

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
14 décembre 2006 (14.12.2006)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2006/131685 A2

(51) Classification internationale des brevets : **Non classée**

F-92360 Meudon La Forêt (FR). **DESCHODT, Sophie**
[FR/FR]; 4A, Résidence Du Val, F-91120 Palaiseau (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2006/050600

(74) Mandataire : **MERCEY, Fiona**; c/o L'AIR LIQUIDE SA,
75 quai d'Orsay, F-75321 Paris Cedex 07 (FR).

(22) Date de dépôt international : 6 juin 2006 (06.06.2006)

(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0551560 9 juin 2005 (09.06.2005) FR

(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) : **L'AIR LIQUIDE SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE** [FR/FR]; 75 quai d'Orsay, F-75007 Paris (FR).

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,

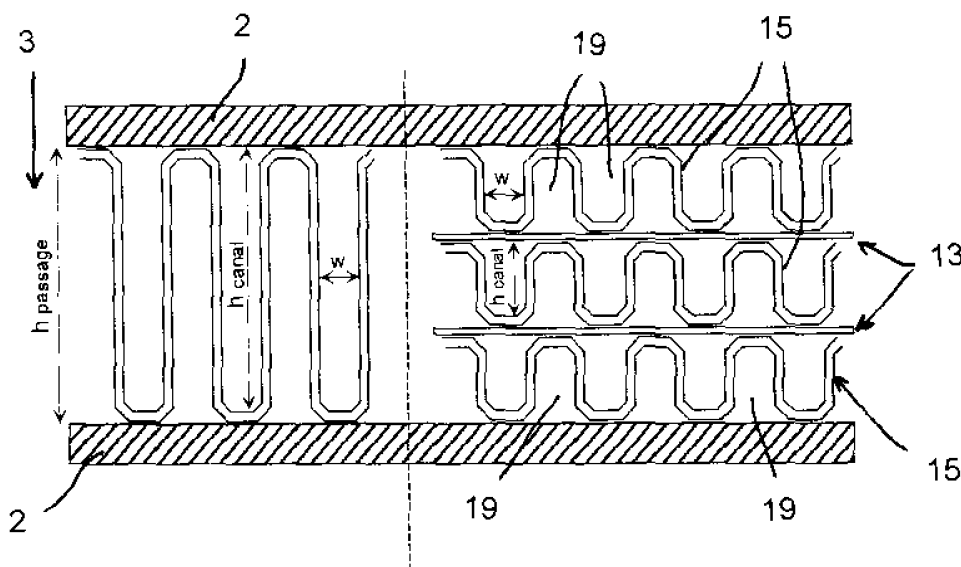
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) :
CRAYSSAC, Frédéric [FR/FR]; 34 rue Louis Bouchet,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: PLATE HEAT EXCHANGER WITH EXCHANGING STRUCTURE FORMING SEVERAL CHANNELS IN A PASSAGE

(54) Titre : ECHANGEUR DE CHALEUR A PLAQUES AVEC STRUCTURE D'ECHANGE FORMANT PLUSIEURS CANAUX DANS UN PASSAGE



(57) Abstract: The invention concerns a heat exchanger with brazed plates comprising a stack of parallel plates defining a plurality of generally flat fluid circulating passages, closure bars which delimit said passages and distributing means for distributing a fluid to each passage of a first series of passages and means for conveying another fluid to a second series of passages wherein at least one passage contains organized exchanging structures (15) which form a plurality of channels (19) in the width of the passage and also at least three channels (19) in the height of the passage. The invention is useful for air separation by cryogenic distillation.

[Suite sur la page suivante]



FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT,
RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport*

(57) Abrégé : Un échangeur de chaleur à plaques brasées comprend un empilement de plaques parallèles qui définissent une pluralité de passages de circulation de fluide de forme générale plate, des barres de fermeture qui délimitent ces passages et des moyens de distribution pour distribuer un fluide à chaque passage d'une première série de passages et des moyens pour envoyer un autre fluide à une deuxième série de passages dans lequel au moins un passage contient des structures d'échange organisées (15) qui forment une pluralité de canaux (19) dans la largeur du passage et également au moins trois canaux (19) dans la hauteur du passage. Application à la séparation de l'air par distillation cryogénique.

Echangeur de chaleur à plaques avec structure d'échange formant plusieurs canaux dans un passage

La présente invention se rapporte à un échangeur de chaleur à plaques et ailettes.

Il existe différents types d'échangeurs de chaleur à plaques et ailettes, adaptés chacun à un domaine d'utilisation. En particulier, l'invention s'applique de façon avantageuse à un échangeur de chaleur d'une unité de séparation d'air ou de mélanges H_2/CO (hydrogène/monoxyde de carbone) par distillation cryogénique.

Cet échangeur peut être une ligne d'échange principale d'un appareil de séparation d'air, qui refroidit l'air entrant par échange de chaleur indirect avec les produits froids issus de la colonne de distillation, un sous-refroidisseur ou un vaporiseur/condenseur.

La technologie couramment utilisée pour ces échangeurs est celle des échangeurs en aluminium à plaques et ailettes brasés, qui permettent d'obtenir des organes très compacts offrant une grande surface d'échange.

Ces échangeurs sont constitués de plaques entre lesquelles sont insérées des ondes ou ailettes, formant ainsi un empilage de passages dits « froids » et de passages dits « chauds ».

Les ondes d'échange couramment utilisées sont des ondes droites, ondes perforées, et ondes à décalage partiel ou « serrated ».

Ces ondes se caractérisent à l'aide des paramètres suivants :

h (mm) :	hauteur de l'onde (de 3 à 10 mm).
e (mm) :	épaisseur de l'onde (de 0,2 à 0,6 mm).
n (m^{-1} ou $pouce^{-1}$) :	nombre d'ondes par unité de longueur (de 177 à 1102 ondes/m).
perf (%) :	taux de perforation (5% pour les ondes perforées).
l_s (mm) :	longueur de décalage (pour les ondes à décalage partiel ou « serrated »).

Ainsi les diamètres hydrauliques (D_h) des ondes classiquement utilisées dans les échangeurs à plaques et ailettes brasées sont compris entre 1 et 6 mm.

Ces ondes d'échange sont actuellement formées à l'aide d'une presse.

Divers moyens permettent d'augmenter la surface d'échange.

La surface d'échange qui sépare deux fluides, se compose d'une surface dite « primaire » correspondant à la surface plane entre les deux fluides et d'une surface dite « secondaire » généralement constituée d'ailettes perpendiculaires à la surface primaire et formant ainsi une onde d'échange. C'est le nombre d'ailettes
5 insérées (densité de l'onde) et la hauteur des ailettes qui créent l'augmentation de la surface d'échange.

Plus l'onde est dense, plus la surface d'échange est grande. Cependant il existe une limite de fabrication ou des contraintes dus au procédé. L'outil de presse utilisé pour fabriquer l'onde, permet d'obtenir des densités maximales de
10 1023 à 1102 ondes par mètre. La densité de l'onde sélectionnée peut être plus petite lorsqu'il est préférable de limiter les pertes de charge. De plus, dans certaines conditions de fonctionnement comme celui des vaporiseurs/condenseurs à bain, des contraintes liées à la sécurité limitent le nombre d'ondes par mètre à des valeurs bien inférieures aux valeurs maximales qui peuvent être fabriquées.

15 Les ailettes présentent un gradient de température. Au-delà d'une certaine hauteur d'ailette (d'onde), la zone située au milieu de l'ailette échange nettement moins bien. Il existe donc une hauteur d'onde optimale correspondant à une valeur de coefficient d'ailette optimale. Les hauteurs d'onde couramment utilisées varient de 3 à 10 mm.

20 Il est également possible d'augmenter le coefficient d'échange.

Plus le fluide est turbulent, meilleur est le coefficient d'échange. Cette turbulence peut être générée par une modification de la forme des canaux ou par l'insertion d'obstacles générateurs de turbulence (ex : onde droite perforée, à décalage partiel ou « serrated », à génératrices sinueuses ou « herringbone », à
25 persiennes, insertion de mini-ailettes, fenêtres, ...).

Dans le cas de la vaporisation d'un fluide, une surface qui comporte un plus grand nombre de sites de nucléation présente un meilleur coefficient d'échange. Ces sites de nucléation sont des micro-cavités de diverses tailles et formes (cavités ré-entrantes) présents en surface ou au travers d'une couche poreuse.

30 Dans le cas de la condensation d'un fluide, l'épaisseur du film liquide détériore le coefficient d'échange. Il est donc intéressant de drainer le liquide par la présence de rainures, de perforations ou de reliefs.

Récemment il est apparu un type d'échangeurs appelés micro-échangeurs.

Il s'agit d'échangeurs ayant des canaux de diamètres hydrauliques inférieurs au millimètre. La diminution de la taille des canaux permet de développer la surface d'échange thermique (gain en compacité de l'appareil). Le coefficient d'échange devient alors pratiquement inversement proportionnel au diamètre hydraulique.

S. Kandlikar dans "First International Conference on microchannels and minichannels 2003, « Extending the applicability of the flow boiling correlation to low Reynolds number flows in microchannels » propose la classification suivante, en fonction du diamètre hydraulique des canaux :

- c Mini-canaux tels que : $1\text{mm} < Dh < 3\text{mm}$ (correspondants aux grandeurs de Dh des ondes actuelles).
- c Mini-canaux tels que : $200\mu\text{m} < Dh < 1\text{mm}$.
- c Micro-canaux tels que : $Dh < 200\mu\text{m}$.

Pour les mini-canaux ($200\mu\text{m} < Dh < 3\text{mm}$) : les lois des écoulements pour les conduites classiques s'appliquent encore

Pour les micro-canaux ($Dh < 200\mu\text{m}$) : Les effets de surface prennent une importance considérable et les lois d'écoulement classiques ne s'appliquent plus.

EP-A-1008826 décrit un échangeur à plaques dont au moins un des passages contient des passages auxiliaires fermés en forme de tube, dont la largeur maximale est supérieure à 50% de la distance entre deux plaques adjacentes.

La quantité de flux échangée à travers un échangeur est donnée par la relation suivante :

$$\phi = k \times S \times \Delta T$$

Pour un ΔT donné, l'amélioration des échangeurs ne peut s'effectuer que par l'augmentation du coefficient d'échange (k) et/ou par l'augmentation de la surface d'échange (S).

Dans le cas des échangeurs à plaques et ailettes brasées, l'augmentation de la surface d'échange par une surface dite « secondaire » atteint ses limites de part la fabrication et/ou des contraintes de procédé. L'augmentation du coefficient d'échange par la création de turbulences est intéressante mais présente deux contraintes principales :

- une augmentation des pertes de charge induite par l'augmentation des turbulences.
- une augmentation du coût de fabrication dû à la complexité des géométries.

5 Ainsi, la création d'une nouvelle forme d'onde ne peut engendrer des gains de coefficient d'échange nettement meilleurs par rapport aux ondes déjà existantes. Quant à la création de sites de nucléation et au drainage de liquide, ces deux méthodes ne concernent qu'un type particulier d'échange à savoir la vaporisation ou la condensation.

10 Il semble donc difficile d'améliorer fortement les échangeurs à plaques et ailettes brasées en utilisant les mêmes axes de développement que ceux décrits précédemment.

 En outre, la technologie type micro-canaux est très coûteuse (micro-usinage des canaux) et reste aujourd'hui réservée à des échangeurs de très petite dimension : elle ne concerne pas aujourd'hui les applications, telle que la
15 séparation d'air dans lesquelles le débit et la différence de température sont importants.

 La solution proposée vise à augmenter la surface d'échange en incorporant aux surfaces déjà existantes (dites « primaire » et « secondaire ») une troisième
20 surface d'échange dite surface « tertiaire ».

 Nous proposons trois dispositifs qui permettent d'ajouter une surface dite « tertiaire » aux ondes d'échange actuellement utilisées dans les échangeurs à plaques et ailettes brasées :

- passage d'échange « multi-ondes »
- 25 • ondes d'échange « mini-canaux », ondes extrudées
- ondes d'échange « mini-canaux », tubes capillaires

 Selon un objet de l'invention, il est prévu un échangeur de chaleur à plaques brasées, du type comprenant un empilement de plaques parallèles qui
30 définissent une pluralité de passages de circulation de fluide de forme générale plate, des barres de fermeture qui délimitent ces passages et des moyens de distribution pour distribuer un fluide à chaque passage d'une première série de passages et des moyens pour envoyer un autre fluide à une deuxième série de

passages dans lequel au moins un passage contient au moins une structure d'échange organisée qui forme une pluralité de canaux dans la largeur du passage, chaque canal étant en contact avec soit au moins deux autres canaux soit au moins un autre canal et une plaque et caractérisé en ce que la structure

5 forme également au moins trois canaux, de préférence au moins cinq canaux, dans la hauteur du passage.

De préférence chaque canal est en contact avec au moins trois autres canaux ou une plaque et deux autres canaux. La plaque peut être une plaque définissant un passage ou une plaque secondaire située dans le passage.

10 Selon d'autres aspects facultatifs :

- la structure est composée d'une pluralité de cylindres ;
- à l'intérieur d'un passage, il y a au moins une plaque secondaire de forme générale plate parallèle aux plaques définissant les passages ;
- la structure est formée d'une superposition d'ondes d'échange, chaque
- 15 paire d'ondes d'échange adjacentes étant éventuellement séparée par une plaque secondaire ;
- la structure est formée d'un corps unique contenant une pluralité de canaux ;
- un canal a un diamètre hydraulique d'entre 1 et 6 mm ;
- 20 - un canal a un diamètre hydraulique entre 200 μ m et 1 mm ;
- un canal a un diamètre hydraulique inférieur à 200 μ m ;
- un passage a une hauteur d'entre 3 et 18 mm ;
- les canaux ont une section circulaire, ovale, carrée, rectangulaire, triangulaire ou en losange.

25 Selon une autre objet de l'invention, il est prévu un appareil de séparation cryogénique comprenant au moins un échangeur tel que décrit ci-dessus.

Selon une autre objet de l'invention, il est prévu un appareil de séparation d'air dans lequel une ligne d'échange principale et/ou un vaporiseur-condenseur et/ou un sous-refroidisseur est un échangeur tel que décrit ci-dessus.

30 L'invention sera décrite en plus de détail en se référant aux dessins dans lesquels :

La Figure 2 des dessins annexés représente en perspective, avec des arrachements partiels, un exemple d'un tel échangeur de chaleur, de structure classique, auquel s'applique l'invention.

Les Figures 3A, 4A et 5A représentent un passage d'échangeur vu dans le sens d'écoulement des fluides selon l'art antérieur et les Figures 3B, 4B, 4C et 5B représentent un passage d'échangeur vu dans le sens d'écoulement des fluides selon l'invention.

5 Dans la Figure 2, l'échangeur de chaleur 1 représenté est constitué d'un empilement de plaques rectangulaires parallèles 2 toutes identiques, qui définissent entre elles une pluralité de passages pour des fluides à mettre en relation d'échange thermique indirect. Dans l'exemple représenté, ces passages sont successivement et cycliquement des passages 3 pour un premier fluide, 4
10 pour un deuxième fluide et 5 pour un troisième fluide. Il sera compris que l'invention couvre des échangeurs à deux fluides seulement ou à n'importe lequel nombre de fluides.

Chaque passage 3 à 5 est bordé de barres de fermeture 6 qui le délimitent en laissant libres des fenêtres 7 d'entrée/sortie du fluide correspondant. Dans
15 chaque passage sont disposées des ondes-entretoises ou ailettes ondulées 8 servant à la fois d'ailettes thermiques, d'entretoises entre les plaques, notamment lors du brasage et pour éviter toute déformation des plaques lors de la mise en oeuvre de fluides sous pression, et de guidage des écoulements de fluides.

L'empilement des plaques, des barres de fermeture et des ondes-
20 entretoises est généralement réalisé en aluminium ou en alliage d'aluminium et est assemblé en une seule opération par brasage au four.

Des boîtes 9 d'entrée/sortie de fluides, de forme générale semi-cylindrique, sont ensuite soudées sur le corps d'échangeur ainsi réalisé de façon à coiffer les rangées de fenêtres d'entrée/sortie correspondantes, et elles sont reliées à des
25 conduites 10 d'amenée et d'évacuation des fluides.

Les canaux peuvent être formés en utilisant diverses techniques, tels que décrits dans « Micro échangeurs thermiques » d'Anton GRUSS dans Techniques de l'Ingénieur, 06-2002.

La solution de la Figure 3B consiste à remplacer l'onde d'échange
30 classiquement utilisée de la Figure 3A par plusieurs ondes d'échange 13 de même type mais de hauteur d'onde plus petite. Ces nouvelles ondes insérées dans un même passage de l'échangeur sont assemblées à l'aide de fines tôles recouvertes de brasure 13. Ces tôles appelées « tôle de surface tertiaire » constituent la

surface ajoutée dite « tertiaire ». Dans l'exemple il y a deux tôles séparant trois ondes.

Tous les types d'ondes qui existent dans le commerce peuvent être utilisés en modifiant et adaptant uniquement la hauteur de l'onde. De ce fait, tous les paramètres qui constituent la géométrie d'un type d'onde sont ajustables (épaisseur, densité, perforation de l'onde,...). Les autres paramètres sont :

- la hauteur du passage,
- le nombre d'ondes d'échange par passage,
- l'épaisseur de la tôle de la surface tertiaire (à priori égale à l'épaisseur de l'onde),
- la forme de la tôle de la surface tertiaire : pleine ou avec des perforations judicieusement positionnées.

Pour cette technologie "multi-ondes", les diamètres hydrauliques sont de l'ordre de grandeur de la largeur du canal d'une onde classique ($1/n$ -e).

On donne ici les gains en surface d'échange pour différentes hauteurs d'onde et par rapport à l'onde classique de densité n équivalente :

Configuration classique					$n^*=2$		
h passage (mm)	e onde (mm)	n (m^{-1})	w (mm)	h canal (mm)	h onde (mm)	h canal (mm)	gain surface
5.1	0.2	551,18	1.61	4.9	2.45	2.25	19 %
5.1	0.3	393,7	2.26	4.8	2.45	2.15	25 %

Configuration classique					$n^*=3$		
h passage (mm)	e onde (mm)	n (m^{-1})	w (mm)	h canal (mm)	h onde (mm)	h canal (mm)	gain surface
7.13	0.2	944,88	0.86	6.93	2.24	2.04	12 %
7.13	0.2	629,92	1.39	6.93	2.24	2.04	24 %

Configuration classique					$n^*=4$		
h passage (mm)	e onde (mm)	n (m^{-1})	w (mm)	h canal (mm)	h onde (mm)	h canal (mm)	gain surface
9.63	0.2	944,88	0.86	9.43	2.26	2.06	13 %
9.63	0.2	629,92	1.39	9.43	2.26	2.06	27 %

n^* = nombre d'ondes sur la hauteur d'un passage (avec des épaisseurs de tôles de surface tertiaire de 0.2mm).

w = largeur d'un canal.

h canal = hauteur d'un canal.

5

On se limite ici à des hauteurs de canaux (h canal) de 2 mm minimum (pour des raisons de brasage).

A volume équivalent, l'augmentation du nombre d'ondes à empiler dans l'échangeur entraîne une augmentation du coût de fabrication de celui-ci. Le coût d'installation reste cependant le même.

La solution de la Figure 4B consiste à remplacer l'onde d'échange classiquement utilisée de la Figure 4A par une onde structurée 17 comportant de nombreux mini-canaux 19 à section carrée. Cette onde peut être fabriquée par extrusion.

La méthode de fabrication par extrusion permet d'imaginer tout type de forme de section de canaux (rectangulaires, triangulaires, ronds, en losange,...). La Figure 4C montre des canaux de section triangulaire.

Les principaux paramètres sont la hauteur du passage, le nombre de canaux par hauteur de passage, le nombre de canaux par mètre de largeur de passage et tous les paramètres qui concernent la forme géométrique des canaux utilisés (hauteur, largeur, diamètre du canal,...).

Cette méthode de fabrication permet également la possibilité d'insérer des micro ou mini ailettes à l'intérieur des canaux afin d'augmenter encore la surface d'échange et/ou de drainer un liquide.

La longueur des canaux (longueur d'échange du fluide) peut être divisée en plusieurs modules d'ondes extrudées, espacés de quelques millimètres entre-eux afin de permettre une communication entre canaux.

On distingue 3 catégories de géométrie en fonction du diamètre hydraulique des canaux (D_h) :

- canaux tels que D_h soit de l'ordre de grandeur de la largeur des canaux dans les ondes classiques ($w=1/n-e$).
- canaux tels que D_h soit compris entre 200 microns et 1 mm (mini-canaux).
- canaux tels que D_h soit inférieur à 200 microns (micro-canaux).

Les gains en surface d'échange obtenus pour les 3 catégories citées ci-dessus sont les suivants :

Pour les canaux tels que D_h soit de l'ordre de grandeur de la largeur des canaux dans les ondes classiques ($w=1/n-e$), on donne ici les gains en surface d'échange (se) pour différentes hauteurs d'onde et par rapport à une onde classique de même hauteur et de densité n équivalente.

Onde classique $h=5.1\text{mm}$			Structure extrudée	
n (m^{-1})	w (mm)	se (m^2/m^2)	h canal (mm)	gain
551,18	1.61	7.18	2.25	19 %
393,7	2.26	5.51	2.25	33 %

Onde classique $h=7.13\text{mm}$			Structure extrudée	
n (m^{-1})	w (mm)	se (m^2/m^2)	h canal (mm)	gain
944,88	0.86	14.73	0.96	40 %
629,92	1.39	10.48	1.53	40 %

Onde classique $h=9.63\text{mm}$			Structure extrudée	
n (m^{-1})	w (mm)	se (m^2/m^2)	h canal (mm)	gain
944,88	0.86	19.44	0.97	43 %
629,92	1.39	13.63	1.69	42 %

10

Pour les canaux tels que D_h soit compris entre 200 microns et 1 mm (mini-canaux), on donne ici les gains en surface d'échange (se) pour différentes hauteurs d'onde et par rapport à une onde classique de même hauteur et de forte densité n .

15

Onde classique h=5.1mm		Structure extrudée	
n (m ⁻¹)	se (m ² /m ²)	h canal (mm)	gain
1 102,36	12.36	0.2	161%

Onde classique h=7.13mm		Structure extrudée	
n (m ⁻¹)	se (m ² /m ²)	h canal (mm)	gain
1 102,36	16.84	0.2	171 %

Onde classique h=9.63mm		Structure extrudée	
n (m ⁻¹)	se (m ² /m ²)	h canal (mm)	gain
1 123,62	20.86	0.2	197%

- 5 Pour les canaux tels que Dh soit inférieur à 200 microns (micro-canaux), on donne ici les gains en surface d'échange (se) pour différentes hauteurs d'onde et par rapport à une onde classique de même hauteur et de forte densité n.

Onde classique h=5.1mm		Structure extrudée	
n (m ⁻¹)	se (m ² /m ²)	h canal (mm)	gain
1 102,36	12.36	0.05	717 %

Onde classique h=7.13mm		Structure extrudée	
n (m ⁻¹)	se (m ² /m ²)	h canal (mm)	gain
1 102,36	16.84	0.05	741 %

Onde classique h=9.63mm		Structure extrudée	
n (m ⁻¹)	se (m ² /m ²)	h canal (mm)	gain
1 123,62	20.86	0.05	818 %

La solution de la Figure 5B consiste à remplacer l'onde d'échange classiquement utilisée de la Figure 5A par un nombre adéquat de tubes capillaires. L'arrangement des tubes capillaires s'ordonne facilement du fait de leur forme. Les tubes capillaires sont recouverts de brasure afin d'assurer l'assemblage mécanique de l'ensemble.

Les paramètres ajustables sont la hauteur du passage, le diamètre des tubes capillaires, l'épaisseur des tubes capillaires ou encore le nombre de tubes capillaires par m².

On donne ici les gains en surface d'échange (se) pour différentes hauteurs d'onde et par rapport à une onde classique de densité équivalente. D_{ext} est le diamètre externe du tube capillaire.

Onde classique		Solution 7 capillaires par hauteur de passage	
h passage (mm)	n (m ⁻¹)	D _{ext} (mm)	Gain en se
5.1	551,18	1.4	50 %
5.1	393,7	1.4	96 %

Onde classique		Solution 7 capillaires par hauteur de passage	
h passage (mm)	n (m ⁻¹)	D _{ext} (mm)	Gain en se
7.13	944,88	1.2	23 %
7.13	629,72	1.2	73 %

Onde classique		Solution 7 capillaires par hauteur de passage	
h passage (mm)	n (m ⁻¹)	D _{ext} (mm)	Gain en se
9.63	944,88	1.4	10 %
9.63	629,72	1.4	57 %

5 Dans chaque exemple le diamètre du capillaire correspond au diamètre maximal pour obtenir un gain en surface d'échange par rapport à la solution classique, un diamètre plus faible donnera un gain nettement plus important de surface d'échange.

REVENDICATIONS

1. Echangeur de chaleur à plaques brasées, du type comprenant un empilement de plaques parallèles (2) qui définissent une pluralité de passages (3, 4, 5) de circulation de fluide de forme générale plate, des barres de fermeture qui délimitent ces passages et des moyens de distribution pour distribuer un fluide à chaque passage d'une première série de passages (3, 5) et des moyens pour envoyer un autre fluide à une deuxième série de passages (4) dans lequel au moins un passage (3) contient au moins une structure d'échange organisée (15, 17, 21) qui forme une pluralité de canaux (19) dans la largeur du passage, chaque canal (19) étant en contact avec soit au moins deux autres canaux soit au moins un autre canal et une plaque (2, 13) et caractérisé en ce que la structure forme également au moins trois canaux dans la hauteur du passage.
2. Echangeur selon la revendication 1 dans lequel la structure est composée d'une pluralité de cylindres (21).
3. Echangeur selon l'une des revendications précédentes comprenant à l'intérieur d'un passage (3), au moins une plaque secondaire (13) de forme générale plate parallèle aux plaques (2) définissant les passages.
4. Echangeur selon la revendication 1 dans lequel la structure est formée d'une superposition d'ondes d'échange (15), chaque paire d'ondes d'échange adjacentes étant éventuellement séparée par une plaque secondaire (13).
5. Echangeur selon la revendication 1 dans lequel la structure est formée d'un corps unique (17) contenant une pluralité de canaux (19).
6. Echangeur selon l'une des revendications précédentes dans lequel un canal (19) a un diamètre hydraulique d'entre 1 et 6 mm.
7. Echangeur selon les revendications 1 à 5 dans lequel un canal (19) a un diamètre hydraulique entre 200 μ m et 1 mm.

8. Echangeur selon les revendications 1 à 5 dans lequel un canal (19) a un diamètre hydraulique inférieur à 200 μm
- 5 9. Echangeur selon l'une des revendications précédentes dans lequel les canaux (19) ont une section circulaire, ovale, carrée, rectangulaire, triangulaire ou en losange.
- 10 10. Appareil de séparation cryogénique comprenant au moins un échangeur (1) selon l'une des revendications précédentes.
11. Appareil de séparation d'air selon la revendication 10 dans lequel une ligne d'échange principale et/ou un vaporiseur-condenseur et/ou un sous-refroidisseur est un échangeur selon l'une des revendications 1 à 9.

1/3

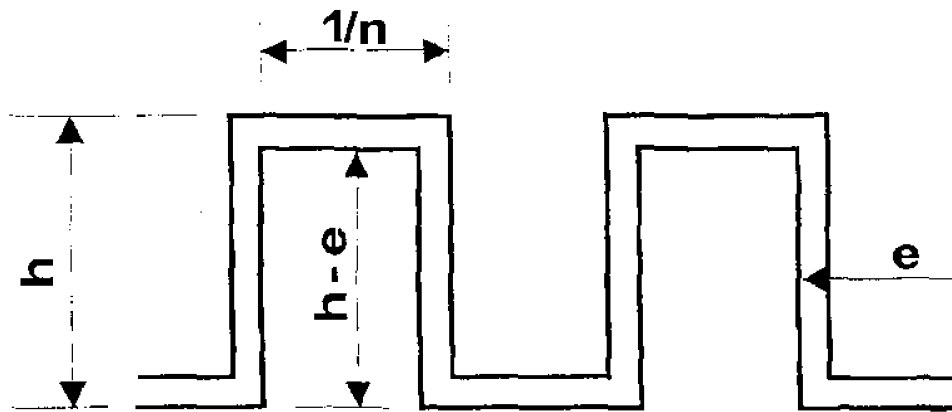


FIG. 1

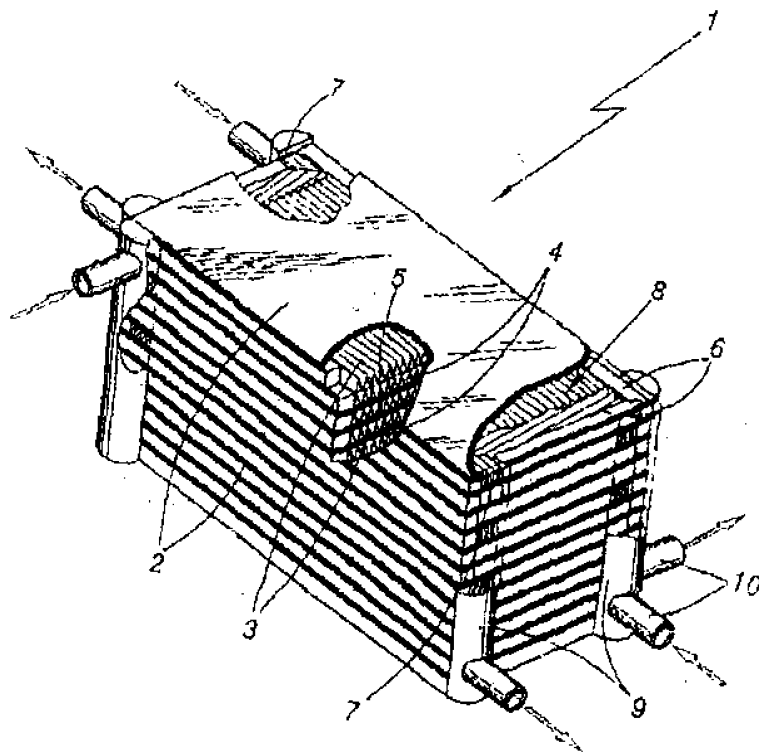


FIG.2

2/3

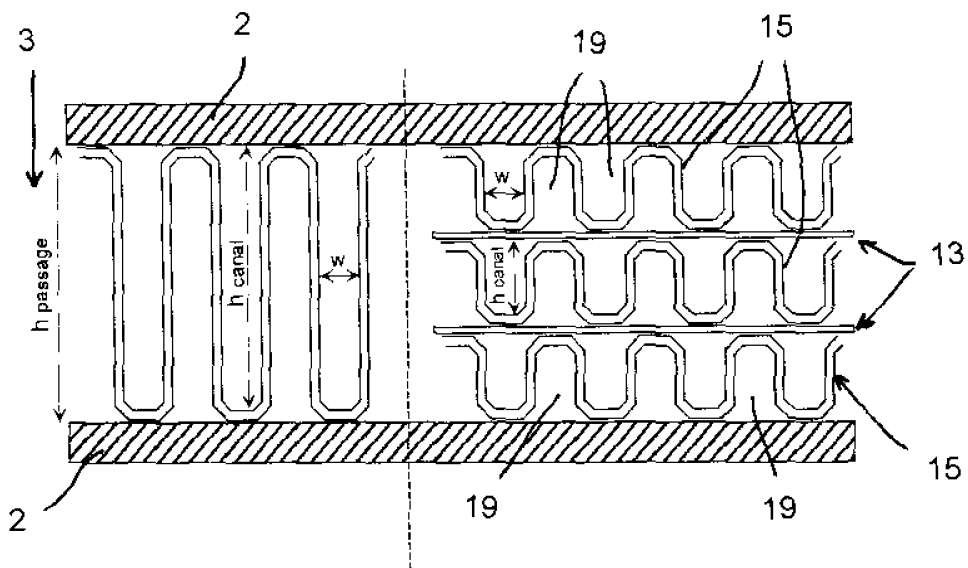


FIG. 3A

FIG. 3B

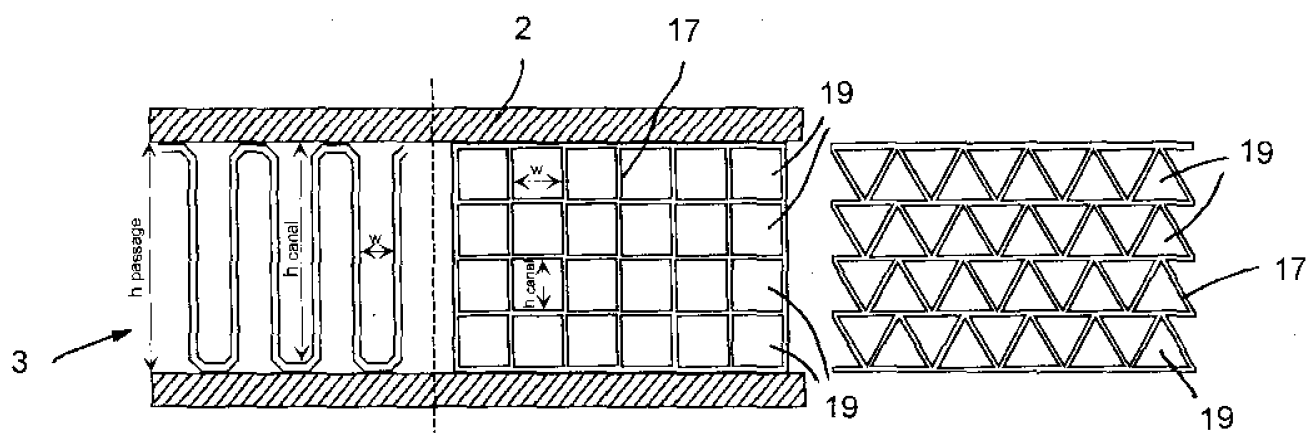


FIG. 4A

FIG. 4B

FIG. 4C

3/3

