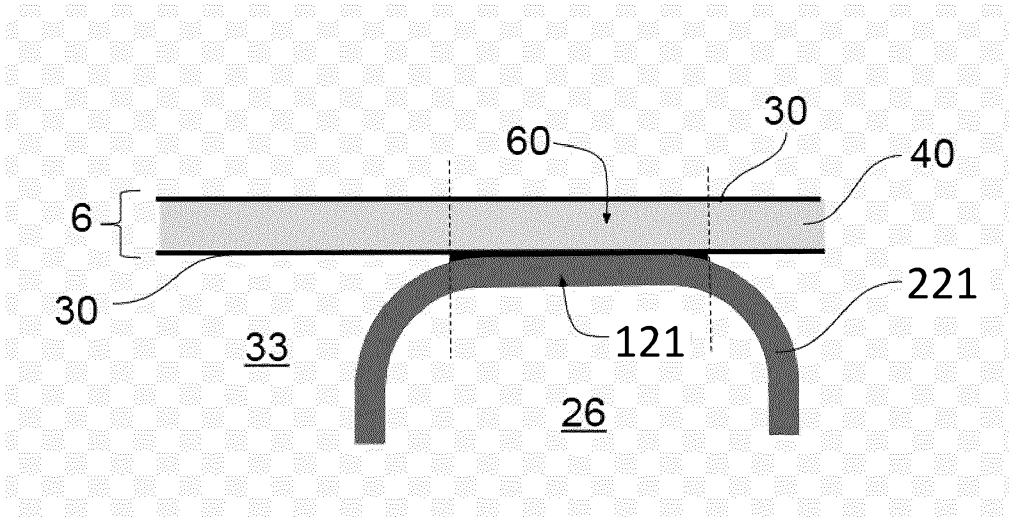


Figure 2

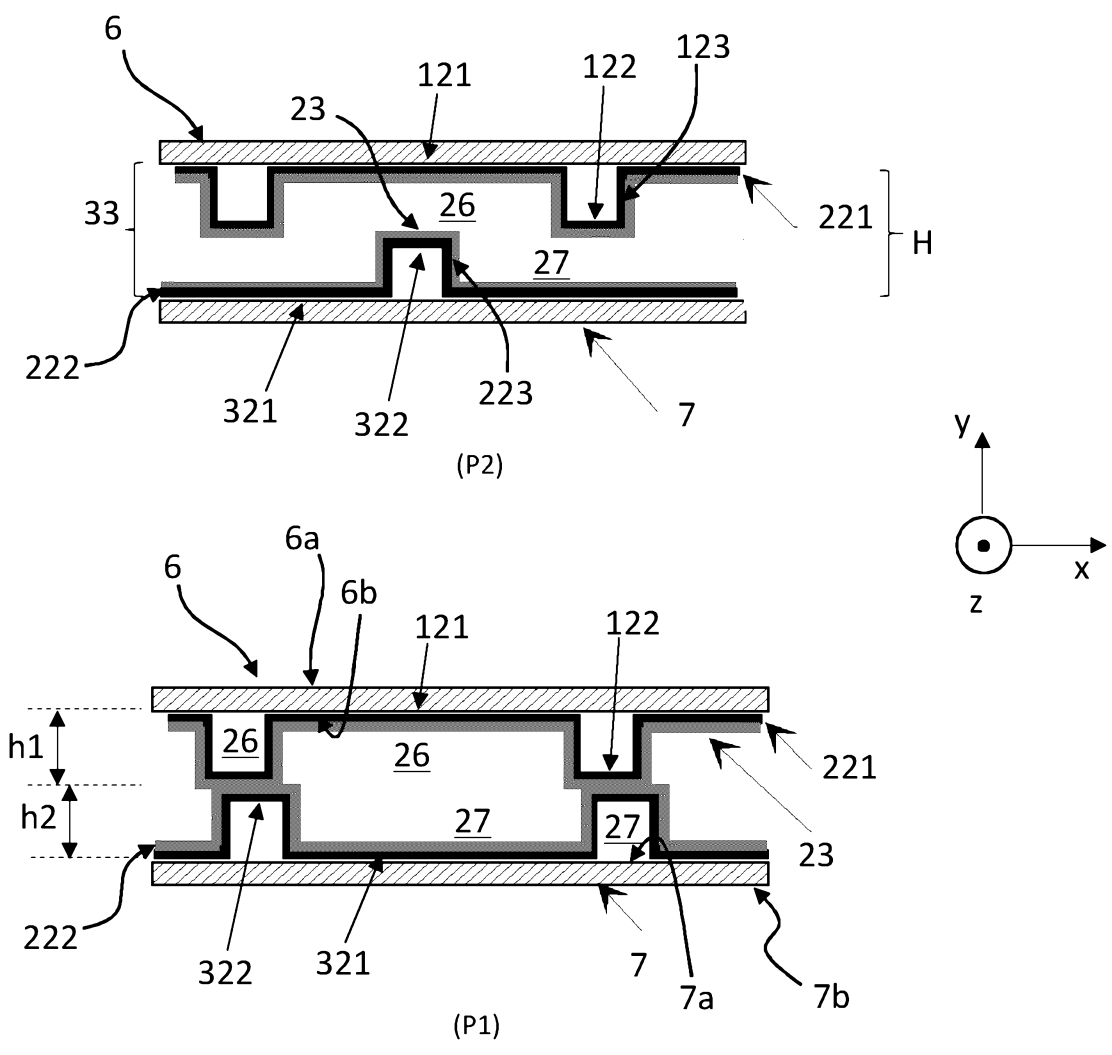


Figure 3

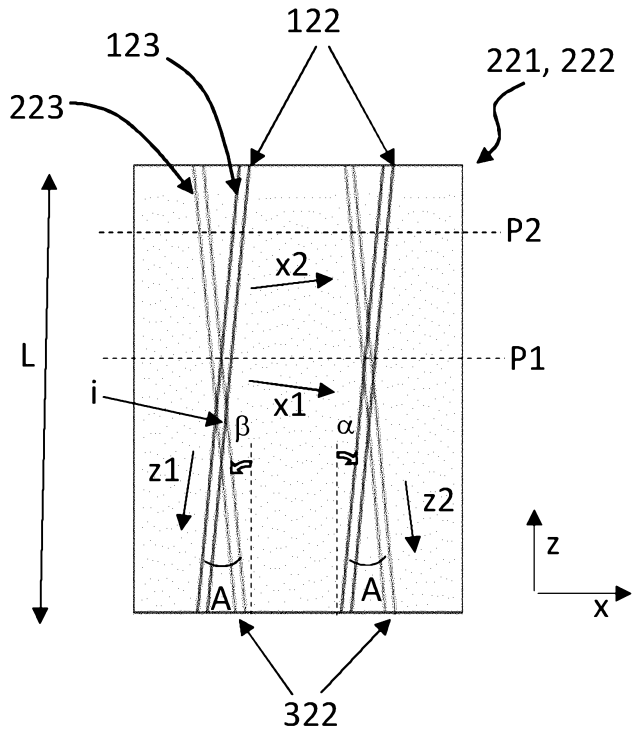


Figure 4

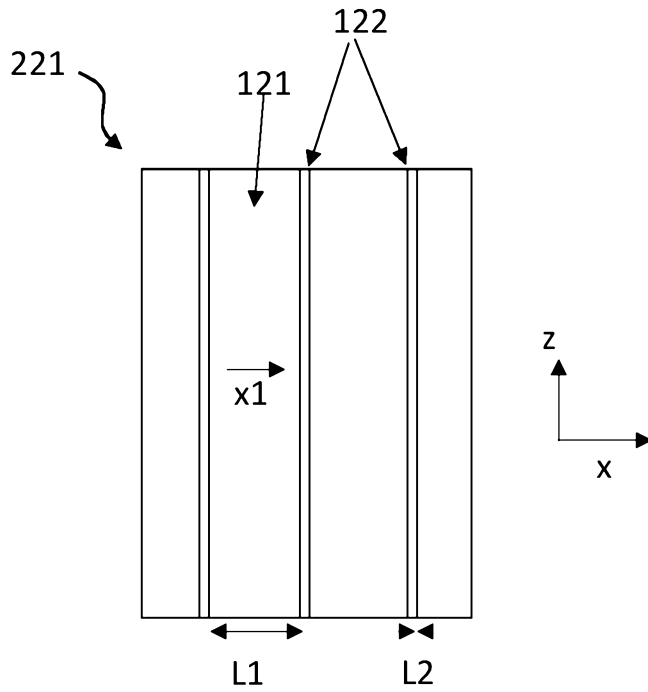


Figure 5

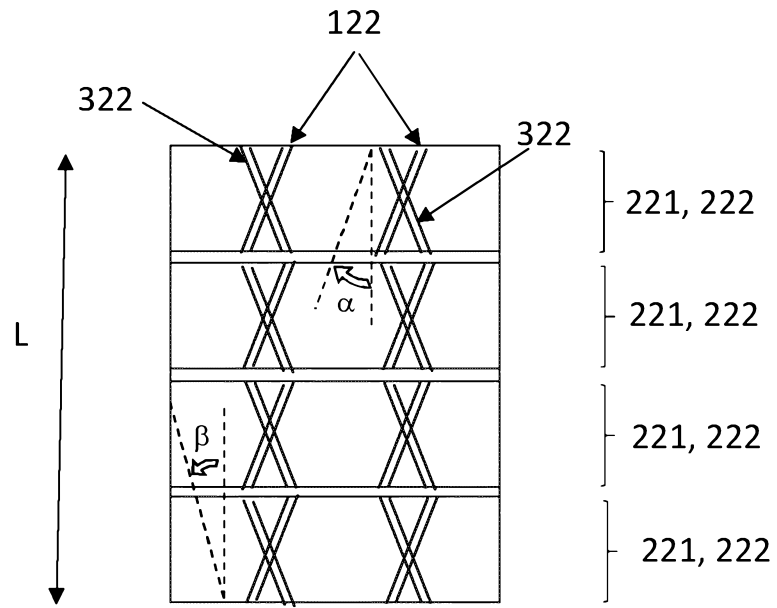


Figure 6

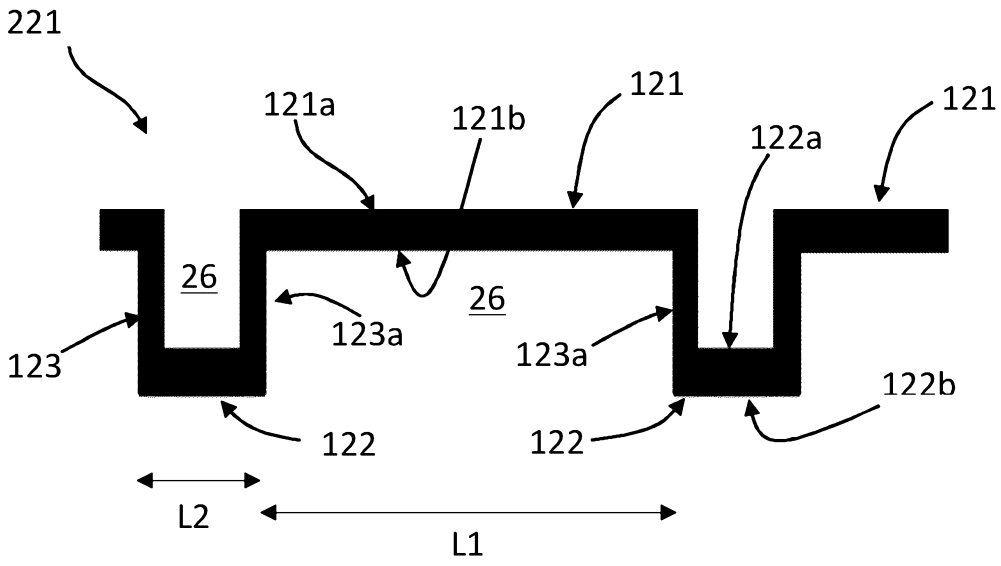


Figure 7

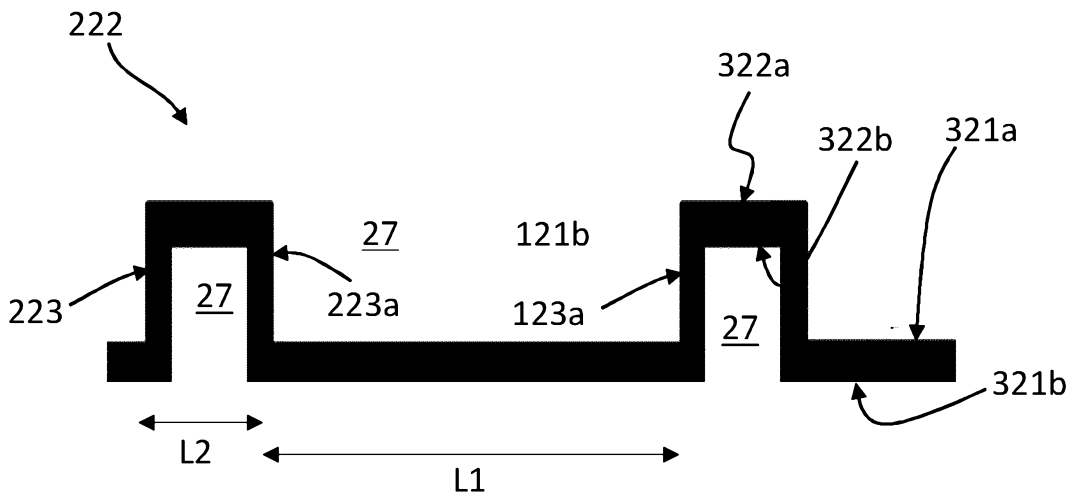
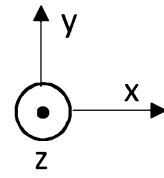


Figure 8

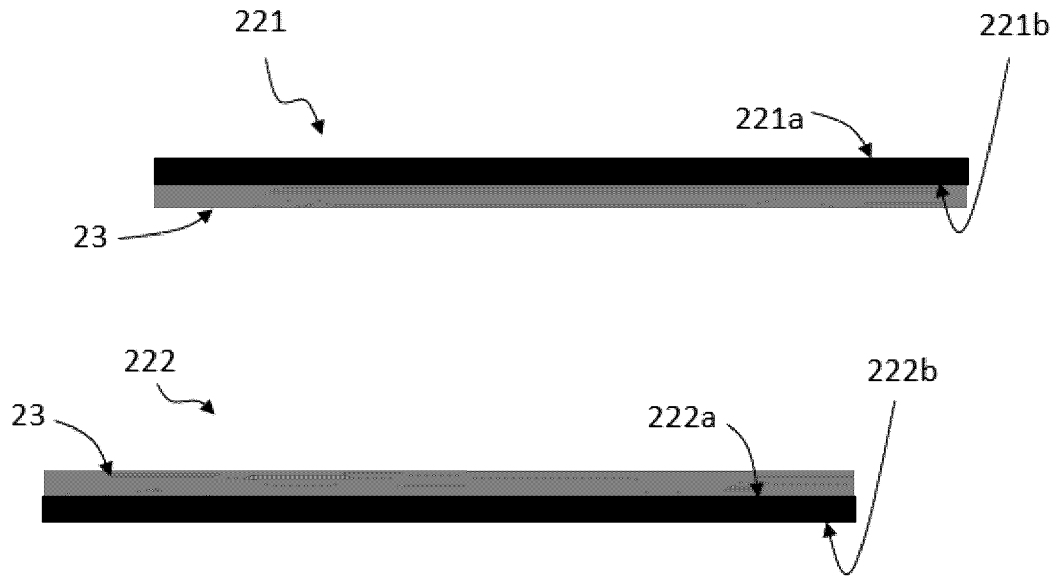


Figure 9

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 846653
FR 1762419

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS | | Revendication(s) concernée(s) | Classement attribué à l'invention par l'INPI |
|--|--|--|--|
| Catégorie | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | | |
| A | US 2 782 009 A (RIPPINGILLE EDWARD V) 19 février 1957 (1957-02-19) * colonne 2, ligne 25 - colonne 3, ligne 43; figures 1, 2 * ----- | 1-15 | F28D9/02 F28F3/02 F28F3/08 F28F21/00 F28F13/18 |
| A | EP 0 338 704 A1 (MITSUBISHI ALUMINIUM [JP]) 25 octobre 1989 (1989-10-25) * colonne 4, ligne 14 - colonne 6, ligne 31; figures 4, 5 * ----- | 1-15 | |
| A | FR 2 308 892 A1 (UNILEVER NV [NL]) 19 novembre 1976 (1976-11-19) * page 5, lignes 22-25; figure 6 * ----- | 1-15 | |
| A | EP 1 172 625 A2 (AIR LIQUIDE [FR]) 16 janvier 2002 (2002-01-16) * alinéas [0015] - [0022]; figures 1, 2 * ----- | 1-15 | |
| | | | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) |
| | | | F28D F28F |
| Date d'achèvement de la recherche | | Examineur | |
| 12 septembre 2018 | | Axters, Michael | |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS | | T : théorie ou principe à la base de l'invention | |
| X : particulièrement pertinent à lui seul | | E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure | |
| Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie | | à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. | |
| A : arrière-plan technologique | | D : cité dans la demande | |
| O : divulgation non-écrite | | L : cité pour d'autres raisons | |
| P : document intercalaire | | | |
| | | & : membre de la même famille, document correspondant | |

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1762419 FA 846653**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **12-09-2018**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

| Document brevet cité au rapport de recherche | | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | | Date de publication |
|---|-----------|------------------------|---|---------------|------------------------|
| US 2782009 | A | 19-02-1957 | AUCUN | | |
| ----- | | | | | |
| EP 0338704 | A1 | 25-10-1989 | DE | 68912636 D1 | 10-03-1994 |
| | | | DE | 68912636 T2 | 01-09-1994 |
| | | | EP | 0338704 A1 | 25-10-1989 |
| | | | US | 5040596 A | 20-08-1991 |
| ----- | | | | | |
| FR 2308892 | A1 | 19-11-1976 | AT | 343698 B | 12-06-1978 |
| | | | CH | 613513 A5 | 28-09-1979 |
| | | | DE | 2518683 A1 | 04-11-1976 |
| | | | DK | 183476 A | 27-10-1976 |
| | | | FR | 2308892 A1 | 19-11-1976 |
| | | | IT | 1059918 B | 21-06-1982 |
| | | | JP | S521553 A | 07-01-1977 |
| | | | NL | 7604402 A | 28-10-1976 |
| US | 4089324 A | 16-05-1978 | | | |
| ----- | | | | | |
| EP 1172625 | A2 | 16-01-2002 | CA | 2352632 A1 | 11-01-2002 |
| | | | CN | 1333451 A | 30-01-2002 |
| | | | EP | 1172625 A2 | 16-01-2002 |
| | | | FR | 2811747 A1 | 18-01-2002 |
| | | | JP | 2002062085 A | 28-02-2002 |
| | | | US | 2002011331 A1 | 31-01-2002 |
| ----- | | | | | |