

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 12.03.02.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 19.09.03 Bulletin 03/38.

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

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : TREFIMETAUX Société anonyme —
FR.

⑦② Inventeur(s) : LETERRIBLE PASCAL et AVANAN
NICOLAS.

⑦③ Titulaire(s) :

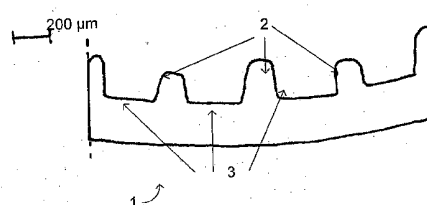
⑦④ Mandataire(s) : PECHINEY.

⑤④ TUBES RAINURÉS A UTILISATION REVERSIBLE POUR ECHANGEURS THERMIQUES.

⑤⑦ Les tubes métalliques (1) rainurés, de diamètre exté-
rieur D_e , les dits tubes étant rainurés intérieurement par N
nervures hélicoïdales (2) d'angle d'apex α , de hauteur H, de
largeur de base L_N et d'angle d'hélice β , deux nervures con-
sécutives étant séparées par une rainure (3) à fond plat de
largeur L_R , avec un pas P égal $L_R + L_N$, sont caractérisés
en ce que :

- a) D_e est compris entre 4 et 20 mm,
- b) le nombre N de nervures va de 46 à 98,
- c) la hauteur H des nervures va de 0,18 mm à 0,40 mm,
- d) l'angle d'apex α va de 15° à 30°,
- e) l'angle d'hélice β va de 18° à 35°.

Ces tubes permettent d'obtenir simultanément un coef-
ficient d'échange thermique élevé en évaporation et en con-
densation, et une faible perte de charge.



TUBES RAINURES A UTILISATION REVERSIBLE POUR ECHANGEURS THERMIQUES

5 DOMAINE DE L'INVENTION

L'invention concerne le domaine des tubes pour échangeurs de chaleur, et plus spécialement le domaine des échangeurs de chaleur fonctionnant en évaporation/condensation et en mode réversible.

10

ETAT DE LA TECHNIQUE

On connaît un grand nombre de documents décrivant la géométrie de tubes rainurés
15 utilisés dans les échangeurs de chaleur.

A titre d'exemple, on peut citer la demande de brevet EP-A2-0 148 609 qui décrit des tubes à rainures triangulaires ou trapézoïdales présentant les caractéristiques suivantes :

- un rapport H/D_i compris entre 0,02 et 0,03, H désignant la profondeur des rainures (ou
20 la hauteur des nervures), et D_i le diamètre intérieur du tube rainuré,
- un angle d'hélice β par rapport à l'axe de tube compris entre 7 et 30°,
- un rapport S/H compris entre 0,15 et 0,40, avec S désignant la section transversale de la rainure,
- un angle d'apex α des nervures compris entre 30 et 60°.

25 Ces caractéristiques de tube sont adaptées à des fluides à transition de phase, les performances des tubes étant analysées de manière distincte lors de l'évaporation du fluide et lors de la condensation du fluide.

La demande japonaise n° 57-58088 décrit des tubes à rainures en V, avec H compris
30 entre 0,02 et 0,2 mm, et avec un angle β compris entre 4 et 15°.

Des tubes voisins sont décrits dans la demande japonaise n°57-58094.

La demande japonaise n° 52-38663 décrit des tubes à rainures en V ou U, avec H compris entre 0,02 et 0,2 mm, un pas P compris entre 0,1 et 0,5 mm et un angle β compris entre 4 et 15°.

- 5 Le brevet US n° 4,044,797 décrit des tubes à rainures en V ou U voisins des tubes précédents.

Le modèle d'utilité japonais n°55-180186 décrit des tubes à rainures trapézoïdales et nervures triangulaires, avec une hauteur H de 0,15 à 0,25 mm, un pas P de 0,56 mm, un
10 angle d'apex α (angle appelé θ dans ce document) typiquement égal à 73°, un angle β de 30°, et une épaisseur moyenne de 0,44 mm.

Les brevets US n° 4,545,428 et n°4,480,684 décrivent des tubes à rainures en V et nervures triangulaires, avec la hauteur H comprise entre 0,1 et 0,6 mm, un pas P
15 compris entre 0,2 et 0,6 mm, un angle d'apex α compris entre 50 et 100°, une angle d'hélice β compris entre 16 et 35°.

Le brevet japonais n° 62-25959 décrit des tubes à rainures et nervures trapézoïdales, avec une profondeur de rainure H comprise entre 0,2 et 0,5 mm, un pas P compris entre
20 0,3 et 1,5 mm, la largeur moyenne des rainures étant au moins égale à la largeur moyenne des nervures. Dans un exemple, le pas P est de 0,70 mm et l'angle d'hélice β est de 10°.

Enfin, le brevet européen EP-B1-701 680, au nom de la demanderesse, décrit des tubes
25 rainurés, avec rainures typiquement à fond plat et avec des nervures de hauteur H différente, d'angle d'hélice β compris entre 5 et 50°, d'angle d'apex α compris entre 30 et 60°, de manière obtenir de meilleures performances après le sertissage des tubes et montage dans les échangeurs.

D'une manière générale, les performances techniques et économiques des tubes, qui résultent du choix de la combinaison de moyens définissant les tubes (H , P , α , β , forme des rainures et nervures, etc...), doivent satisfaire à quatre exigences concernant :

- d'une part, les caractéristiques relatives au transfert de chaleur (coefficient d'échange thermique), domaine dans lequel les tubes rainurés sont très supérieurs aux tubes non rainurés, de sorte qu'à échange thermique équivalent, la longueur de tube rainuré nécessaire sera moindre que celle de tube non rainuré,
- d'autre part, les caractéristiques relatives aux pertes de charge, de faibles pertes de charge permettant d'utiliser des pompes ou compresseurs de plus faible puissance, encombrement et coût,
- en outre, les caractéristiques relatives aux propriétés mécaniques des tubes, typiquement en relation avec la nature des alliages utilisés ou avec l'épaisseur moyenne des tubes, épaisseur qui conditionne le poids du tube par unité de longueur, et donc influe sur son prix de revient.
- enfin, la faisabilité industrielle des tubes et la vitesse de production qui conditionne le prix de revient du tube chez le fabricant de tubes.

PROBLEMES POSES

- D'une part, comme cela résulte de l'état de la technique, il y a un grand nombre et une très grande diversité d'enseignements en ce qui concerne les tubes rainurés, sachant qu'ils visent généralement l'optimisation de l'échange thermique et la diminution de perte de charge.

D'autre part, chacun de ces enseignements offre lui-même le plus souvent une large étendue de possibilités, les paramètres étant généralement définis par des plages de valeurs relativement larges.

Enfin, ces enseignements concernent, quand cela est spécifié, les échanges avec fluide frigorigène, fluide qui, typiquement, s'évapore ou se condense dans le circuit frigorifique, le fluide ayant un comportement différent en évaporation et en condensation. Jusqu'à présent, ces enseignements concernent des tubes rainurés pour échangeurs fonctionnant soit en condensation, soit en évaporation.

En définitive, l'homme du métier a déjà beaucoup de difficultés pour tirer la quintessence de l'état de la technique, parmi un si grand nombre de données, parfois contradictoires.

- 5 L'homme du métier sait par contre qu'un tube typique du commerce, à nervures triangulaires comme représenté à la figure 1, présente typiquement les caractéristiques suivantes : diamètre extérieur $D_e = 12$ mm, hauteur de nervure $H = 0,25$ mm, épaisseur de paroi du tube $T_f = 0,35$ mm, nombre de nervures $N = 65$, angle d'hélice $\beta = 15^\circ$, angle d'apex $\alpha = 55^\circ$.

10

- De manière à répondre à une demande du marché, l'objet de la présente invention concerne les tubes pour échangeurs à applications réversibles, c'est à dire des tubes ou échangeurs qui peuvent être utilisés avec des fluides frigorigènes à changement de phase, tantôt en évaporation, tantôt en condensation, c'est-à-dire soit pour refroidir, par
15 exemple comme climatiseurs, soit pour réchauffer, par exemple comme moyens de chauffage, typiquement de l'air ou un fluide secondaire.

- Plus particulièrement, la présente invention a pour objet des tubes qui, non seulement présentent un excellent compromis entre les performances thermiques en mode
20 évaporation et en mode condensation de fluide frigorigène, mais qui, de plus, présentent intrinsèquement des performances élevées aussi bien en évaporation qu'en condensation.

- La demanderesse a donc recherché des tubes et échangeurs à la fois économiques, avec
25 un poids par mètre relativement peu élevé, et des performances d'échange thermique élevées, à la fois en évaporation et en condensation.

DESCRIPTION DE L'INVENTION

30

- Selon l'invention, les tubes métalliques rainurés, d'épaisseur T_f en fond de rainure, de diamètre extérieur De , typiquement destinés à la fabrication d'échangeurs de chaleur fonctionnant en évaporation ou en condensation ou en mode réversible et utilisant un fluide frigorigène à changement de phase, rainurés intérieurement par N nervures
- 5 hélicoïdales d'angle d'apex α , de hauteur H , de largeur de base L_N et d'angle d'hélice β , deux nervures consécutives étant séparées par une rainure typiquement à fond plat de largeur L_R , avec un pas P égal $L_R + L_N$, sont caractérisés en ce que,
- a) le diamètre extérieur De est compris entre 4 et 20 mm,
 - b) le nombre N de nervures va de 46 à 98, en fonction notamment du diamètre De ,
 - 10 c) la hauteur H des nervures va de 0,18 mm à 0,40 mm, en fonction notamment du diamètre De ,
 - d) l'angle d'apex α va de 15° à 30° ,
 - e) l'angle d'hélice β va de 18° à 35° ,
- de manière à obtenir simultanément un coefficient d'échange thermique élevé à la fois
- 15 en évaporation et en condensation, une faible perte de charge et un tube le plus léger possible et cela sans surcoût de fabrication par rapport aux tubes spécifiques à l'évaporation ou à la condensation.

- Suite à ses travaux de recherche, la demanderesse a réussi à résoudre les problèmes
- 20 posés par la combinaison de moyens et l'ensemble de caractéristiques qui précèdent.

La caractéristique définie sous a) définit la plage de diamètre extérieur De des tubes dans le domaine d'application visé par les tubes selon l'invention.

- 25 La caractéristique sous b), relative au nombre N de rainures, et donc au pas P correspondant, spécifie que ce nombre doit être relativement élevé. Les essais de la demanderesse avec des batteries à ailettes ont montré que ce nombre de rainures a une grande influence sur la performance thermique des échangeurs.

- 30 Ainsi, par exemple, pour un diamètre de tube De 9,52 mm :

- quand le nombre N est inférieur à 46, il a été observé que la performance de l'échangeur chutait considérablement.

- en ce qui concerne la limite supérieure du nombre N , elle est essentiellement d'ordre technologique et pratique, et dépend des possibilités technique de fabrication des tubes rainurés, cette limite supérieure varie donc, et augmente avec le diamètre D_e du tube.

Il a été observé sur un tube de 12 mm de diamètre D_e , qu'un nombre de nervures N de 98 assure une performance thermique élevée de l'échangeur en évaporation et en condensation.

10 En ce qui concerne la caractéristique sous c), relative à la hauteur H des nervures ou profondeur des rainures, les limites de H résultent des observations suivantes :

- pour des valeurs de H supérieures à 0,40 mm, il a été noté une faisabilité technique moindre, car il n'est pas aisé de fabriquer des nervures de très grande hauteur, et il a été noté en outre une augmentation de la perte de charge,

15 - pour des valeurs de H inférieures à 0,20 mm, il a été noté que la performance d'échange thermique diminue trop et devient insuffisante.

Cette hauteur H peut varier avec le diamètre du tube, les tubes de plus grand diamètre ayant de préférence les nervures de plus grande hauteur.

20 La caractéristique sous d), relative à l'angle d'apex α , prévoit que cet angle doit être choisi dans une plage relativement étroite ($15^\circ - 30^\circ$) et avec de valeurs d'angle d'apex α relativement faibles.

D'une part, une faible valeur d'angle α est préférable pour améliorer la performance du transfert de chaleur pour diminuer la perte de charge et pour diminuer le poids du tube /

25 m. C'est avec des nervures trapézoïdales que l'angle α peut être le plus faible.

Cependant, la limite inférieure est essentiellement lié à la fabrication de tubes rainurés selon l'invention pour conserver une haute cadence de production.

La caractéristique sous e), relative à l'angle d'hélice β , montre que cet angle doit être au

30 moins égal à 18° pour résoudre les problèmes de l'invention, et au plus égal à 35° à

cause de l'augmentation significative des pertes de charge, notamment avec certains fluides frigorigènes, par exemple le fluide frigorigène R134a.

En ce qui concerne l'épaisseur T_f du tube en fond de rainure, elle peut varier en fonction du diamètre D_e , de manière à avoir à la fois des propriétés mécaniques suffisantes, notamment une résistance à la pression interne, une économie de matière maximum, et donc un coût matière optimisé, et un poids au mètre le plus faible possible. Cette épaisseur T_f est de 0,28 mm pour un tube de 9,55 mm de diamètre D_e , et de 0,35 mm pour un tube de 12,7 mm de diamètre D_e .

10

L'ensemble de ces moyens permet de définir une sélection de tubes, tubes spécifiques particulièrement adaptés aux échangeurs avec fluides frigorigènes à changement de phase, de manière à avoir simultanément un coefficient d'échange thermique élevé en évaporation et en condensation, une faible perte de charge et un tube le plus léger possible.

15

DESCRIPTION DES FIGURES

Les figures 1a et 1b sont destinées à illustrer la signification des différents paramètres utilisés pour définir les tubes selon l'invention.

20

La figure 1a représente une vue partielle d'un tube rainuré (1), en coupe partielle selon l'axe du tube, de manière à illustrer l'angle d'hélice β .

25

La figure 1b représente une vue partielle d'un tube rainuré (1), en coupe partielle perpendiculairement à l'axe du tube, de manière à illustrer le cas d'un tube comprenant une succession de nervures (2) de hauteur H , nervures de forme sensiblement triangulaire, de largeur L_N à la base et d'angle d'apex α , séparées par des rainures (3) de forme sensiblement trapézoïdale et de largeur L_R , L_R étant la distance entre deux rainures nervures. Ce tube a une épaisseur T_f , un diamètre extérieur D_e , un diamètre intérieur D_i et un pas P égal $L_R + L_N$.

30

Les figures 2a à 2c sont des coupes partielles d'un tube de 8 mm de diamètre De et de 0,26 mm d'épaisseur Tf , selon un exemple de réalisation de l'invention, dans lequel les nervures forment une alternance de nervures trapézoïdales de hauteur $H1$ et de hauteur $H2 < H1$, à différentes échelles.

- 5 La figure 2a représente 3 nervures (2) complètes et 2 nervures partielles, espacées par des rainures (3), et porte une échelle "200 μm ".

La figure 2b représente 2 nervures complètes et porte une échelle "100 μm ".

La figure 2c représente 1 seule nervure (2) et porte une échelle "50 μm ".

- 10 La figure 3 représente une coupe partielle d'un tube de 9,52 mm de diamètre De et de 0,30 mm d'épaisseur Tf selon l'invention.

- Les différentes courbes de la figure 4 donnent, en condensation à 30°C avec fluide R22, le coefficient d'échange Hi (en $W/m^2.K$) en ordonnée en fonction du débit de fluide G , en abscisse (en $Kg/m^2.s$).
- 15

Les différentes courbes de la figure 5 donnent, en évaporation à 0°C du fluide R22, le coefficient d'échange Hi (en $W/m^2.K$) en ordonnée en fonction du débit de fluide G , en abscisse (en $Kg/m^2.s$).

- Ces courbes correspondent à une tube selon l'invention – noté E selon la figure 3, et à des tubes de l'état de la technique notés "A", "C", "D" et "S", tous ces tubes étant de même diamètre extérieur $De = 9,52$ mm. Voir les exemples de réalisation.
- 20

- Les figures 6 et 7 indiquent, en ordonnée, la puissance frigorifique d'échange mesurée en watt d'une batterie de tubes et d'ailettes en fonction, en abscisse de la vitesse frontale de l'air qui circule entre les ailettes exprimée en m/s.
- 25

Ces courbes correspondent à une tube selon l'invention – noté E, selon les figures 2a à 2c, et à des tubes de l'état de la technique notés "A", "B" et "S", tous ces tubes étant de même diamètre extérieur $De = 8,00$ mm. Voir les exemples de réalisation.

- La batterie (4), schématisée sur la figure 8, est formée de tubes (1) de $De = 9,52$ mm et forme un bloc de dimensions : 400 mm x 400 mm x 65 mm, avec une densité de 12
- 30

aillettes (5) par 25,4 mm, la batterie (4) comprenant 3 rangées de 16 tubes rainurés (1), et le fluide frigorigène étant le R22.

La figure 6 est relative aux mesures en condensation sur la même batterie que précédemment, avec une température d'entrée d'air de 23,5°C et une température de condensation de 36°C du fluide frigorigène R22.

La figure 7 est relative aux mesures en évaporation sur la même batterie, avec une température d'entrée de 26,5°C, et une température d'évaporation de 6°C du fluide frigorigène R22.

La figure 8 est une vue schématique en perspective de la batterie (4) de tubes (1) avec ailettes (5) ayant servi aux tests.

La figure 9 représente graphiquement en ordonnée le gain de puissance frigorifique en évaporation des batteries, selon la figure 7, avec une vitesse d'air de référence de 1,25 m/s, en fonction du facteur de Cavallini en abscisse pour les différents tubes testés : tube lisse S, tube E selon l'invention, et tubes A et B selon l'état de la technique.

La figure 10 est un graphique indiquant, en ordonnée, le coefficient d'échange thermique H_i ($W/m^2.K$) sur tubes en évaporation avec le fluide frigorigène R407C, en fonction du pourcentage pondéral de vapeur dans le fluide frigorigène, en abscisse, la température d'évaporation étant de 5°C. Les mesures ont été faites avec un flux de chaleur de 12 kW/m^2 et un débit massique de 100 ou 200 $kg/m^2.s$ de fluide frigorigène R407C, comme indiqué sur la figure, sur des tubes de diamètre D_e égal à 9,52mm.

La figure 11 est une vue d'une portion de surface interne d'un tube rainuré selon l'invention doté d'une contre-rainure axiale (30), avec, au-dessous, sa représentation schématique.

DESCRIPTION DETAILLÉE DE L'INVENTION

Selon une modalité de l'invention illustrée sur les figures 2a à 2c, lesdites nervures peuvent former une succession de nervures de hauteur $H1=H$ et de hauteur $H2 = a.H1$, avec a compris entre 0,6 et 0,9, et de préférence compris entre 0,70 et 0,85, la valeur de a étant voisine de 0,75 sur les figures 2a à 2c.

- 5 Typiquement, et comme illustré sur ces figures, ladite succession peut être une alternance de nervures de hauteur $H1$ et de nervures de hauteur $H2$ séparées par un fond de rainure typiquement plat.

Cependant, comme illustré sur la figure 3, les tubes rainurés selon l'invention ne comprennent pas nécessairement une telle alternance de nervures à hauteur différencié
 10 comme sur les figures 2a à 2c, les nervures pouvant avoir sensiblement la même hauteur.

Typiquement, dans le cas de tubes de 9,52 mm de diamètre De , on peut avoir :

- H allant de 0,18 à 0,3 mm,
- 15 - et/ou N inférieur à 75, et allant de préférence de 64 à 70.

De même, lorsque De est au moins égal à 9,55 mm, on peut avoir :

- H allant de 0,25 à 0,40 mm,
- N allant de 70 à 98.

- 20 En ce qui concerne l'angle d'apex α , une plage préférée de l'angle d'apex α peut aller de 20° à 28° , une plage encore plus restreinte allant de 22° à 25° assurant le meilleur compromis entre les exigences en matière de performance technique et celles liées à l'expansion des tubes en vue de leur solidarisation aux ailettes des batteries.

- 25 En ce qui concerne l'angle d'hélice β , une plage préférée de l'angle d'hélice β peut aller de 22° à 30° , une plage encore plus restreinte allant de 25° à 28° assurant le meilleur compromis entre les exigences en matière de performance technique et celles liées à la perte de charge. Cet angle peut varier avec le diamètre intérieur Di : il a été trouvé avantageux d'avoir un rapport β/Di supérieur à $2,40^\circ/\text{mm}$, et de préférence supérieur à 3
 30 $^\circ/\text{mm}$.

De préférence, lesdites nervures ont un profil de type "trapèze" avec une base de largeur L_N et un sommet, raccordés par des bords latéraux faisant entre eux ledit angle d'apex α , comme illustré sur la figure 2c, ledit sommet comprenant une partie centrale sensiblement plate, typiquement parallèle à ladite base, mais éventuellement en pente par rapport à ladite base.

Quelle que soit le cas, ledit sommet de ladite nervure formant un petit côté du trapèze peut présenter des bords arrondis ou non, c'est-à-dire à très faible rayon de courbure, ces bords formant un raccordement dudit sommet audits bords latéraux.

Lesdits bords arrondis peuvent présenter un rayon de courbure allant typiquement de 40 μm à 100 μm , et allant de préférence de 50 μm à 80 μm , comme illustré sur les figures 2a à 2c. Ces plages de rayon de courbure correspondent à un compromis entre les performances thermiques des tubes et la faisabilité des tubes, les outils destinés à fabriquer les tubes avec les plus petits rayons de courbure ayant le plus tendance à s'user.

Lorsque les bords ne sont pas arrondis, comme illustré sur la figure 3, le rayon de courbure peut être typiquement inférieur à 50 μm , et même inférieur à 20 μm .

Selon l'invention, la largeur L_R du fond plat de ladite rainure et la largeur L_N de la base de ladite nervure peuvent être telles que $L_R = b.L_N$ avec b allant de 1 à 2, et de préférence de 1,1 à 1,8, de manière à avoir un tube présentant un poids par mètre relativement bas.

Typiquement, et comme illustré sur les figures 2a à 2c et 3, les dites nervures et ledit fond plat des dites rainures peuvent se raccorder avec un rayon de courbure inférieur à 50 μm , et de préférence inférieur à 20 μm . Dans ce cas, il semble qu'il y ait un meilleur décollement du film liquide de fluide frigorigène de la paroi interne du tube, ce qui favorise l'échange thermique.

Les tubes selon l'invention peuvent présenter, même en l'absence de rainurage axial, un facteur de Cavallini au moins égal à 3,1. Ils peuvent présenter avantageusement un facteur de Cavallini au moins égal à 3,5 et de préférence au moins égal à 4,0.

Le facteur de Cavallini Rx^2 ($Rx \cdot Rx$) qui intervient dans les modèles d'évaluation du coefficient d'échange, est un facteur purement géométrique égal à :

$$[[2 \cdot N \cdot H \cdot (1 - \sin(\alpha/2)) / (3,14 \cdot Di \cdot \cos(\alpha/2)) + 1] / \cos \beta]^2$$

- 5 De manière à augmenter encore le facteur de Cavallini, et comme illustré sur la figure 11, les tubes selon l'invention peuvent comprendre en outre un rainurage axial (30) créant dans lesdites nervures des encoches à profil typiquement triangulaire à sommet arrondi, ledit sommet présentant un angle γ allant de 25 à 65°, ladite partie inférieure ou sommet est à une distance h du fond desdites rainures allant de 0 à 0,2 mm.
- 10 Un tel rainurage axial peut être obtenu une fois formées lesdites nervures par passage d'une molette de rainurage dans le sens axial.

- Les tubes rainurés selon l'invention peuvent être en cuivre et alliages de cuivre, aluminium et alliages d'aluminium. Ces tubes peuvent être obtenus typiquement par
- 15 rainurage de tubes, ou éventuellement, par rainurage à plat d'une bande métallique puis formation d'un tube soudé.

Un autre objet de l'invention est constitué par les échangeurs de chaleur utilisant des tubes selon l'invention.

- 20 Ces échangeurs de chaleur peuvent comprendre des ailettes d'échange thermique en contact avec lesdits tubes sur une fraction desdits tubes, dans lesquels la distance maximale entre lesdites ailettes et lesdits tube, sur la fraction qui n'est pas en contact, est inférieure à 0,01 mm, et de préférence inférieure à 0,005 mm.
- 25 Un autre objet de l'invention est constitué par l'utilisation de tubes et d'échangeurs selon l'invention, pour climatiseurs réversibles et échangeurs multitubulaires comme refroidisseurs.

- 30 EXEMPLES DE REALISATION

I - Fabrication des tubes :

Les essais ont été réalisés sur tubes de cuivre de 8,0 mm ou de 9,52 mm de diamètre extérieur.

- On a fabriqué le tube "E" de l'invention selon les figures 2a à 2c avec un diamètre D_e de 8,0 mm, et selon la figure 3 avec un diamètre D_e de 9,52 mm, ainsi que des tubes comparatifs "S" ou lisse, "C", "D", qui présentent un angle d'hélice β élevé (au moins égal à 20°), destinés à la condensation selon l'état de la technique, et des tubes comparatifs "A" et "B", qui présentent un angle d'apex α élevé (au moins égal à 40°) et un angle d'hélice β faible (au plus égal à 18°), destinés à l'évaporation selon l'état de la technique.

Les tubes E, A, B, C ont été fabriqués par rainurage d'un tube de cuivre lisse – tube S, alors que la tube D a été fabriqué par rainurage à plat d'une bande métallique puis formation d'un tube soudé.

- Un certain nombre d'essais ont été réalisés sur des tubes de cuivre de 9,52 mm de diamètre extérieur D_e . Ces tubes présentent les caractéristiques suivantes :

Type de tube	H en mm	angle α	angle β	N	Type de nervure	Tf mm	L_R/L_N
E Fig.3	0,20	25	25	66	Trapézoïdales	0,30	2,3
B	0,20-0,17	40	16	74	Triangulaires alternées	0,30	1,88
A	0,20	50	18	60	Triangulaires	0,30	2,00
C	0,20	40	30	60	Triangulaires	0,30	1,94
D	0,20	15	20	72	Doubles nervures croisées *	0,30	3,66
S	-----	-----	-----	-----	Tube lisse	0,30	-----

* 72 nervures principales d'angle d'hélice β égal à $+ 20^\circ$ entrecoupées de rainures secondaires inclinées d'un angle de $- 20^\circ$ par rapport à l'axe du tube, la profondeur des rainures étant sensiblement égale à la hauteur des nervures principales.

Un certain nombre d'autres essais ont été réalisés sur des tubes de cuivre de 8,0 mm de diamètre extérieur. Ces tubes présentent les caractéristiques suivantes :

Type de tube	H en mm	angle α	angle β	N	Type de nervure	Tf mm	L_R/L_N
E Fig.2a	0,20-0,16	21	18	46	Trapézoïdales alternées	0,26	2,5
B	0,18-0,16	40	18	64	Triangulaires alternées	0,26	2,38
A	0,18	40	18	50	Triangulaires	0,26	2,33
S	-----	-----	-----	-----	Tube lisse	0,3	-

II – Fabrication de batteries ou échangeurs :

- 5 On a fabriqué des batteries à ailettes selon la figure 8 à partir de ces tubes, en plaçant les tubes dans les collets des ailettes puis en plaquant le tube contre le rebord des collets par expansion du tube à l'aide d'un mandrin conique. Ces batteries forment un bloc de dimensions : 400 mm x 400 mm x 65 mm, avec une densité de 12 ailettes par 25,4 mm, la batterie comprenant 3 rangées de 16 tubes, et le fluide frigorigène étant le R22.

10

III - Résultats obtenus :

Les figures 4 à 7, et 9 à 10 illustrent les différents résultats de l'invention.

III-1 Résultats obtenus sur tubes :

A) Résultats obtenus en condensation avec fluide frigorigène R22 sur tubes de De égal à

15 9,52 mm :

TUBES =>	E	A	C	D	S
Propriétés	Fig. 3				
Poids g/m	89	93,5	95	95	78
Perte de charge dP**	2500 +/-100	-	2400 +/-100	3000 +/-100	
Facteur Cavallini	3,94	2,72	3,53	---	1

Coefficient*	6850	4950	6300	6000	2850
d'échange Hi	+/-50	+/-50	+/-50	+/-50	+/-50
moyen					

* Coefficient d'échange Hi en $W/m^2.K$ pour un débit de fluide G égal à $350 \text{ Kg/m}^2.s$.

Conditions de mesure : température de $30^\circ C$, longueur du tube de 6 m, et débit de fluide G égal à $350 \text{ kg/m}^2.s$

** en Pa/m mesurée pour un débit de fluide G égal à $350 \text{ kg/m}^2.s$

5

B) Résultats obtenus en évaporation avec fluide frigorigène R22 sur tubes de De égal à 8,0 mm :

TUBES =>	E	B	A	S
Propriétés	Fig. 2a			
Poids g/ m	66	68	66	-
Perte de charge dP**	6700 +/-100	8000 +/-100	7000 +/-100	5800 +/-100
Facteur Cavallini	3,13	3,02	2,68	1
Coefficient*	10500	9500	8500	4500
d'échange Hi	+/-100	+/-100	+/-100	+/-100
moyen				

* Coefficient d'échange Hi en $W/m^2.K$ pour un débit de fluide G égal à $200 \text{ Kg/m}^2.s$.

Conditions de mesure : température de $0^\circ C$, longueur du tube de 3 m, flux de 10 à 12 $kW/m^2.K$, titre en vapeur allant de 0,2 à 0,9, et débit de fluide G égal à $200 \text{ kg/m}^2.s$

10

** en Pa/m mesurée pour un débit de fluide G égal à $200 \text{ kg/m}^2.s$

C) Résultats obtenus en évaporation avec fluide frigorigène R407C sur tubes de De égal à 9,52 mm :

TUBES =>	E	B
Propriétés	Fig. 3	
Poids g/m	89	92,3

Facteur de Cavallini	3,94	3,3
Perte de charge dP*	600 +/-40	700 +/-40
Coefficient* d'échange Hi local	6000 +/-100	2500 +/-100
Perte de charge dP**	1200 +/-40	1200 +/-40
Coefficient** d'échange Hi moyen	11000 +/-100	3000 +/-100

Conditions des mesures : température de 5°C et flux de 12 kw/m².K. Voir figure 10.

* Coefficient d'échange Hi en W/m².K et perte de charge dP en Pa/m prises à un débit de fluide G égal à 100 Kg/m².s et avec un titre moyen de vapeur de 0,6.

** Coefficient d'échange Hi en W/m².K et perte de charge dP en Pa/m prises à un débit
5 de fluide G égal à 200 Kg/m².s et avec un titre moyen de vapeur de 0,3.

III – 2 Résultats obtenus sur batteries :

BATTERIES	E	B	A	S
Propriétés				
Puissance*	5025	4230	4100	4050
Condensation (watt) Fig.6	+/-150	+/-127	+/-164	+/-121
Puissance**	4650	4350	4200	4050
Evaporation (watt) Fig.7	+/-140	+/-175	+/-90	+/-121

* pour une vitesse frontale de l'air prise égale à 2,8 m/s.

** pour une vitesse frontale de l'air prise égale à 1,5 m/s

IV – Conclusions :

Tous ces résultats montrent que les tubes et échangeurs ou batteries de tubes selon l'invention présentent des propriétés supérieures aux produits analogues de l'état de la technique, à la fois en évaporation et en condensation.

En conséquence, et de manière surprenante, les tubes selon l'invention ne constituent pas seulement un bon compromis de performances en évaporation et en condensation, mais présentent aussi, dans l'absolu, d'excellentes performances par rapport aux tubes de l'état de la technique utilisés en évaporation et ceux utilisés en condensation, ce qui est d'un grand intérêt en pratique.

En outre, en ce qui concerne le poids au mètre, les valeurs obtenues avec les tubes selon l'invention correspondent à un gain allant de 3,7 à 6,7 % par rapport aux tubes selon l'état de la technique, pris à même diamètre et à même épaisseur T_f , ce qui est considéré comme très important.

Enfin, les tubes selon l'invention de type E peuvent être fabriqués avantageusement par rainurage à haute cadence de tube de cuivre non rainuré lisse, typiquement à une vitesse de rainurage voisine de celle utilisée pour les tubes de type B, à savoir au moins 80 m/min.

20

AVANTAGES DE L'INVENTION

L'invention présente de grands avantages.

En effet, d'une part, les tubes et batteries obtenus selon l'invention présentent des performances intrinsèques élevées.

D'autre part, ces performances sont élevées à la fois en évaporation et en condensation, ce qui permet l'utilisation d'un même tube pour ces deux applications.

En outre, les tubes sont d'un poids au mètre relativement faible, ce qui est très avantageux à la fois d'un point de vue pratique, et du point de vue économique avec un coût matière relativement bas.

30

Enfin, les tubes selon l'invention ne nécessitent pas de moyens de fabrication spécifiques. Ils peuvent être fabriqués avec les équipements standards et notamment avec les cadences de production habituelles.

5 LISTE DES REPERES

	Tube rainuré.....	1
	Nervure.....	2
	Rainure	3
10	Rainure axiale.....	30
	Batterie.....	4
	Ailette	5

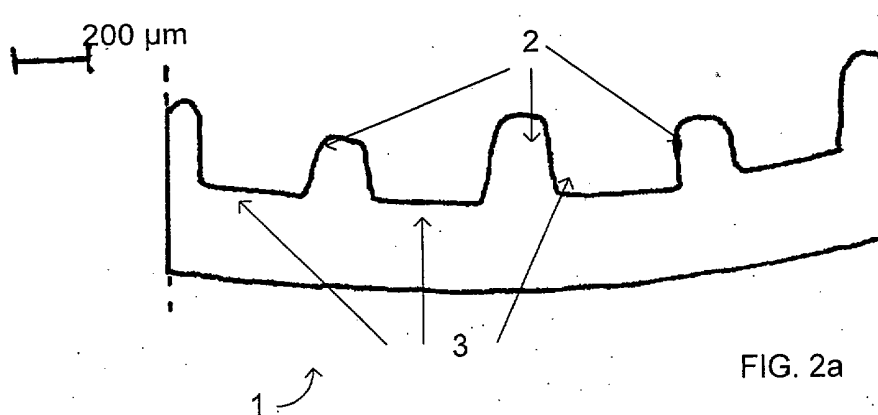
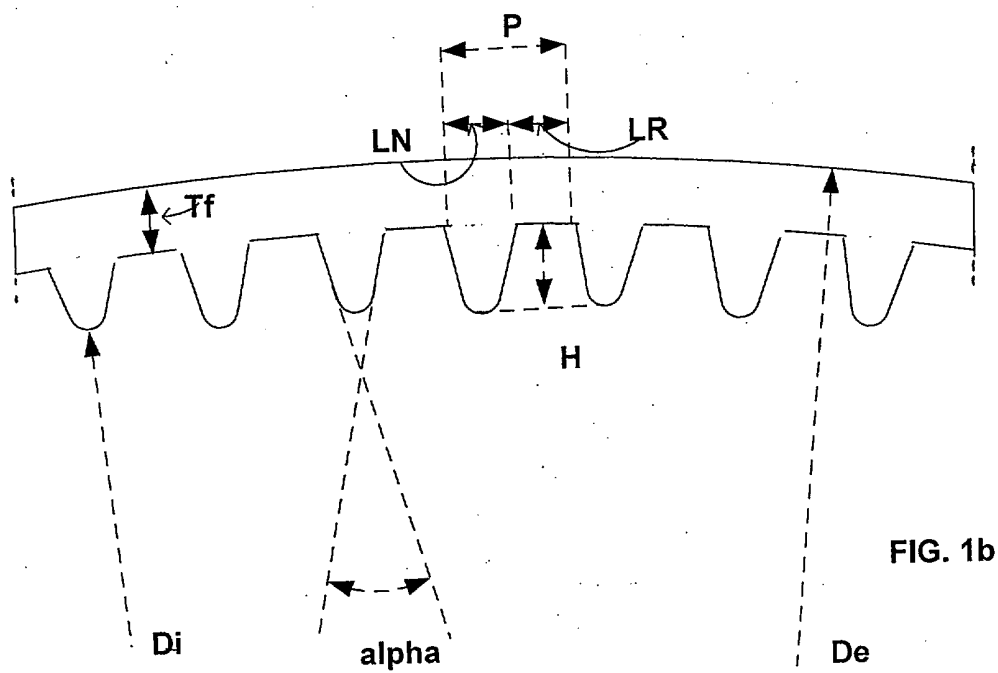
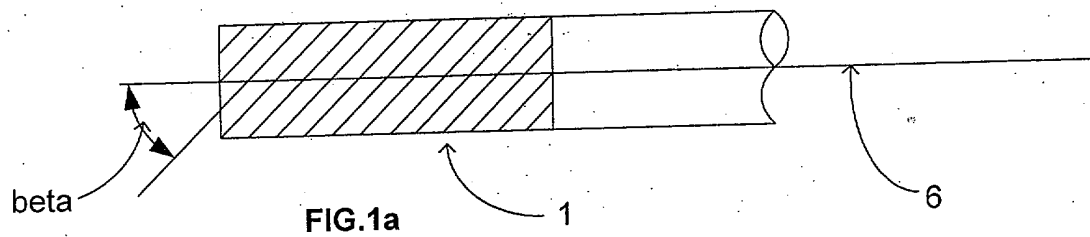
REVENDECATIONS

1. Tubes métalliques (1) rainurés, d'épaisseur T_f en fond de rainure, de diamètre extérieur D_e , typiquement destinés à la fabrication d'échangeurs de chaleur fonctionnant en évaporation ou en condensation ou en mode réversible et utilisant un fluide frigorigène à changement de phase, les dits tubes étant rainurés intérieurement par N nervures hélicoïdales (2) d'angle d'apex α , de hauteur H, de largeur de base L_N et d'angle d'hélice β , deux nervures consécutives étant séparées par une rainure (3) typiquement à fond plat de largeur L_R , avec un pas P égal $L_R + L_N$, caractérisés en ce que,
- a) le diamètre extérieur D_e est compris entre 4 et 20 mm,
 - b) le nombre N de nervures va de 46 à 98, en fonction notamment du diamètre D_e ,
 - c) la hauteur H des nervures va de 0,18 mm à 0,40 mm, en fonction notamment du diamètre D_e ,
 - d) l'angle d'apex α va de 15° à 30° ,
 - e) l'angle d'hélice β va de 18° à 35° ,
- de manière à obtenir simultanément un coefficient d'échange thermique élevé en évaporation et en condensation, une faible perte de charge et un tube le plus léger possible.
2. Tubes selon la revendication 1 dans lesquels lesdites nervures forment une succession de nervures de hauteur $H_1=H$ et de hauteur $H_2 = a.H_1$, avec a compris entre 0,6 et 0,9,
3. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 2 dans lesquels ladite succession est une alternance de nervures de hauteur H_1 et de nervures de hauteur H_2 séparées par un fond de rainure typiquement plat.
4. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 3 dans lesquels, lorsque D_e est inférieur ou égal à 9,55 mm, on a :
- H allant de 0,18 à 0,3 mm, et de préférence de 0,20 à 0,25 mm,
 - et/ou N inférieur à 75, et allant de préférence de 64 à 70.

5. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel, lorsque D_e est au moins égal à 9,55 mm, on a :
- H allant de 0,25 à 0,40 mm,
 - 5 - N allant de 70 à 98.
6. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 5 dans lequel l'angle d'apex α va de 20° à 28° .
- 10 7. Tubes selon la revendication 6 dans lequel l'angle d'apex α va de 22° à 25° .
8. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 7 dans lequel l'angle d'hélice β va de 22° à 30° .
- 15 9. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 8 dans lequel l'angle d'hélice β va de 25° à 28° .
10. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 9 dans lequel lesdites nervures ont un profil de type "trapèze" avec une base et un sommet, ledit sommet comprenant
- 20 une partie centrale sensiblement plate, et éventuellement en pente par rapport à ladite base.
11. Tubes selon la revendication 10 dans lequel le sommet de ladite nervure formant un petit côté du trapèze présente des bords arrondis.
- 25 12. Tubes selon la revendication 11 dans lesquels ledit sommet arrondi ou lesdits bords arrondis présentent un rayon de courbure allant typiquement de 40 μm à 100 μm , et de préférence de 50 μm à 80 μm .

13. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 12 dans lesquels la largeur L_R du fond plat de ladite rainure et la largeur L_N de la base de ladite nervure sont tels que $L_R = b.L_N$ avec b allant de 1 à 2, et de préférence de 1,10 à 1,8.
- 5 14. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 13 dans lesquels lesdites nervures et ledit fond plat desdites rainures se raccordent avec un rayon de courbure typiquement inférieur à 50 μm , et de préférence inférieur à 20 μm .
- 10 15. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 14 présentant un facteur de Cavallini au moins égal à 3,1.
16. Tubes selon la revendication 15 dans lequel le facteur de Cavallini est au moins égal à 3,5 et de préférence au moins égal à 4,0.
- 15 17. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 16 qui comprennent en outre un rainurage axial créant dans lesdites nervures des encoches à profil typiquement triangulaire à sommet arrondi, ledit sommet présentant un angle γ allant de 25 à 65°, ladite partie inférieure ou sommet est à une distance h du fond desdites rainures allant de 0 à 0,2 mm.
- 20 18. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 17 en cuivre et alliages de cuivre, aluminium et alliages d'aluminium.
19. Tubes selon une quelconque des revendications 1 à 18 obtenus typiquement par
- 25 rainurage de tubes, ou éventuellement, par rainurage à plat d'une bande métallique puis formation d'un tube soudé.
- 30 20. Echangeurs de chaleur utilisant des tubes selon une quelconque des revendications 1 à 19.

21. Utilisation de tubes selon une quelconque des revendications 1 à 19 et d'échangeurs selon la revendication 20, pour climatiseurs réversibles et échangeurs multitubulaires comme refroidisseurs.



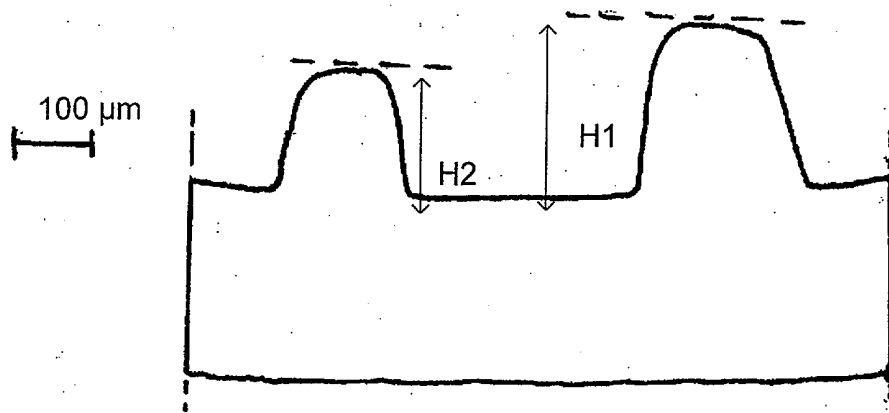


FIG. 2b

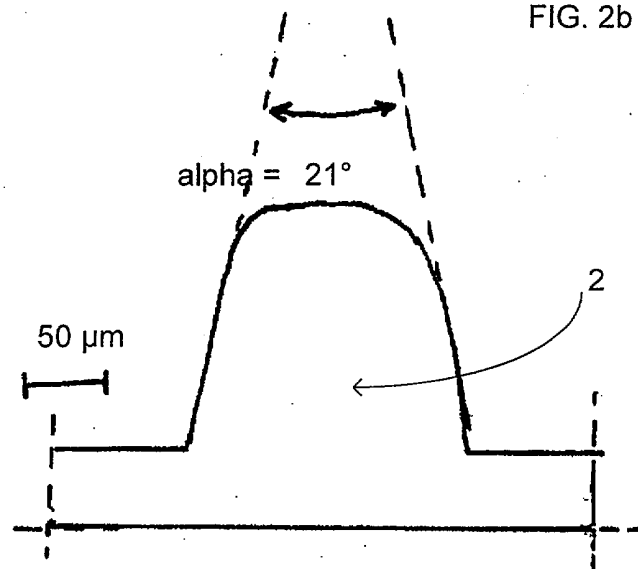


FIG. 2c

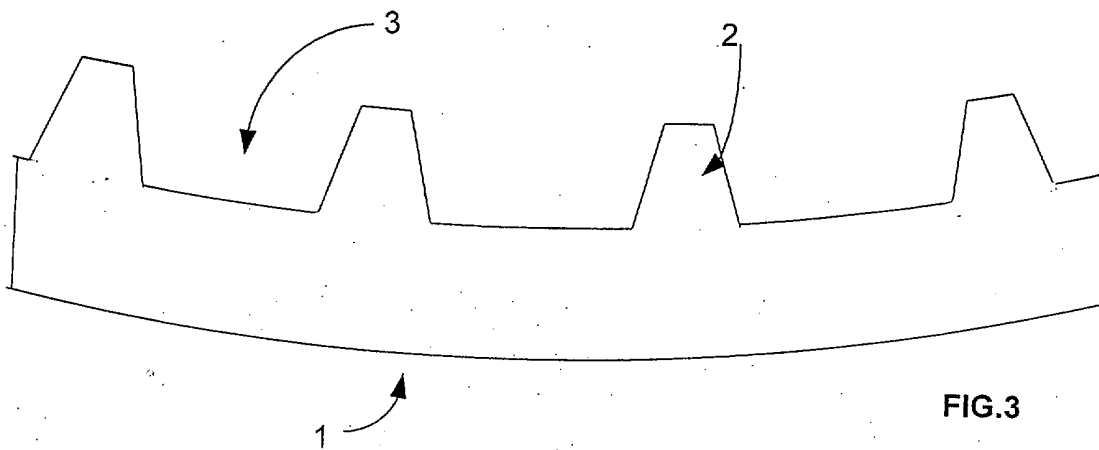


FIG. 3

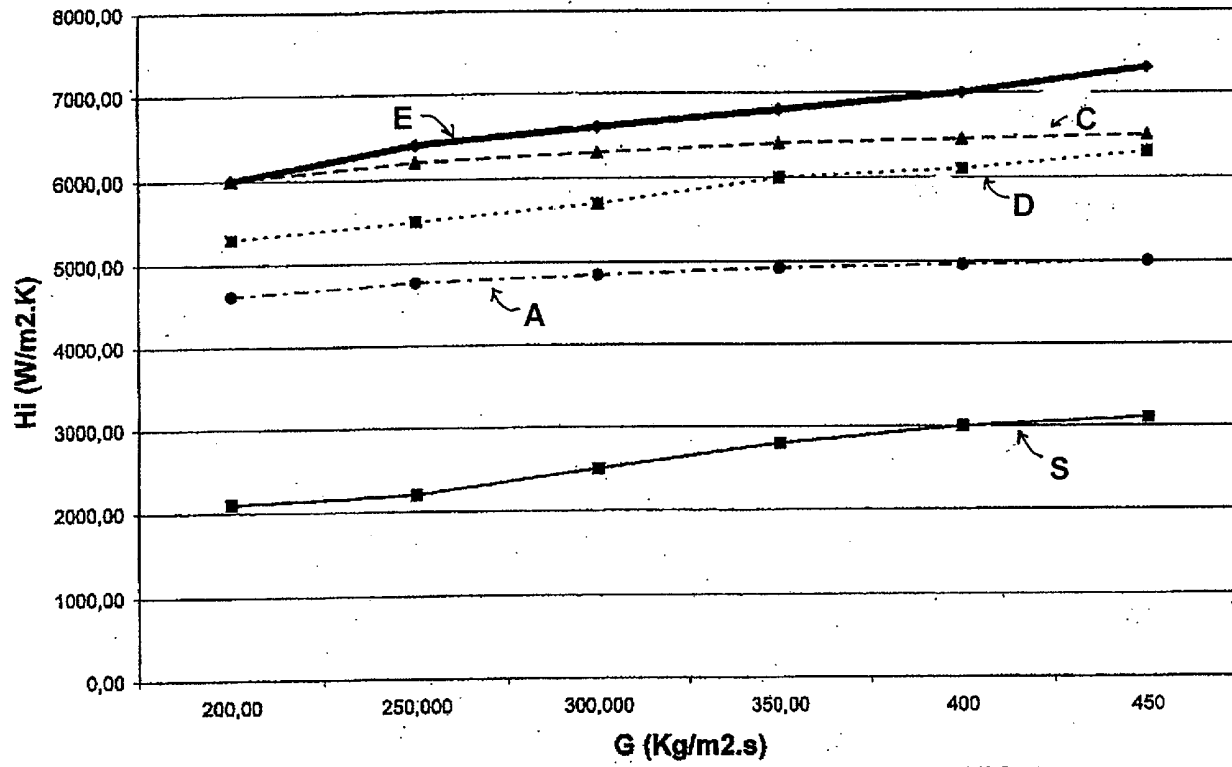


FIG.4

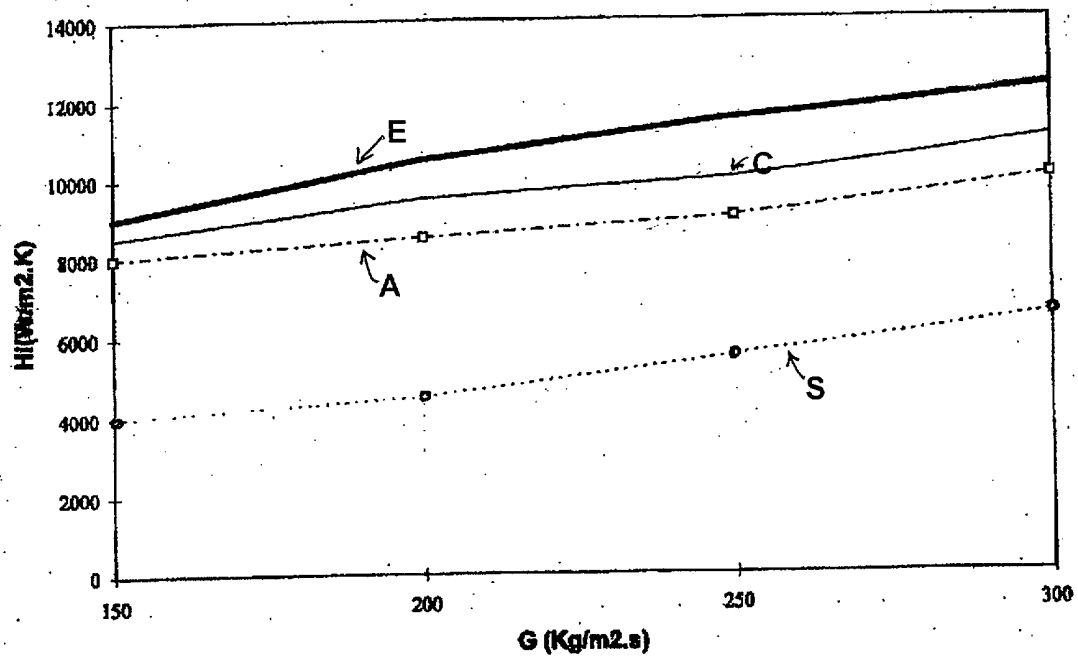


FIG.5

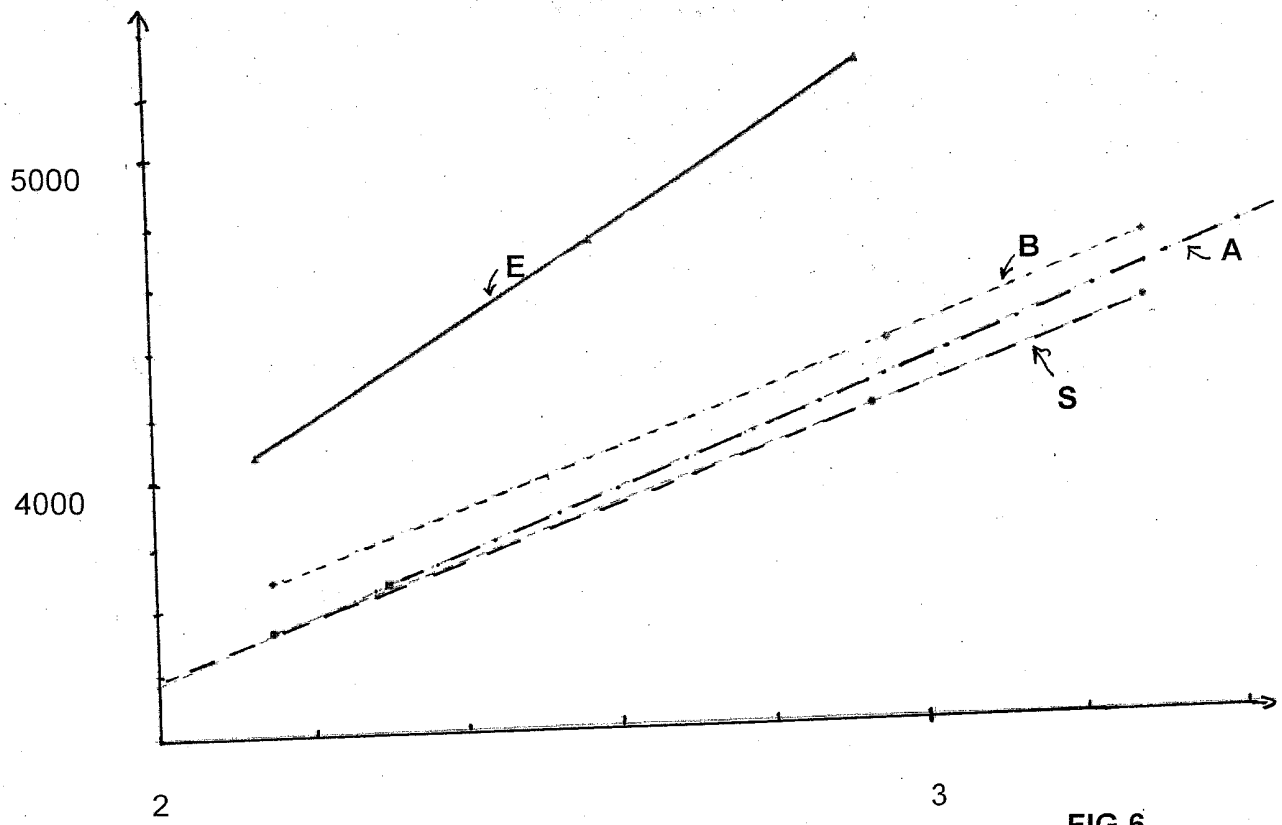


FIG. 6

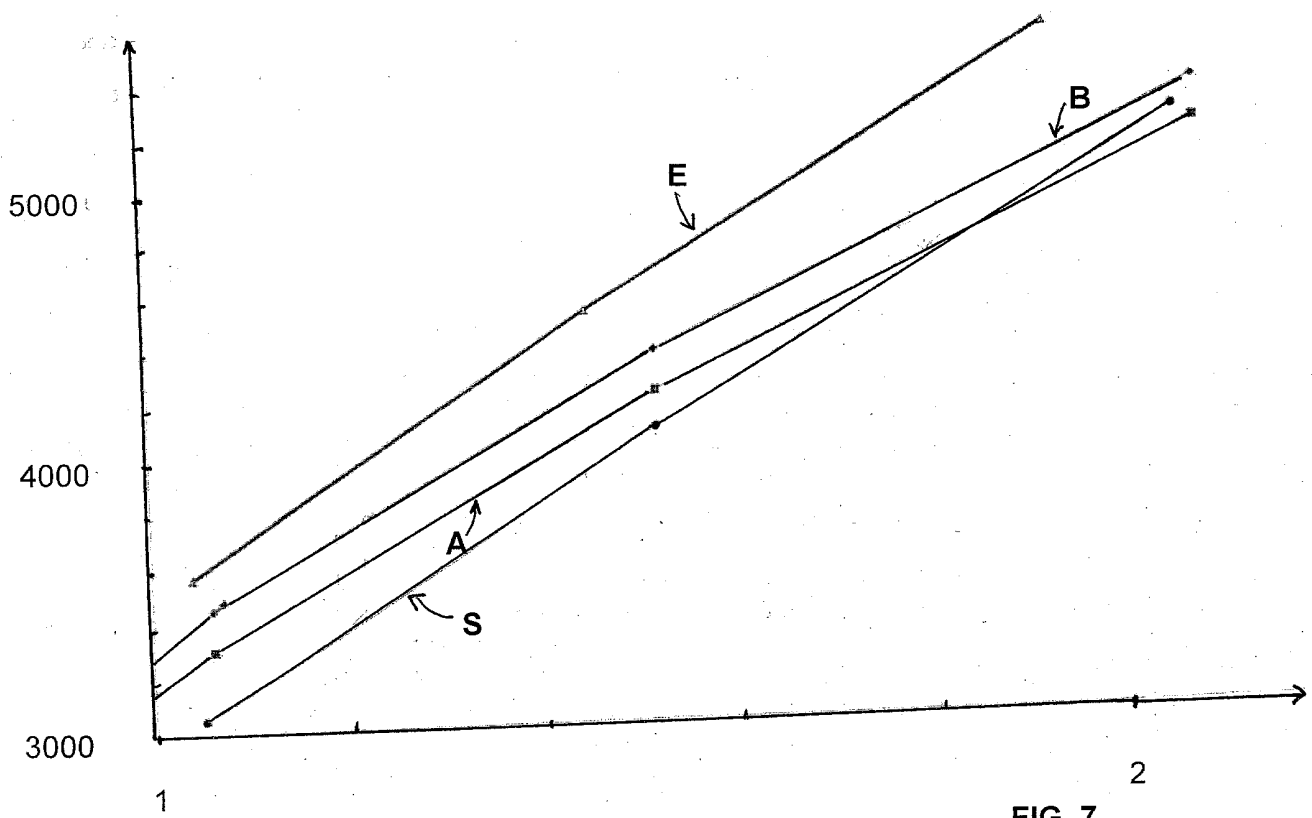
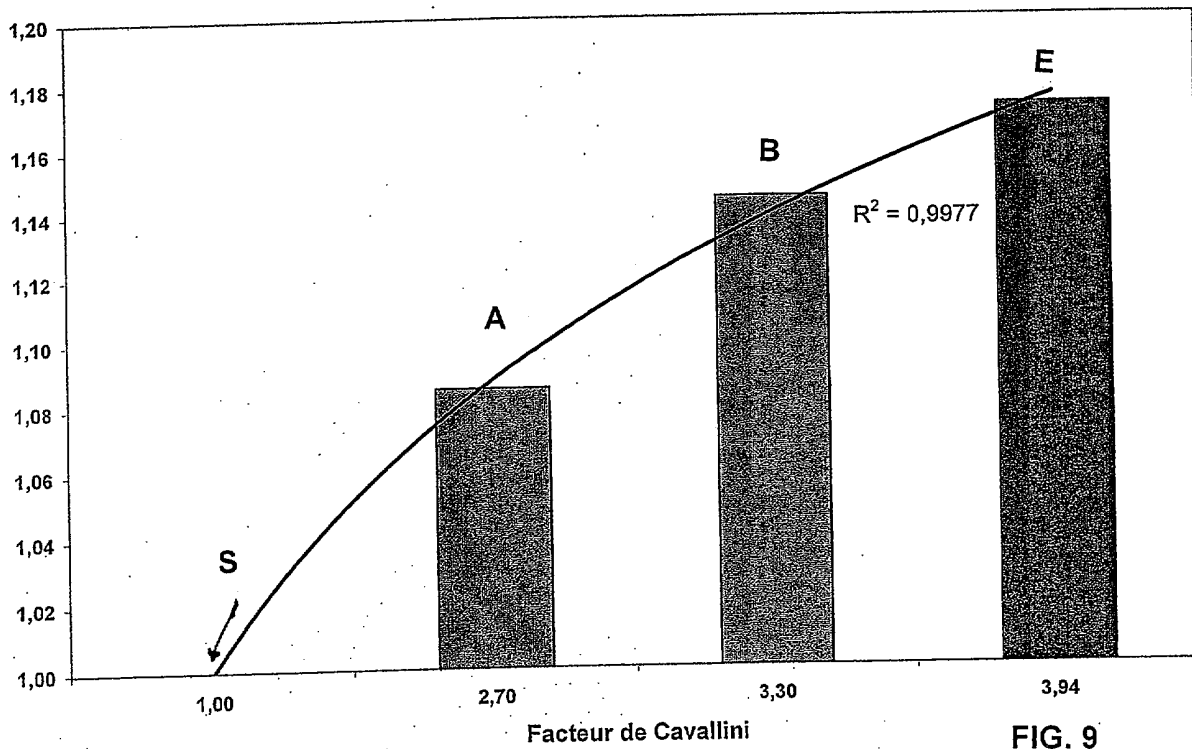
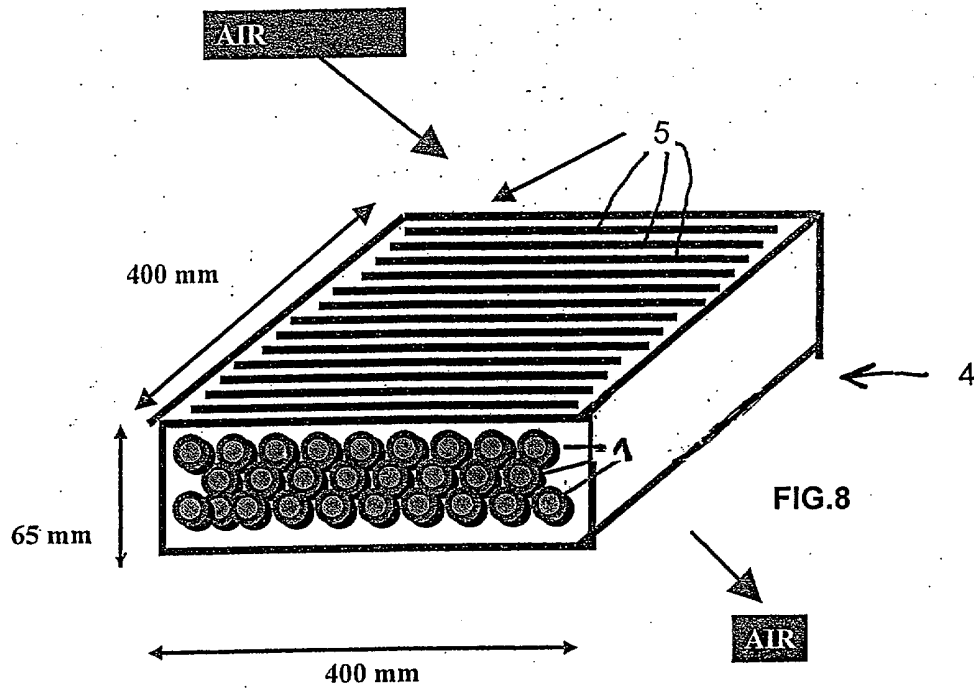


FIG. 7



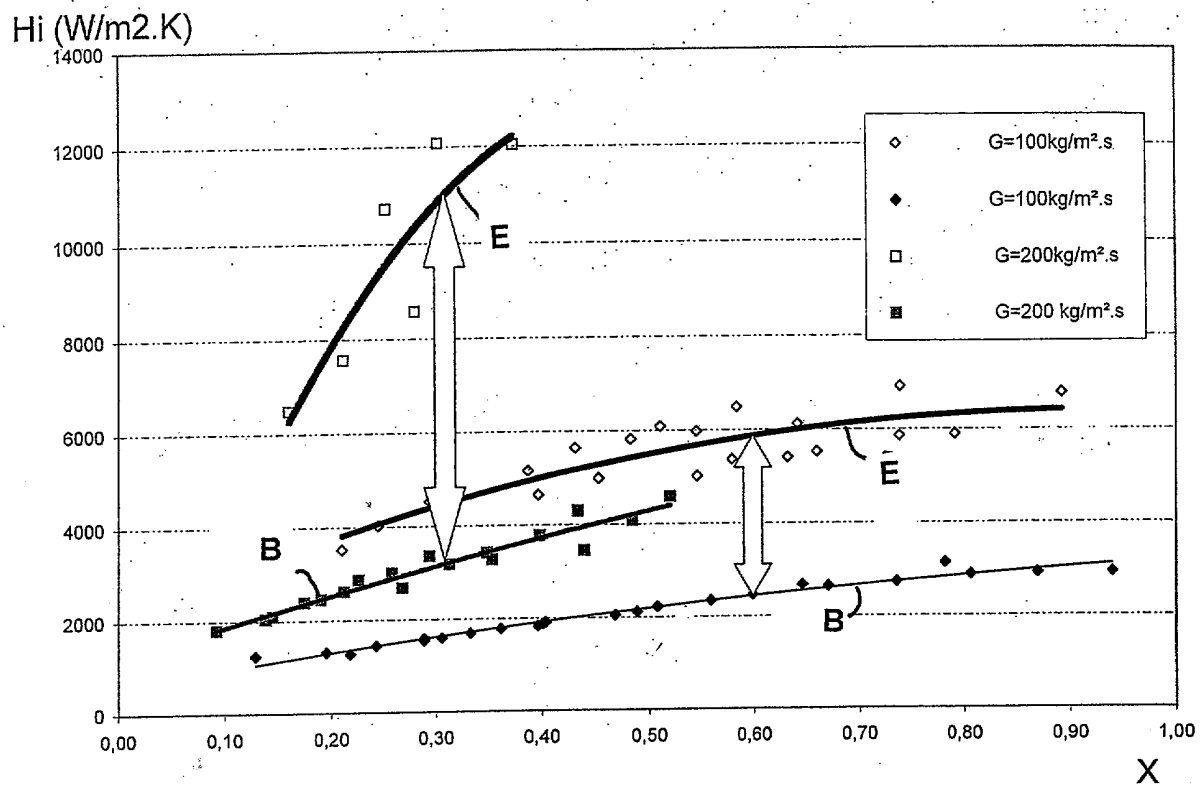


FIG.10

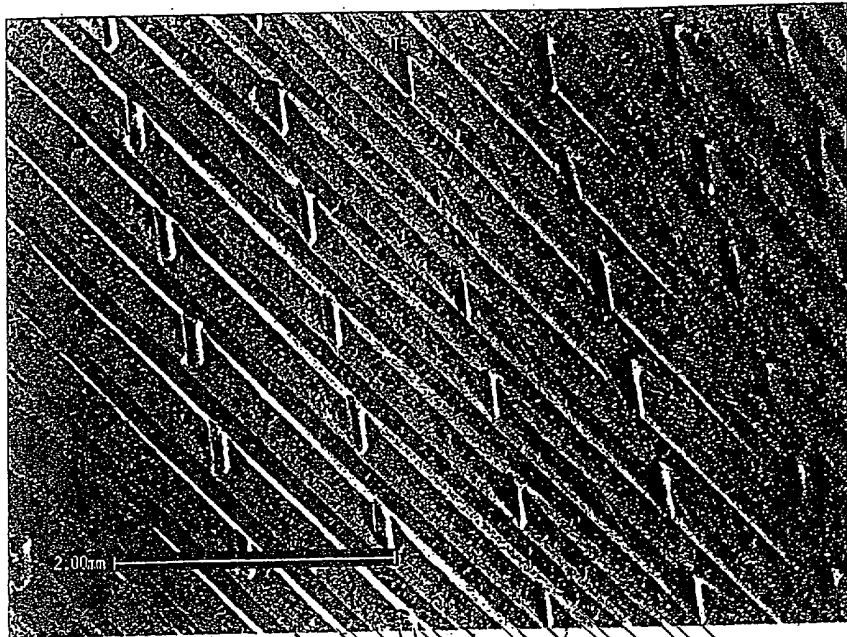
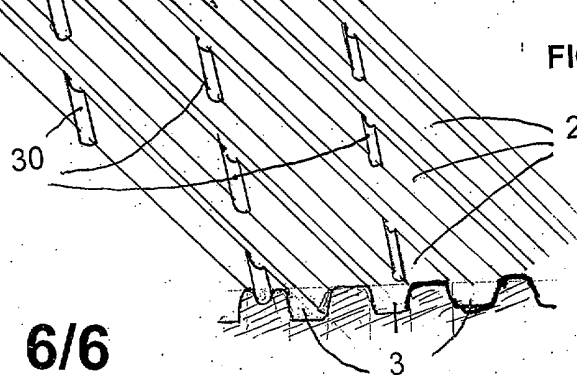


FIG.11



[illegible]

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 617133
FR 0203067

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	CAVALLINI ET AL: "HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP DURING CONDENSATION OF REFRIGERANTS INSIDE HORIZONTAL ENHANCED TUBES" INTERNATIONAL JOURNAL OF REFRIGERATION, vol. 23, no. 1, janvier 2000 (2000-01), pages 4-25, XP002223533 OXFORD, GB ISSN: 0140-7007 * le document en entier * -----	1-21	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
4 décembre 2002		Beltzung, F	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		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	
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			

1
EPO FORM 1503 12.99 (P4/C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0203067 FA 617133**

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 **04-12-2002**
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
EP 0148609	A	17-07-1985	JP 4021117 B	08-04-1992
			JP 60142195 A	27-07-1985
			DE 3472000 D1	14-07-1988
			EP 0148609 A2	17-07-1985
			ES 290960 U	16-05-1986
			US 4658892 A	21-04-1987
US 5692560	A	02-12-1997	FR 2706197 A1	16-12-1994
			AU 677850 B2	08-05-1997
			AU 6932194 A	03-01-1995
			BR 9406753 A	27-02-1996
			CA 2164515 A1	22-12-1994
			CN 1125000 A ,B	19-06-1996
			DE 69401434 D1	20-02-1997
			DE 69401434 T2	28-05-1997
			EP 0701680 A1	20-03-1996
			ES 2096473 T3	01-03-1997
			WO 9429661 A1	22-12-1994
			GR 3022274 T3	30-04-1997
			IL 109752 A	30-10-1998
JP 09021594	A	21-01-1997	AUCUN	
EP 0518312	A	16-12-1992	JP 5079783 A	30-03-1993
			EP 0518312 A1	16-12-1992
			FI 922701 A	12-12-1992
EP 0591094	A	06-04-1994	BR 9303895 A	19-04-1994
			CN 1087162 A	25-05-1994
			EP 0591094 A1	06-04-1994
			JP 6201286 A	19-07-1994
			MX 9305803 A1	30-06-1994