

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 28.12.00.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 05.07.02 Bulletin 02/27.

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 :

71 Demandeur(s) : L'AIR LIQUIDE SOCIETE ANONYME  
POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCE-  
DES GEORGES CLAUDE — FR.

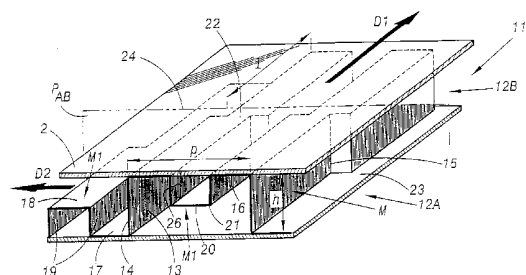
72 Inventeur(s) : CHATEL FABIENNE, LEBAIN GILLES,  
SZULMAN CLAIRE et WERLEN ETIENNE.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) :

54 AILETTE ONDULEE POUR ECHANGEUR DE CHALEUR A PLAQUES BRASEES ET ECHANGEUR DE  
CHALEUR CORRESPONDANT.

57 L'ailette ondulée est du type comprenant un motif répé-  
titif ondulé qui s'étend entre deux plans extrêmes supé-  
rieur et inférieur. Le motif comprend un motif ondulé de base  
(M) comprenant des jambes d'ondes (13) reliées par des  
sommets d'ondes (16) et des bases d'ondes (17), ce motif  
de base étant modifié par un sous-motif (M1) qui définit, en-  
tre au moins certaines paires de jambes d'ondes, des surfa-  
ces d'échange thermique additionnelles (20, 21) situées à  
un niveau intermédiaire entre les deux plans extrêmes.  
Application aux échangeurs cryogéniques gaz-gaz



La présente invention est relative à une ailette ondulée pour échangeur de chaleur à plaques brasées, du type comprenant un motif répétitif ondulé qui s'étend entre deux plans extrêmes supérieur et inférieur.

5 L'invention s'applique en particulier aux échangeurs cryogéniques gaz-gaz des appareils de distillation d'air, tels que la ligne d'échange thermique principale de ces appareils, qui refroidit l'air entrant par échange de chaleur indirect avec les produits froids issus de la  
10 colonne de distillation.

Les ailettes ondulées en question sont largement utilisées dans les échangeurs de chaleurs à plaques brasées, qui présentent l'avantage d'offrir une grande surface d'échange thermique dans un volume relativement réduit, et  
15 d'être faciles à fabriquer. Dans ces échangeurs, les écoulements des fluides peuvent être à co-courant, à contre-courant ou croisés.

La Figure 1 des dessins annexés représente en perspective, avec des arrachements partiels, un exemple d'un  
20 tel échangeur de chaleur, de structure classique, auquel s'applique l'invention. Il peut s'agir en particulier d'un échangeur de chaleur cryogénique.

L'échangeur de chaleur 1 représenté est constitué d'un empilement de plaques rectangulaires parallèles  
25 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 pour un deuxième fluide et 5 pour un  
30 troisième fluide.

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 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 œuvre de fluides sous pression, et de guidage des écoulements des fluides.

L'empilement des plaques, des barres de fermeture et des ondes-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 fluide, 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 conduites 10 d'amenée et d'évacuation des fluides.

Il existe divers types d'ondes-entretoises 8. On peut ainsi citer les ailettes droites, à génératrices rectilignes, éventuellement perforées, les ailettes dites « herringbone », à génératrices sinueuses, les ailettes à persiennes, dont les jambes d'ondes présentent des rangées de crevés, et les ailettes à décalage partiel ou « serrated ».

Dans ces diverses ailettes, la section transversale de l'onde peut être carrée, rectangulaire, triangulaire, sinusoidale, etc.

L'invention a pour but d'améliorer les performances thermiques des ailettes ondulées.

A cet effet, l'invention a pour objet une ailette ondulée du type précité, caractérisé en ce que le motif comprend un motif ondulé de base comprenant des jambes d'ondes reliées par des sommets d'ondes et des bases d'onde, ce motif de base étant modifié par un sous-motif qui définit, entre au moins certaines paires de jambes d'ondes,

des surfaces d'échange thermique additionnelles situées à un niveau intermédiaire entre les deux plans extrêmes.

L'ailette ondulée suivant l'invention peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- 5       - le sous-motif définit une sous-ondulation qui ne s'étend que sur une fraction de la distance qui sépare les deux plans extrêmes ;
- le sous-motif comprend au moins une partie non verticale située à un niveau intermédiaire entre les deux  
10 plans extrêmes ;
- le sous-motif comprend en outre des paires de pattes qui relie les parties non verticales alternativement à un sommet d'onde et à une base d'onde ;
- les pattes sont verticales ;
- 15       - le sous-motif comprend au moins une surface d'échange additionnelle oblique ;
- le sous-motif a une section en V ;
- le sous-motif comprend un gradin adjacent à au moins certaines jambes du motif principal ;
- 20       - l'ailette est à décalage partiel ;
- les distances de décalage assurent un décalage du motif principal à la fois par rapport à lui-même et par rapport au sous-motif ;
- le motif se retrouve tous les N rangs d'ondes, avec N  
25  $\geq 3$  ;
- $N = 4$  ; et
- au moins certaines parties d'au moins certains motifs de base et/ou sous-motifs comportent une échancrure sur au moins un bord d'attaque et/ou de fuite et sur au moins une  
30 partie de leur hauteur ou de leur largeur.

L'invention a également pour objet un échangeur de chaleur à plaques brasées, du type comprenant un empilement de plaques parallèles qui définissent une pluralité de passages de circulation de fluides de forme générale plate,

des barres de fermeture qui délimitent ces passages, et des ailettes ondulées disposées dans les passages, caractérisé en ce qu'au moins une partie des ailettes ondulées sont telles que définies ci-dessus.

5 Dans ce qui suit, on s'intéressera essentiellement aux ailettes serrated, mais on comprendra que l'invention s'applique également aux autres types d'ailettes décrits ci-dessus.

Des exemples de réalisation de l'invention vont  
10 maintenant être décrits en regard des dessins annexés, sur lesquels :

- la Figure 2 représente en perspective une ailette serrated conforme à l'invention ;
- La Figure 3 est une vue en bout de cette ailette ;
- 15 - La figure 4 est une vue en bout d'une variante ;
- La Figure 5 représente en perspective une autre ailette serrated suivant l'invention ;
- La Figure 6 est une vue en perspective éclatée de l'ailette de la Figure 5 ;
- 20 - la Figure 7 est une vue en bout de l'ailette de la Figure 5 ; et
- La Figure 8 est une vue en bout d'une autre ailette serrated suivant l'invention.

L'ailette serrated 1 représentée aux Figures 2 et 3  
25 possède une direction générale principale d'ondulation D1 et comprend un grand nombre de rangées d'ondes adjacentes toutes identiques 12A, 12B, ..., orientées suivant une direction D2 perpendiculaire à la direction D1.

Pour la commodité de la description, on supposera que,  
30 comme représenté sur la Figure 2, les directions D1 et D2 sont horizontales, la même que les plaques 2 de l'échangeur.

Chaque rangée d'ondes 12 a, en section transversale perpendiculaire à D1, un motif de base M qui comporte deux jambes d'ondes 13 verticales. Vis-à-vis d'un sens général

d'écoulement du fluide suivant la direction D1 dans le passage considéré, chaque jambe comporte un bord d'attaque 14 et un bord de fuite 15. Les jambes sont reliées alternativement le long de leur bord supérieur par un sommet 5 d'onde 16 rectangulaire, plan et horizontal, et le long de leur bord inférieur par une base d'onde 17 également rectangulaire, plane et horizontale.

Le motif de base M est modifié par un sous-motif M1 constitué par une saillie rectangulaire s'étendant vers le 10 bas au milieu de chaque sommet 16 et vers le haut au milieu de chaque base 17.

Chaque sous-motif M1 est constitué d'une partie d'extrémité plane 18 située à mi-distance des plans extrêmes définis par les plaques 2 adjacentes, et de deux pattes 15 verticales 19 qui en relient les bords au sommet 16 ou à la base 17 correspondant.

Ainsi, chaque sous-motif forme un créneau qui pénètre entre les deux jambes 13 adjacentes. Ce créneau définit trois bords d'attaque supplémentaires, à savoir un bord 20 d'attaque horizontal 20 et deux bords d'attaques verticaux 21.

Les rangées 12 sont décalées les unes par rapport aux autres suivant la direction D2, alternativement dans un sens et dans l'autre. En appelant « pas » la demi-période de 25 l'ondulation, c'est-à-dire la distance  $p$  qui sépare deux jambes 13 successives (en faisant abstraction de l'épaisseur  $e$  de la matière en feuille mince qui constitue l'onde), le décalage est  $p/6$  alternativement dans un sens et dans l'autre, alors que la largeur du créneau M1 est  $p/3$ .

30 Ainsi, chaque rangée 12 est reliée à la rangée 12 suivante par les sommets 16, suivant des segments de droite 22 de longueur  $p/6$ , et par les bases 17, suivant des segments de droites 23 de même longueur  $p/6$ . Les plans de

décalage sont les plans verticaux tels que  $P_{Ab}$  et les lignes de décalage, en vue de dessus, sont désignées par 24.

Par ailleurs, on désigne par  $l$  la longueur de chaque rangée 12 suivant la direction  $D1$ , cette longueur étant  
5 appelée « longueur de serration », et par  $h$  la hauteur de l'ailette.

En pratique, les formes des diverses parties des ondes peuvent différer plus ou moins des formes théoriques décrites ci-dessus, notamment en ce qui concerne la planéité  
10 et la forme rectangulaire des facettes 13 et 16 à 19, et la verticalité des facettes 13 et 19.

En vue en bout (Figure 3), les motifs  $M$  sont décalés latéralement par rapport à eux-mêmes et par rapport aux motifs  $M1$ , c'est-à-dire que les jambes 13 d'une rangée de  
15 serration 12 donnée apparaissent chacune entre une jambe 13 des rangées adjacentes et une patte 19 d'un sous-motif  $M1$  voisin. Inversement, les pattes 19 de la même rangée 12 apparaissent chacune soit entre deux pattes 19, soit entre une patte 19 et une jambe 13, des rangées 12 adjacentes.

Grâce à la présence des sous-motifs  $M1$ , la séparation  
20 de l'écoulement est augmentée au niveau de chaque ligne de décalage 24, ce qui accroît la différence de température entre le fluide et l'ailette et accroît ainsi le flux de chaleur échangé. La présence de bords d'attaque  
25 supplémentaires 20 et 21 génère de plus au sein du fluide des tourbillons qui favorisent le transfert de chaleur par convection vers le cœur de l'écoulement et non par conduction à travers la couche limite, ce qui est favorable à l'échange thermique.

La variante de la Figure 4 diffère de celle de la  
30 Figure 3 par une plus grande profondeur des créneaux  $M1$ , cette profondeur passant de  $h/2$  à  $2h/3$  environ. On réduit de cette manière les zones d'écoulement préférentiel qui

échappent à l'effet bénéfique des créneaux M1 décrit plus haut.

Dans le même objectif, les Figures 5 à 7 représentent une ailette serrated dont le motif M+M1 se retrouve non pas  
5 une rangée sur deux, mais une rangée sur N, avec  $N \geq 3$ . Ceci permet d'augmenter la symétrie de l'écoulement. Dans l'exemple représenté,  $N = 4$ . On décrira par suite ci-dessous quatre rangées successives 12A à 12D.

Chaque rangée a, comme précédemment, un même motif de  
10 base M rectangulaire, comprenant des jambes verticales 13 espacées du pas  $p$  et reliées alternativement par un sommet d'ondes 16 de largeur  $p$  et par une base d'ondes 17 de même largeur  $p$ . Le motif M est modifié par un sous-motif M1A à M1D.

15 - sous-motif M1A : dans chaque ondulation ouverte vers le haut, la partie inférieure de la jambe 13 de droite est déformée par un gradin qui comporte une partie horizontale 24 située à mi-hauteur de la jambe et une partie verticale 25 située à mi-distance entre cette jambe et l'autre jambe  
20 de l'ondulation. Ainsi, la moitié inférieure de la jambe et la moitié de droite de la base d'onde adjacente sont supprimées, comme indiqué en traits mixtes.

- sous-motif M1B : dans chaque ondulation ouverte vers le bas, la partie supérieure de la jambe 13 de gauche est  
25 déformée par un gradin analogue, c'est à dire rectangulaire et de dimensions  $p/2$  et  $h/2$ .

- sous-motif M1C : dans chaque ondulation ouverte vers le haut, la partie inférieure de la jambe 13 de gauche est déformée par un gradin analogue. Ce sous-motif est donc  
30 symétrique par rapport au sous-motif M1A.

- sous-motif M1D : dans chaque ondulation ouverte vers le bas, la partie supérieure de la jambe 13 de droite est déformée par un gradin analogue. Ce sous-motif est donc symétrique par rapport au sous-motif M1B.

Par ailleurs, dans ce mode de réalisation, le décalage d'une rangée à la suivante est  $p/2$ , alternativement dans un sens et dans l'autre. On a indiqué sur les Figures 5 et 6 deux plans verticaux voisins  $P_1$  et  $P_2$ , pour faciliter la  
5 compréhension de la structure de l'ailette.

La fabrication de l'ailette des Figures 5 à 7 par pliage progressif d'une feuille métallique est particulièrement facile. De plus, en vue de bout (Figure 7), on obtient un maillage symétrique à fois par rapport à un  
10 plan horizontal  $P_1$  situé à mi-distance des surfaces 16 et 17, et par rapport à des plans verticaux  $P_2$  espacés de  $p/2$  les uns des autres. L'homogénéité de la structure vis-à-vis de l'écoulement est ainsi favorisée.

Le mode de réalisation de la Figure 8 est dérivé de celui de la Figure 3 par le fait que chaque sous-motif  $M_1$   
15 est triangulaire et non plus rectangulaire ou carré. Il introduit ainsi dans chaque onde deux bords d'attaque obliques 25, symétriques par rapport au plan vertical de symétrie  $P$  de l'onde.

20 Dans l'exemple représenté, la hauteur du triangle est  $h/2$ , mais, comme précédemment, elle peut avoir une valeur différente, notamment supérieure à  $h/2$  pour réduire les zones d'écoulement préférentiel.

Dans tous les exemples ci-dessus, on obtient des  
25 performances thermiques élevées de l'échangeur, avec un écoulement fortement divisé et turbulent et de configuration bidimensionnelle, voire tridimensionnelle.

On remarque que la fabrication des ailettes peut être  
30 réalisée par simple pliage d'un produit plat à la presse ou à la molette, comme pour les ailettes ondulées, notamment serrated, classiques. En effet, les surfaces sont toutes développables, de sorte qu'il suffit d'adapter le profil des outils de pliage.

La présence des sous-motifs M1 provoque des restrictions de passage au niveau des lignes de décalage, et donc des pertes de charge. On peut éventuellement réduire ces pertes de charge en prévoyant des échancrures judicieusement placées dans au moins certains bords d'attaque et/ou de fuite des motifs M et/ou M1. Ces échancrures 26 seront de préférence situées dans les jambes 13, en regard des bords d'attaque et/ou de fuite des sous-motifs M1, ou dans ceux-ci, comme indiqué en traits mixtes en 26 sur la Figure 2.

Quel que soit le type d'ailette, celle-ci peut être réalisée à partir soit d'une tôle pleine, soit d'une tôle perforée ou munie autrement de lumières.

REVENDEICATIONS

1. Ailette ondulée pour échangeur de chaleur à plaques brasées, du type comprenant un motif répétitif  
5 ondulé qui s'étend entre deux plans extrêmes supérieur et inférieur, caractérisée en ce que le motif comprend un motif ondulé de base (M) comprenant des jambes d'ondes (13) reliées par des sommets d'ondes (16) et des bases d'ondes (17), ce motif de base étant modifié par un sous-motif (M1)  
10 qui définit, entre au moins certaines paires de jambes d'ondes, des surfaces d'échange additionnelles (20, 21) situées à un niveau intermédiaire entre les deux plans extrêmes.

2. Ailette suivant la revendication 1, caractérisée en  
15 ce que le sous-motif (M1) définit une sous-ondulation qui ne s'étend que sur une fraction de la distance qui sépare les deux plans extrêmes.

3. Ailette suivant la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que le sous-motif comprend au moins une  
20 partie non verticale (18) située à un niveau intermédiaire entre les deux plans extrêmes.

4. Ailette suivant la revendication 3, caractérisée en ce que le sous-motif (M1) comprend en outre des paires de  
25 pattes (19) qui relient les parties non verticales (18) alternativement à un sommet d'onde (16) et à une base d'onde (17).

5. Ailette suivant la revendication 4, caractérisée en ce que les pattes (19) sont verticales.

6. Ailette suivant la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que le sous-motif (M1) comprend au moins  
30 une surface d'échange additionnelle oblique (25).

7. Ailette suivant la revendication 6, caractérisée en ce que le sous-motif (M1) a une section en V.

8. Ailette suivant la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que le sous-motif (M1) comprend un gradin (24,25) adjacent à au moins certaines jambes (13) du motif principal (M).

5 9. Ailette suivant l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que l'ailette (11) est à décalage partiel.

10 10. Ailette suivant la revendication 9, caractérisée en ce que les distances de décalage assurent un décalage du motif principal (M) à la fois par rapport à lui-même et par rapport au sous-motif (M1).

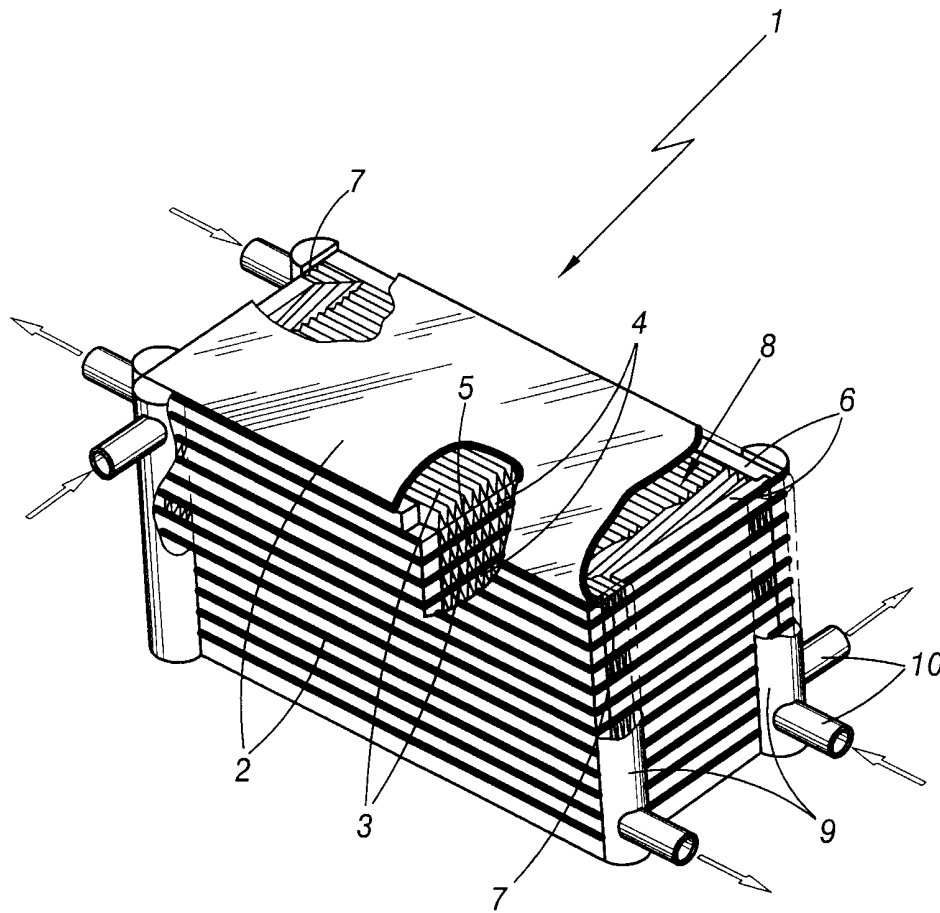
11. Ailette suivant la revendication 10, caractérisée en ce que le motif (M,M1) se retrouve tous les N rangs d'ondes, avec  $N \geq 3$ .

15 12. Ailette suivant la revendication 11, caractérisée en ce que  $N = 4$ .

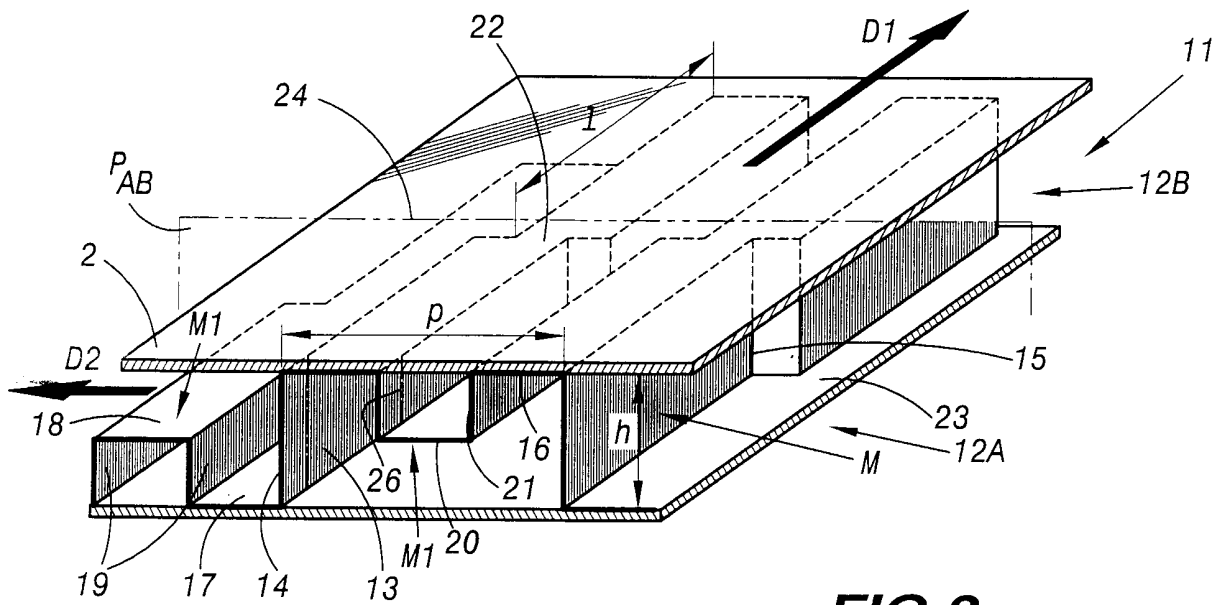
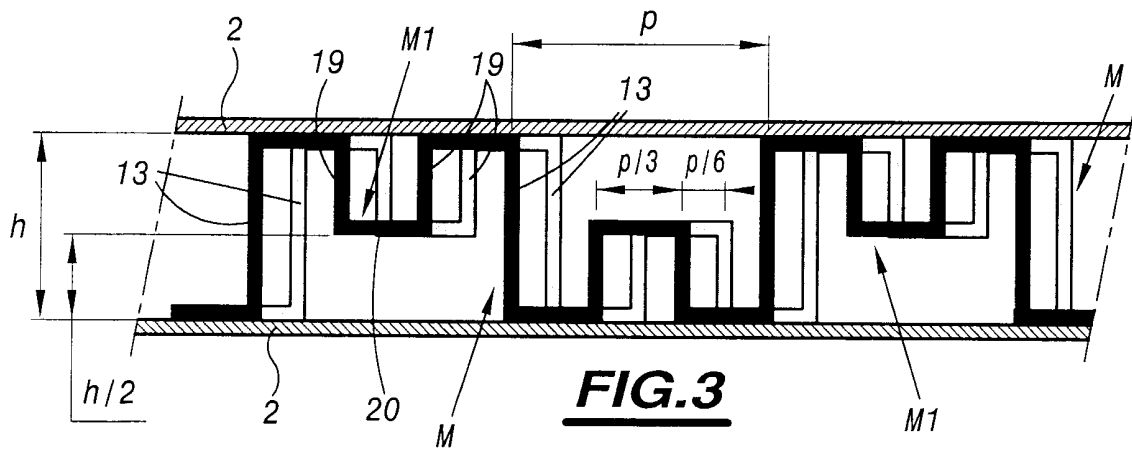
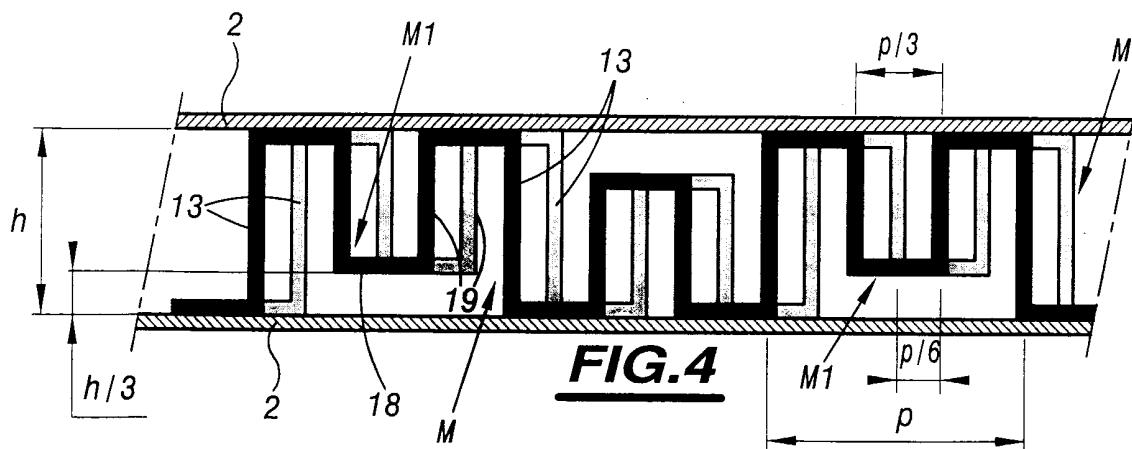
20 13. Ailette suivant l'une quelconque des revendications 9 à 12, caractérisée en ce qu'au moins certaines parties d'au moins certains motifs de base (M) et/ou sous-motifs (M1) comportent une échancrure (26) sur au moins un bord d'attaque et/ou de fuite et sur au moins une partie de leur hauteur ou de leur largeur.

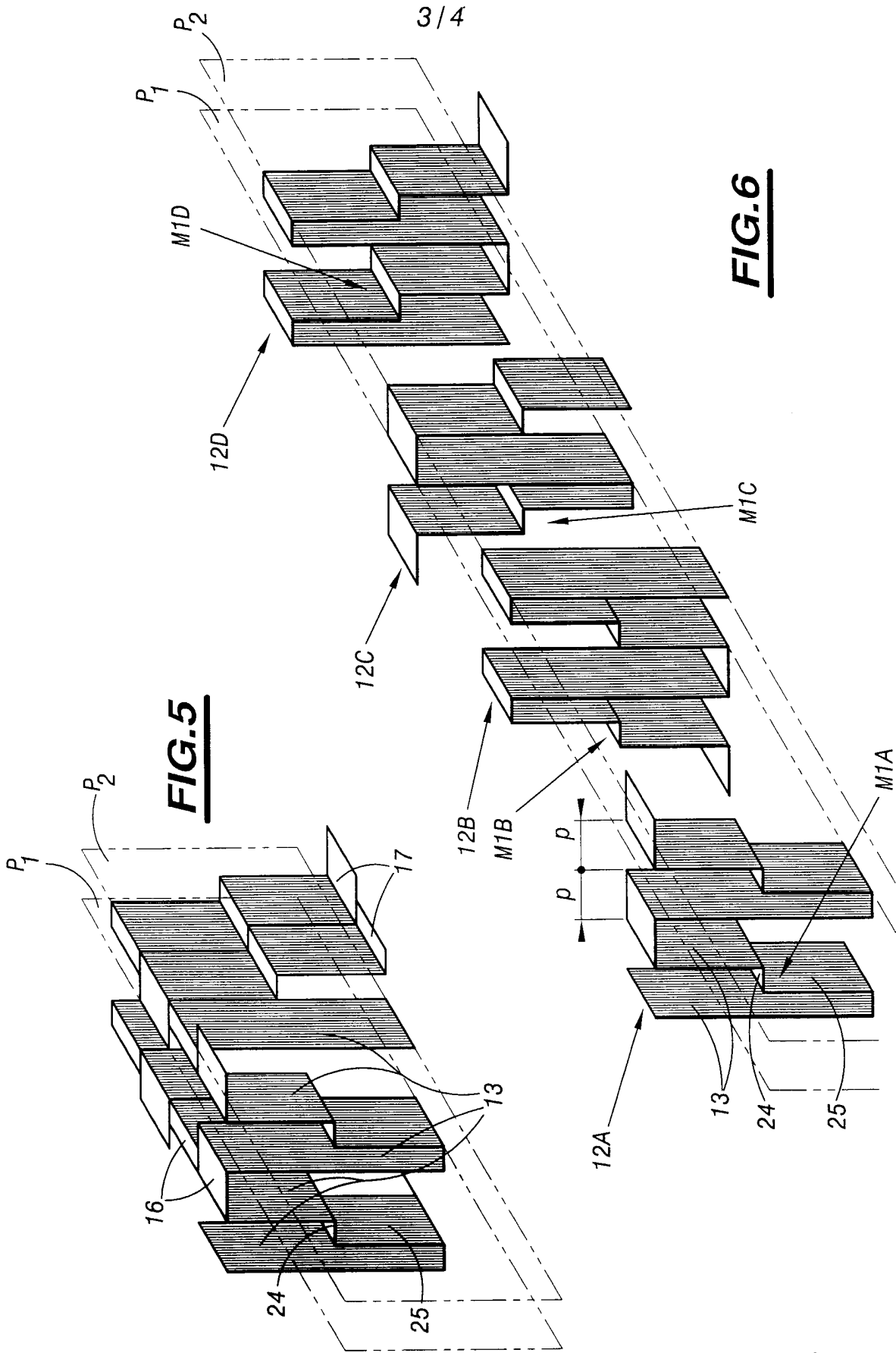
25 14. Echangeur de chaleur à plaques brasées, du type comprenant un empilement de plaques parallèles (2) qui définissent une pluralité de passages (3 à 5) de circulation de fluides de forme générale plate, des barres de fermeture (6) qui délimitent ces passages, et des ailettes ondulées (8) disposées dans les passages, caractérisé en ce qu'au moins une partie des ailettes ondulées (8) sont conformes à  
30 l'une quelconque des revendications 1 à 13.

1/4

**FIG. 1**

2/4

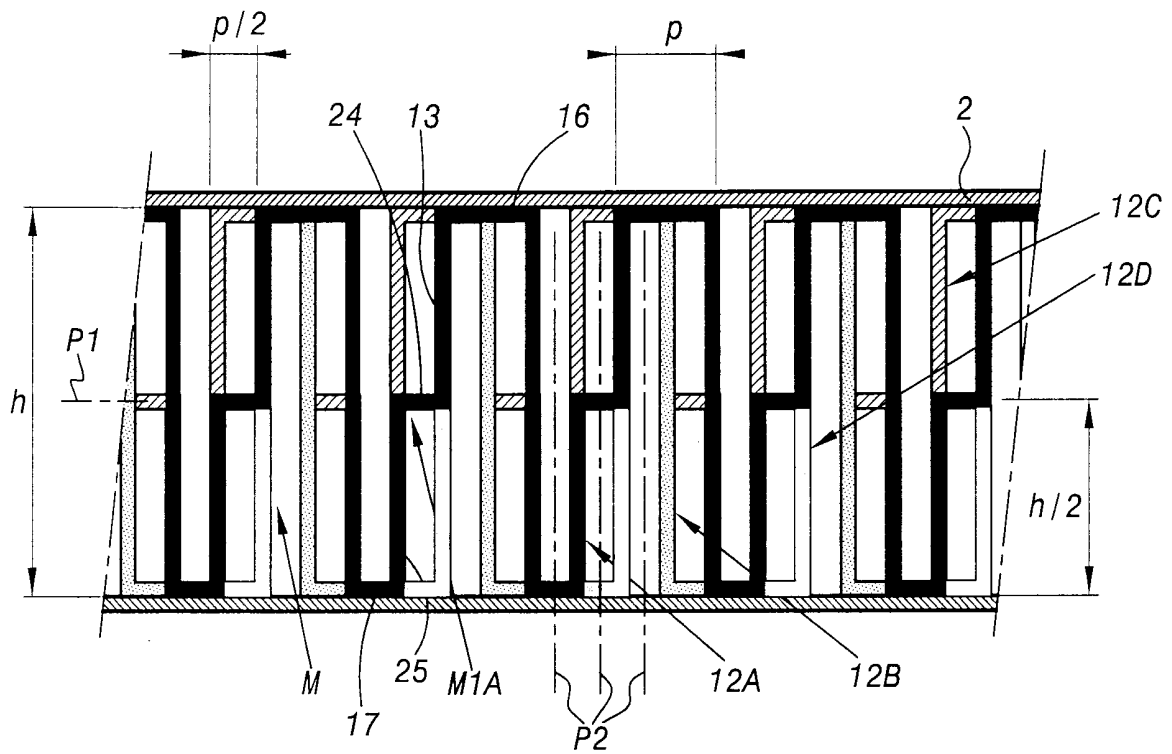
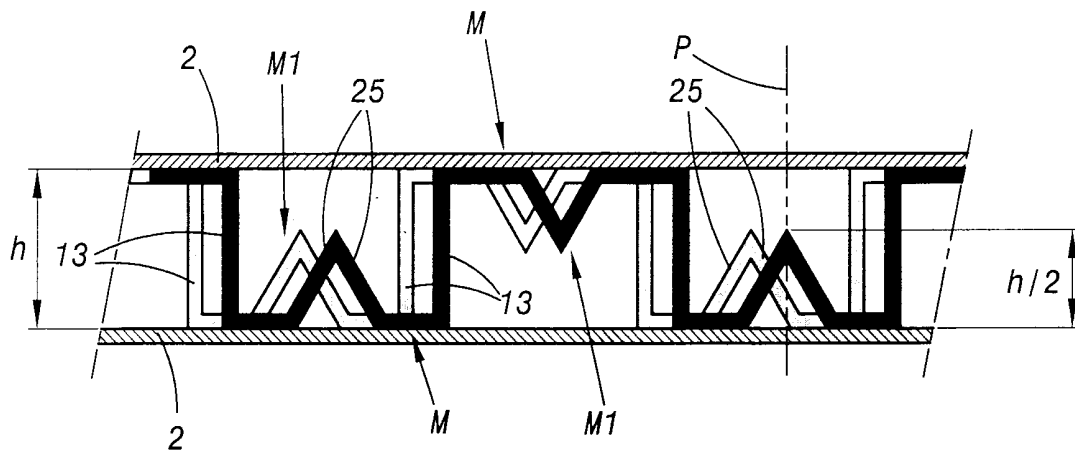
**FIG. 2****FIG. 3****FIG. 4**



**FIG. 5**

**FIG. 6**

4/4

**FIG. 7****FIG. 8**



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement  
national

FA 599429  
FR 0017178

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		
X	EP 0 106 262 A (SCHAEFER WERKE GMBH) 25 avril 1984 (1984-04-25) * page 12, ligne 22 - ligne 37; figure 16 *	1-5	F28F3/06 F28D9/04
Y	---	9,14	
Y	US 3 016 921 A (TADEWALD ALBERT O) 16 janvier 1962 (1962-01-16) * le document en entier *	9,14	
X	DE 32 27 146 A (SCHAEFER WERKE GMBH) 26 janvier 1984 (1984-01-26) * colonne 10, ligne 16 - colonne 13, ligne 6; figures 4-9 *	1-7	
X	DE 91 01 494 U (BUDERUS HEIZTECHNIK GMBH) 2 mai 1991 (1991-05-02) * le document en entier *	1-7	
A	US 5 636 685 A (BEALES DUANE V ET AL) 10 juin 1997 (1997-06-10) * le document en entier *	1-7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			F28F
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		5 septembre 2001	Beltzung, F
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)