



(51) Classification internationale des brevets :  
*F28D 15/00* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2022/050192

(22) Date de dépôt international :  
02 février 2022 (02.02.2022)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
FR2101045 04 février 2021 (04.02.2021) FR

(71) Déposants : **CENTRE NATIONAL DE LA RE-  
CHERCHE SCIENTIFIQUE** [FR/FR] ; 3 rue Michel  
Ange, 75016 PARIS (FR). **UNIVERSITE CLAUDE**

**BERNARD LYON 1** [FR/FR] ; 43 boulevard du 11  
novembre 1918, 69100 VILLEURBANNE (FR). **INSTI-  
TUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE  
LYON** [FR/FR] ; 20 avenue Albert Einstein, 69621  
VILLEURBANNE CEDEX (69266) (FR). **CENTRE  
TECHNIQUE INDUSTRIEL DE LA PLASTURGIE  
ET DES COMPOSITES** [FR/FR] ; 2 rue Pierre et Marie  
Curie, 01100 Bellignat (FR).

(72) Inventeurs : **LIPS, Stéphane** ; 8 rue des Mésanges, 38180  
Seyssins (FR). **BERUT, Elise** ; 62 rue Francis de Pressensé,  
69100 VILLEURBANNE (FR). **LEFEVRE, Frédéric** ; 4  
rue Coustou, 69001 LYON (FR). **SARTRE, Valérie** ; 24  
allée de Verdun, 69500 BRON (FR). **JOFFRE, Thomas**  
; 16 rue du carré Jean Claude, 01500 Ambérieu en Bugey  
(FR). **BAJOLET, Julien** ; 11 allée de la combe verte, 01960  
Péronnas (FR).

(54) Title: CONDENSER FOR A HEAT PIPE

(54) Titre : CONDENSEUR POUR CALODUC

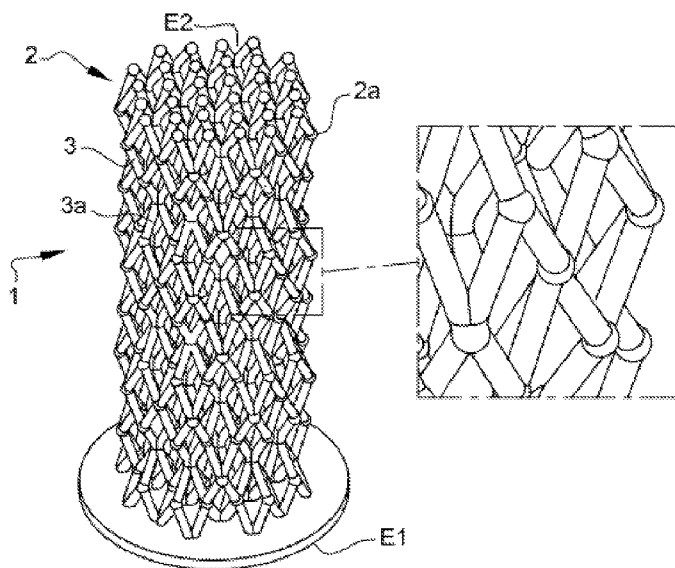


FIG. 1

(57) **Abstract:** The present invention relates to a condenser (1) for a heat pipe: - a plurality of tubes (2) comprising a wall (3) having an outer face (3a) and an inner face (3b), the wall (3) delimiting a space containing a heat transfer fluid; - the tubes (2) operating as a condenser intended to condense the heat transfer fluid vapour in contact with a cold source; - the tubes (2) being intended to be connected to an evaporator, the condenser for a heat pipe (1) being characterised in that: - the tubes (2) are connected together by branches so as to form a network of interconnected tubes (2); and/or - the inner face (3b) of the wall (3) of the tubes (2) has a non-circular cross-section.

(57) **Abrégé :** La présente invention concerne un condenseur (1) pour caloduc comprenant : - une pluralité de tubes (2) comprenant une paroi (3) ayant une face externe (3a) et une face interne (3b), ladite paroi (3) délimitant un espace contenant un fluide caloporteur,

(74) **Mandataire : CABINET GERMAIN ET MAUREAU ;**  
12 rue Boileau, 69006 LYON (FR).

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

- lesdits tubes (2) opérant comme un condenseur destiné à condenser de la vapeur de fluide caloporteur au contact d'une source froide,  
- lesdits tubes (2) étant destinés à être reliés à un évaporateur, ledit condenseur pour caloduc (1) étant caractérisé en ce que : - lesdits tubes (2) sont reliés entre eux par des embranchements de sorte à former un réseau de tubes (2) interconnectés et/ou - ladite face interne (3b) de la paroi (3) desdits tubes (2) a une section transversale non-circulaire.

## DESCRIPTION

### TITRE : Condenseur pour caloduc

5 La présente invention concerne un condenseur pour caloduc et un procédé de fabrication dudit caloduc. La présente invention est particulièrement destinée aux domaines de l'automobile, de l'électronique, du ferroviaire et de l'aérospatial.

Un caloduc se présente généralement sous la forme d'une enceinte étanche remplie d'un fluide à l'état d'équilibre liquide-vapeur. Une extrémité du caloduc, nommée  
10 « évaporateur », est située près d'un élément à refroidir, nommé également « source chaude ». Le fluide à l'état liquide se vaporise en absorbant de l'énergie thermique émise par la source chaude. La vapeur circule alors dans le caloduc jusqu'à l'autre extrémité, nommée « condenseur », située près d'un système de refroidissement, nommé « source froide » où elle se condense pour retourner à l'état liquide. La condensation permet de céder de l'énergie  
15 thermique à la source froide. Le liquide retourne alors à l'évaporateur par gravité ou par capillarité.

Dans les caloducs conventionnels, la vapeur et le liquide circulent entre l'évaporateur et le condenseur par une seule voie de communication. Une structure capillaire peut être créée afin d'assurer le retour du condensat du condenseur vers l'évaporateur, sous  
20 l'effet d'une pression motrice capillaire, en particulier lorsque les forces de gravité ne sont pas présentes ou lorsque l'orientation du caloduc nécessite à l'écoulement du liquide de vaincre la gravité. L'assèchement de l'évaporateur est ainsi évité.

La conception et la fabrication d'un caloduc nécessite de répondre à un certain nombre de critères. Son enveloppe doit répondre à des contraintes d'étanchéité et de stabilité  
25 dans le temps particulièrement exigeantes sous peine d'introduire des gaz incondensables au sein du caloduc et d'en détériorer les performances thermiques ou sous peine d'assister à une diminution de la charge de remplissage en fluide, due au passage de molécules de vapeur à travers la paroi du caloduc. Un caloduc est aussi soumis à des variations de pression interne importantes pouvant aller du vide lors du remplissage du système à une surpression de l'ordre  
30 de 1 bar lorsque sa température de saturation augmente.

Ces contraintes sont en opposition avec la nécessité de maintenir les parois en polymère ou en métal les plus fines possibles dans les zones d'évaporation et de condensation pour limiter l'augmentation excessive des résistances thermiques de conduction au sein du caloduc. De plus, quel que soit le matériau utilisé, une bonne tenue en température, une bonne  
35 tenue thermomécanique, notamment vis-à-vis de fortes différences de pression de part et d'autre de la paroi, et une parfaite compatibilité chimique avec le fluide sont requises. Enfin, le comportement du fluide au sein du caloduc se révèle délicat à prédire ainsi que les coefficients d'échange lors de la condensation du fluide.

Les contraintes relatives à la géométrie d'un tel caloduc sont notamment liées aux procédés de mise en forme usuels des polymères et des métaux incluant l'injection, l'extrusion ou le rotomoulage. Les géométries réalisables sont techniquement limitées. En conséquence, les possibilités d'optimisation des surfaces d'échange sont relativement réduites. Or, une surface d'échange importante au niveau de la source froide est avantageuse, notamment lors d'un refroidissement par air. De ce fait, le caloduc est généralement utilisé comme intermédiaire entre la source chaude et un dissipateur thermique à ailettes qui, lui, présente une grande surface d'échange et transfère la chaleur par convection avec l'air ambiant. Le caloduc sert alors de simple diffuseur thermique dont le rôle est d'étaler la puissance thermique dissipée sur une plus grande surface plane en amont du dissipateur à ailettes. Ce dissipateur doit être constitué d'un matériau métallique massif afin de présenter une efficacité thermique suffisante. Son poids est donc élevé. Ainsi l'encombrement et la masse du système global sont généralement importants.

Par ailleurs, dans certaines applications, la performance de l'échange thermique n'est pas suffisante.

L'invention a pour but de remédier aux inconvénients précités en proposant un condenseur de caloduc permettant d'optimiser les échanges thermiques, notamment lors d'un refroidissement par air, ne nécessitant pas l'ajout d'un dissipateur à ailettes supplémentaire et facilement adaptable dans diverses applications. Par ailleurs, l'invention a pour but de proposer un condenseur de caloduc sur mesure dont la forme peut varier en fonction de l'application désirée, plus compacte et dont le poids est allégé par rapport aux condenseur de caloducs de l'art antérieur.

L'invention a pour objet un condenseur pour caloduc comprenant :

- une pluralité de tubes comprenant une paroi ayant une face externe et une face interne, ladite paroi délimitant un espace contenant un fluide caloporteur,
- lesdits tubes opérant comme un condenseur destiné à condenser de la vapeur de fluide caloporteur au contact d'une source froide,
- lesdits tubes étant destinés à être reliés à un évaporateur, ledit condenseur pour caloduc étant caractérisé en ce que :
- lesdits tubes sont reliés entre eux par des embranchements de sorte à former un réseau de tubes interconnectés et/ou
- ladite face interne de la paroi desdits tubes a une section transversale non-circulaire.

Le condenseur pour caloduc selon l'invention permet d'améliorer significativement les échanges thermiques. Les tubes forment des ailettes dans lesquelles le fluide se condense, ce qui permet d'assurer un bon transfert de chaleur en leur sein, donc d'augmenter la puissance dissipée proportionnellement à la longueur des ailettes. Par ailleurs, la présence d'un dissipateur à ailettes pleines n'est plus nécessaire ce qui permet de réduire le poids du caloduc. Les inventeurs ont découvert que la section transversale de la face interne de la paroi desdits tubes non-circulaire permet d'améliorer le drainage du fluide caloporteur à l'intérieur des tubes. Le

liquide s'accumule dans les coins sous l'effet des forces capillaires, ce qui permet son drainage vers l'évaporateur par gravité et évite la formation de bouchons de liquide stables dégradant les performances. En outre, l'interconnexion des tubes permet la circulation et l'évacuation des bouchons de liquide non évacués par drainage ainsi que la circulation des gaz incondensables éventuellement présents aux extrémités supérieures des tubes, qui dégradent le transfert de chaleur par condensation. Grâce à ces différents phénomènes, le diamètre des tubes peut être significativement réduit par rapport à un condenseur à ailettes creuses circulaires non-interconnectées sans observer de blocage de la condensation. La réduction du diamètre des tubes permet d'augmenter le coefficient d'échange et, surtout, la surface d'échange en multipliant les tubes. Finalement, l'interconnexion des tubes et la section transversale de la face interne de la paroi des tubes non circulaire permettent une augmentation du débit de condensation et l'évacuation d'une plus grande puissance thermique, notamment grâce à l'augmentation de la surface d'échange par rapport à un caloduc à ailettes creuses circulaires. Enfin, le condenseur selon l'invention résiste à des dépressions sous vide et à des températures allant jusqu'à 120°C.

Dans une forme de réalisation, le réseau de tubes interconnectés inclut un tube central vertical entouré d'une pluralité de tubes périphériques verticaux, le diamètre du tube central vertical étant supérieur aux diamètres des tubes périphériques verticaux, les embranchements reliant aux moins deux tubes périphériques verticaux et les embranchements étant reliés au tube central vertical.

Dans une forme de réalisation, le réseau de tubes interconnectés inclut des tubes reliés entre eux par des embranchements de sorte à former un motif géométrique répété de manière régulière ou irrégulière. De préférence, le motif géométrique est répété de manière régulière. Dans cette forme de réalisation, les échanges thermiques sont plus importants.

Dans une forme de réalisation, le motif géométrique est un polyèdre. Dans cette forme de réalisation, les surfaces d'échanges sont plus grandes ce qui permet de transférer une puissance plus importante.

Dans une forme de réalisation, le polyèdre est choisi parmi : le tétraèdre, l'hexaèdre, l'octaèdre, le dodécaèdre régulier, l'icosaèdre, le petit dodécaèdre étoilé, le grand dodécaèdre étoilé, le grand dodécaèdre, le grand icosaèdre, le cuboctaèdre, l'icosidodécaèdre, le tétraèdre tronqué, le cube tronqué, l'octaèdre tronqué, le dodécaèdre tronqué, l'icosaèdre tronqué, le cuboctaèdre tronqué, l'icosidodécaèdre tronqué, le rhombicuboctaèdre, le cube adouci, le dodécaèdre adouci et le rhombicosidodécaèdre.

Dans une forme de réalisation, la section transversale de la face interne de la paroi desdits tubes présente une forme hexagonale, une forme carrée, une forme triangulaire, une forme d'étoile ou une forme non-polygonale telle qu'une forme lobée. Dans cette forme de réalisation, le drainage du fluide caloporteur vers la source chaude est optimisé. L'augmentation de la vitesse d'évacuation du condensat permet d'améliorer la performance du condenseur. La

section transversale de la face interne de la paroi desdits tubes crée une direction préférentielle pour l'écoulement du fluide. En optimisant le drainage du fluide caloporteur du condenseur vers l'évaporateur, la performance du caloduc est améliorée.

5 Dans une forme de réalisation, l'épaisseur de la paroi desdits tubes est supérieure à 0 mm et inférieure à 2,0 mm. De préférence, l'épaisseur de la paroi desdits tubes est inférieure à 1,4 mm. Avantageusement, l'épaisseur de la paroi desdits tubes est comprise entre 0,6 et 0,8 mm. Le caloduc selon l'invention permet d'obtenir des parois plus fines que des caloducs traditionnels. En effet, si l'épaisseur de la paroi est suffisamment fine, la résistance liée à la conduction dans la paroi n'est pas limitante, même dans le cas de matériaux ayant une mauvaise  
10 conductivité thermique tels que les polymères. Dans cette forme de réalisation, l'épaisseur de la paroi permet de garantir l'étanchéité du condenseur pour caloduc tout en maintenant le vide dans lesdits tubes.

Dans une forme de réalisation, la pression régnant dans les tubes est inférieure à 1000 mbar.

15 Dans une forme de réalisation, les tubes sont en polymère ou en métal. De préférence, les tubes sont en polymère.

Dans une forme de réalisation, le polymère est choisi parmi : les photopolymères incluant les acrylates, les epoxy et les méthacrylates; les thermoplastiques et les thermodurcissables.

20 Dans une forme de réalisation, le métal est choisi parmi : l'aluminium, le titane et l'acier.

Dans une forme de réalisation, le fluide est choisi parmi : l'eau, le pentane ou un hydrofluoroéther.

Dans une forme de réalisation, la source froide est l'air.

25 L'invention concerne également un procédé comprenant une étape de fabrication additive. De préférence, l'étape de fabrication additive est réalisée par stéréolithographie, par frittage sélectif par laser, par fusion sélective par laser, par fusion par faisceaux d'électrons, par dépôt de fil en fusion, par projection de matériau, par photopolymérisation ou par stratification de matériaux en feuilles et/ou plaques.

30 Le procédé selon l'invention permet d'obtenir aisément un condenseur pour caloduc ayant une structure dans laquelle les tubes sont interconnectés et dans laquelle la section transversale de la face interne de la paroi desdits tubes est non-circulaire. La réalisation de structures architecturées et interconnectées creuses permet d'augmenter considérablement les surfaces d'échanges au sein du condenseur pour caloduc, notamment en réduisant le  
35 diamètre des tubes. Cela permet ainsi d'augmenter la capacité du caloduc à dissiper la chaleur tout en diminuant la masse et l'encombrement de celui-ci.

L'invention sera mieux comprise, grâce à la description ci-après, qui se rapporte à un ou plusieurs modes de réalisation selon la présente invention, donné à titre d'exemples non limitatifs et expliqués avec référence aux dessins schématiques annexés, dans lesquels :

- [Fig. 1] illustre un exemple de condenseur pour caloduc selon l'invention,  
5 [Fig. 2] illustre un autre exemple de condenseur pour caloduc selon l'invention,  
[Fig. 3] illustre un autre exemple de condenseur pour caloduc selon l'invention,  
[Fig. 4] illustre un autre exemple de condenseur pour caloduc selon l'invention,  
[Fig. 5] illustre un exemple de section transversale non-circulaire de la face interne de la paroi desdits tubes du condenseur selon l'invention,  
10 [Fig. 6] illustre un exemple de section transversale non-circulaire de la face interne de la paroi desdits tubes du condenseur selon l'invention,  
[Fig. 7] illustre un autre exemple de section transversale non-circulaire de la face interne de la paroi desdits tubes du condenseur selon l'invention,  
[Fig. 8] illustre un autre exemple de section transversale non-circulaire de la face interne de la paroi desdits tubes du condenseur selon l'invention et  
15 [Fig. 9] illustre un exemple montrant les vitesses de drainage de fluide caloporteur en l'absence de condensation en fonction de la forme de la section transversale de la face interne de la paroi desdits tubes.

Les Figures 1 à 4 illustrent des exemples de condenseur 1 pour caloduc (non  
20 illustré) comprenant une pluralité de tubes 2 comprenant une paroi 3 ayant une face externe 3a et une face interne 3b. La paroi 3 délimite un espace contenant un fluide caloporteur. La face interne 3b de la paroi 3 des tubes 2 a une section transversale non-circulaire.

Les tubes 2 opèrent comme un condenseur destiné à condenser de la vapeur de fluide caloporteur au contact d'une source froide. Par exemple, la source froide est l'air. Ainsi,  
25 aucun dissipateur externe n'est nécessaire. L'extrémité E1 des tubes 2 est destinée à être reliés à un évaporateur (non illustré).

Les tubes 2 sont reliés entre eux par des embranchements 2a de sorte à former un réseau de tubes interconnectés.

La Figure 1 illustre un exemple de condenseur 1 de caloduc dont le réseau de  
30 tubes 2 interconnectés inclut des tubes 2 reliés entre eux par des embranchements 2a de sorte à former un motif géométrique répété de manière régulière. Par exemple, le motif géométrique est un dodécaèdre régulier. Par exemple, l'épaisseur de la paroi 3 desdits tubes 2 est de 0,8 mm.

La Figure 2 illustre un exemple de condenseur 1 de caloduc dont le réseau de tubes 2 interconnectés inclut des tubes 2 reliés entre eux par des embranchements 2a de sorte  
35 à former un motif géométrique répété de manière régulière. Par exemple, le motif géométrique est un dodécaèdre régulier. Par exemple, l'épaisseur de la paroi 3 desdits tubes 2 est de 1,2 mm.

La Figure 3 illustre un exemple de condenseur 1 de caloduc dont le réseau de tubes 2 interconnectés inclut un tube central vertical 4 entouré d'une pluralité de tubes périphériques

verticaux 5, le diamètre du tube central vertical 4 étant supérieur aux diamètres des tubes périphériques verticaux 5. Les embranchements 2a relient aux moins deux tubes périphériques et les embranchements 2a sont reliés au tube central vertical 4. Par exemple, l'épaisseur de la paroi 3 desdits tubes 2 est de 0,8 mm.

5 Dans l'exemple de la Figure 3, une extrémité E1 du condenseur 1 est en contact avec un évaporateur (non illustré) qui transforme le fluide caloporteur en vapeur. La vapeur remonte le long du tube central vertical 4 en direction de l'extrémité E2 des tubes 2. La vapeur va alors se diriger dans les tubes périphériques verticaux 5 et se condenser sur la face interne 3b des parois 3 des tubes 2. Le fluide caloporteur condensé redescend ainsi vers l'extrémité E1  
10 des tubes 2.

La Figure 4 illustre une partie d'un exemple de condenseur 1 de caloduc dont le réseau de tubes 2 interconnectés inclut des tubes 2 reliés entre eux par des embranchements 2a de sorte à former un motif géométrique répété de manière irrégulière. Par exemple, le motif géométrique est un cuboctaèdre. Par exemple, l'épaisseur de la paroi 3 desdits tubes 2 est de  
15 0,8 mm.

Dans les exemples de condenseur 1 de caloduc illustrés Figures 1, 2 et 4, une extrémité E1 du condenseur 1 est en contact avec un évaporateur (non illustré) qui transforme le fluide caloporteur en vapeur. La vapeur remonte le long des tubes 2 en direction de l'extrémité E2 des tubes 2 et se condense sur la face interne 3b des parois 3 des tubes 2. Le fluide caloporteur condensé redescend ainsi vers l'extrémité E1 des tubes 2.  
20

De préférence, l'épaisseur de la paroi desdits tubes est comprise entre 0,6 et 0,8 mm. Cette épaisseur permet d'assurer l'étanchéité de la structure et de maintenir le vide. Par ailleurs, les tubes ont un diamètre suffisant pour éviter la formation de bouchons de fluide caloporteur stables qui pourraient entraver la circulation du fluide dans le condenseur.

25 Par exemple, le fluide caloporteur est l'eau.

Les Figures 5 à 8 illustrent des exemples de caloducs ayant une section transversale non-circulaire de la face interne 3b de la paroi 3 des tubes 2.

Dans la Figure 5, la section transversale de la face interne 3b de la paroi 3 des tubes 2 a une forme hexagonale.

30 Dans la Figure 6, la section transversale de la face interne 3b de la paroi 3 des tubes 2 a une forme carrée.

Dans la Figure 7, la section transversale de la face interne 3b de la paroi 3 des tubes 2 a une forme triangulaire.

35 Dans la Figure 8, la section transversale de la face interne 3b de la paroi 3 des tubes 2 a une forme lobée, c'est-à-dire non polygonale.

Par exemple, la pression régnant dans les tubes est d'environ 20 mbar.

Par exemple, les tubes 2 du condenseur 1 sont en polymère. Le polymère peut être un acrylate.

Le procédé de fabrication du condenseur 1 pour caloduc selon l'invention comprend une étape de fabrication additive. Par exemple, l'étape de fabrication additive est réalisée par stéréolithographie.

La structure du condenseur selon l'invention permet d'améliorer la résistance  
5 mécanique de la structure et de limiter l'effet des contraintes résiduelles inhérentes à la fabrication additive. En effet, la présence d'embranchements permet d'éviter une déformation macroscopique trop importante de la pièce.

La présente invention est illustrée de manière non limitative par les exemples  
suivants.

10

#### Exemple 1 : Température

Deux condenseurs de caloduc illustrés Figure 1 et 3 ont été fabriqués par stéréolithographie. Ces deux condenseurs ont été réalisés avec de la poudre de polymère nommée High Temp Resin®. La face interne de la paroi desdits tubes des condenseurs a une  
15 section transversale de forme circulaire. L'épaisseur de paroi est de 0,8 mm. Les tubes du condenseur de caloduc illustré Figure 1 ont un diamètre intérieur de 2 mm. Pour le condenseur de caloduc illustré Figure 3, les tubes périphériques ont un diamètre de 2 mm et le tube central a un diamètre de 10 mm.

Les extrémités des condenseurs ont été mises en contact avec un évaporateur  
20 transférant une puissance de 10 à 135 W. Dans cet exemple, le fluide caloporteur est l'eau et la pression de saturation est comprise entre 110 et 960 mbar. La vapeur d'eau a circulé depuis l'évaporateur vers le condenseur et a été condensée le long de la face interne de la paroi des tubes.

La circulation de l'eau dans les tubes a été évaluée visuellement. Seuls des  
25 bouchons instables se sont formés. Grâce aux interconnexions, les bouchons retombent progressivement à l'évaporateur et ne bloquent pas le condenseur.

La température du condenseur a été évaluée à l'aide d'une caméra thermique infrarouge. La caméra a montré que la température qui régnait dans les deux condenseurs était homogène tout au long du test.

30

#### Exemple 2 : Drainage

Des tubes isolés et ouverts ont été fabriqués par stéréolithographie afin d'étudier l'influence de la section transversale sur le drainage. Les tubes ont été réalisés avec de la poudre de polymère nommée High Temp Resin®. La section transversale de la face interne de la paroi  
35 des tubes a varié.

Dans ce test, le fluide utilisé est l'hydrofluoroéther (HFE-7100).

Les essais sont menés à pression atmosphérique et température ambiante. Dans chaque tube testé, un bouchon de liquide de longueur 10 à 15 mm est introduit à l'aide d'une

seringue. Sa vitesse de disparition est ensuite mesurée à l'aide d'un chronomètre et de visualisations par caméra. Connaissant le volume du bouchon, la vitesse de drainage du HFE est finalement déduite.

La Figure 9 illustre les résultats de ce test. La Figure 9 montre que lorsque la section transversale de la face interne de la paroi desdits tubes est circulaire, le fluide HFE n'est pas drainé (le bouchon ne disparaît pas). Au contraire, lorsque la section transversale de la face interne de la paroi desdits tubes est non-circulaire, en particulier de forme hexagonale, carrée, triangulaire, lobée ou étoile, le fluide HFE est drainé.

Ainsi, le condenseur selon l'invention permet une amélioration de la performance thermique et une augmentation de la puissance transférable comparé à un caloduc traditionnel avec dissipateur ou condenseur à ailettes creuses circulaires non-interconnectées. En effet, l'existence d'un drainage significatif dans les sections non circulaires et la déstabilisation des bouchons de liquide grâce aux interconnexions rendent possible une réduction du diamètre des tubes et, ainsi, une augmentation significative de la surface d'échange en convection externe par la multiplication des tubes. Le refroidissement externe est ainsi amélioré sans entraîner de blocage de la condensation à l'intérieur des tubes.

Enfin, l'utilisation de la fabrication additive pour la réalisation d'un condenseur à ailettes creuses est avantageuse car elle permet de réaliser une grande variété de structures de tubes spécifiques et interconnectées, à optimiser selon l'application envisagée. Comme évoqué précédemment, l'optimisation permet d'augmenter la puissance transférable et la performance thermique. Elle consiste grossièrement à augmenter la surface d'échange des ailettes tout en s'assurant que celle-ci soit opérationnelle, notamment en drainant et en déstabilisant les éventuels bouchons de liquide formés par le fluide caloporteur.

## REVENDICATIONS

1. Condenseur (1) pour caloduc comprenant :
  - une pluralité de tubes (2) comprenant une paroi (3) ayant une face externe (3a) et une face interne (3b), ladite paroi (3) délimitant un espace contenant un fluide caloporteur,
  - lesdits tubes (2) opérant comme un condenseur destiné à condenser de la vapeur de fluide caloporteur au contact d'une source froide,
  - lesdits tubes (2) étant destinés à être reliés à un évaporateur, ledit condenseur pour caloduc étant caractérisé en ce que :
  - lesdits tubes (2) sont reliés entre eux par des embranchements de sorte à former un réseau de tubes (2) interconnectés et/ou
  - ladite face interne (3b) de la paroi (3) desdits tubes (2) a une section transversale non-circulaire choisie parmi : une forme triangulaire, une forme d'étoile ou une forme non-polygonale telle qu'une forme lobée.
2. Condenseur (1) pour caloduc selon la revendication 1, dans lequel le réseau de tubes (2) interconnectés inclut un tube central vertical (4) entouré d'une pluralité de tubes périphériques verticaux (5), le diamètre du tube central vertical (4) étant supérieur aux diamètres des tubes périphériques verticaux (5), les embranchements reliant aux moins deux tubes périphériques verticaux (5) et les embranchements étant reliés au tube central vertical (4).
3. Condenseur (1) pour caloduc selon la revendication 1, dans lequel le réseau de tubes (2) interconnectés inclut des tubes (2) reliés entre eux par des embranchements (2a) de sorte à former un motif géométrique répété de manière régulière ou irrégulière.
4. Condenseur (1) pour caloduc selon la revendication 3, dans lequel le motif géométrique est un polyèdre.
5. Condenseur (1) pour caloduc selon la revendication 4, dans lequel polyèdre est choisi parmi : le tétraèdre, l'hexaèdre, l'octaèdre, le dodécaèdre régulier, l'icosaèdre, le petit dodécaèdre étoilé, le grand dodécaèdre étoilé, le grand dodécaèdre, le grand icosaèdre, le cuboctaèdre, l'icosidodécaèdre, le tétraèdre tronqué, le cube tronqué, l'octaèdre tronqué, le dodécaèdre tronqué, l'icosaèdre tronqué, le cuboctaèdre tronqué, l'icosidodécaèdre tronqué, le rhombicuboctaèdre, le cube adouci, le dodécaèdre adouci et le rhombicosidodécaèdre.
6. Condenseur (1) pour caloduc selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'épaisseur de la paroi (3) desdits tubes (2) est supérieure à 0 mm et inférieure à 2,0 mm.
7. Procédé de fabrication d'un condenseur (1) pour caloduc selon l'une quelconque des revendications précédentes, ledit procédé comprenant une étape de fabrication additive.
8. Procédé de fabrication selon la revendication 7, dans lequel l'étape de fabrication additive est réalisée par stéréolithographie, par frittage sélectif par laser, par fusion

10

sélective par laser, par fusion par faisceaux d'électrons, par dépôt de fil en fusion, par projection de matériau, par photopolymérisation ou par stratification de matériaux en feuilles et/ou plaques.

5

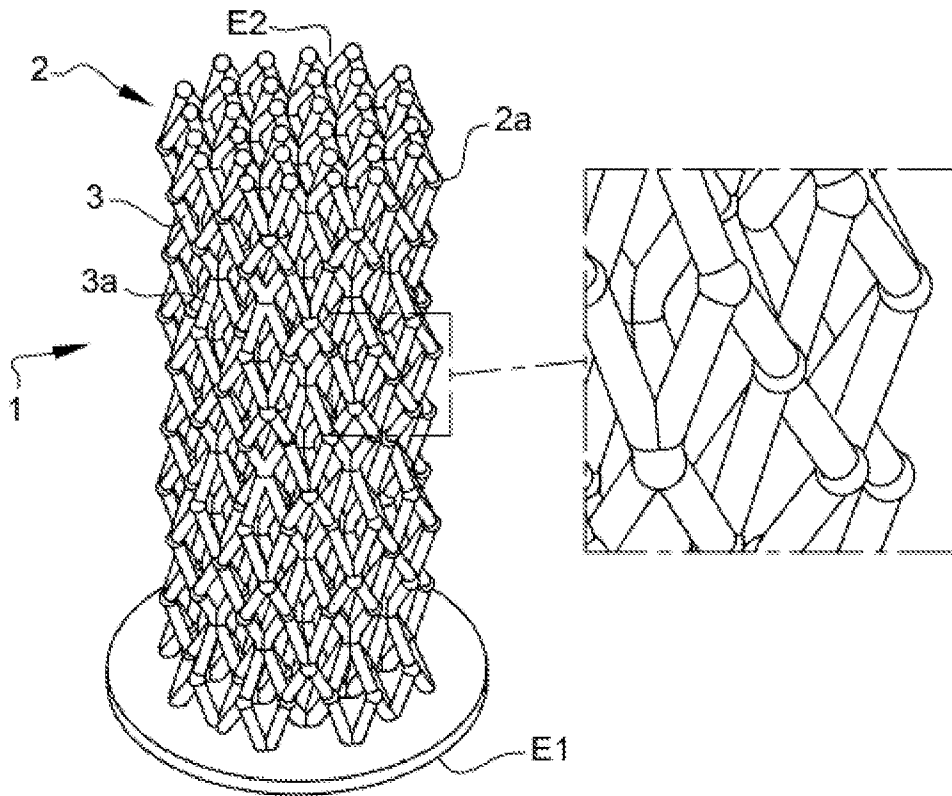


FIG. 1

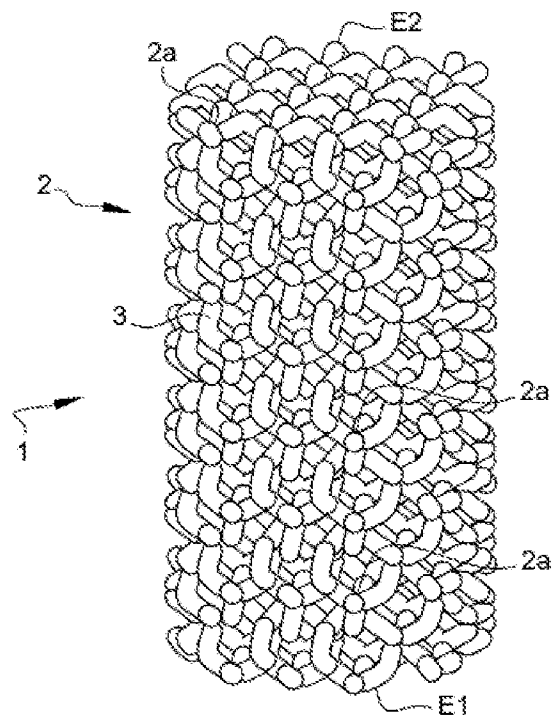


FIG. 2

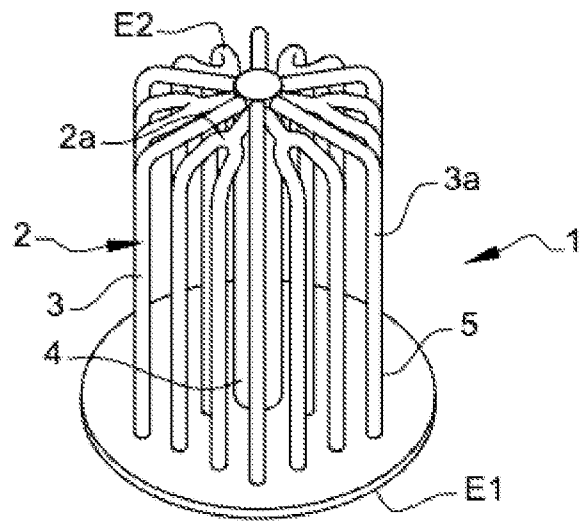


FIG. 3

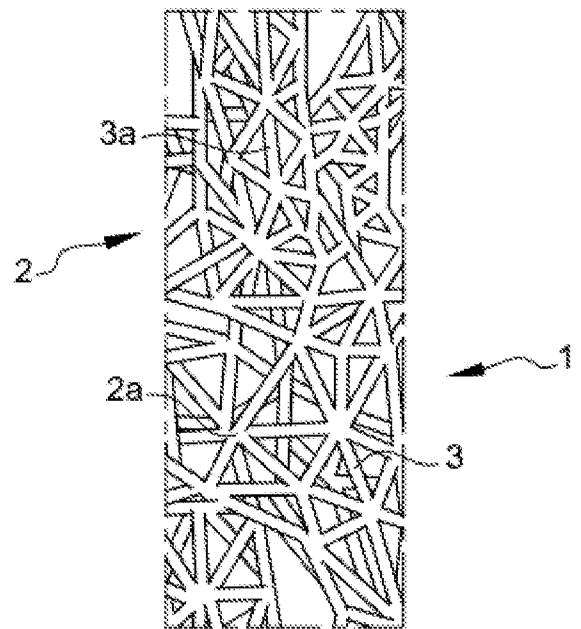


FIG. 4

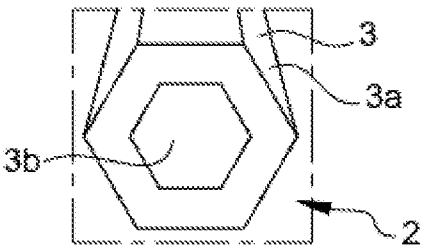


FIG. 5

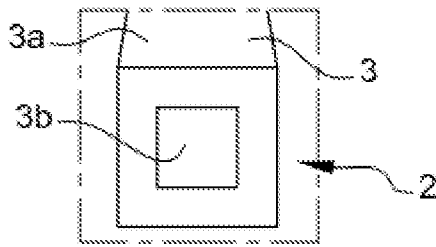


FIG. 6

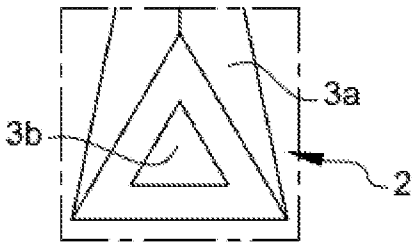


FIG. 7

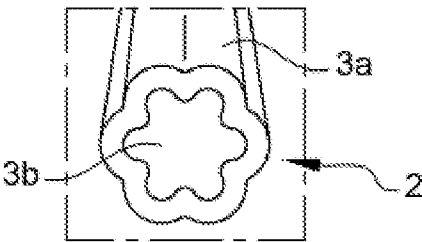


FIG. 8

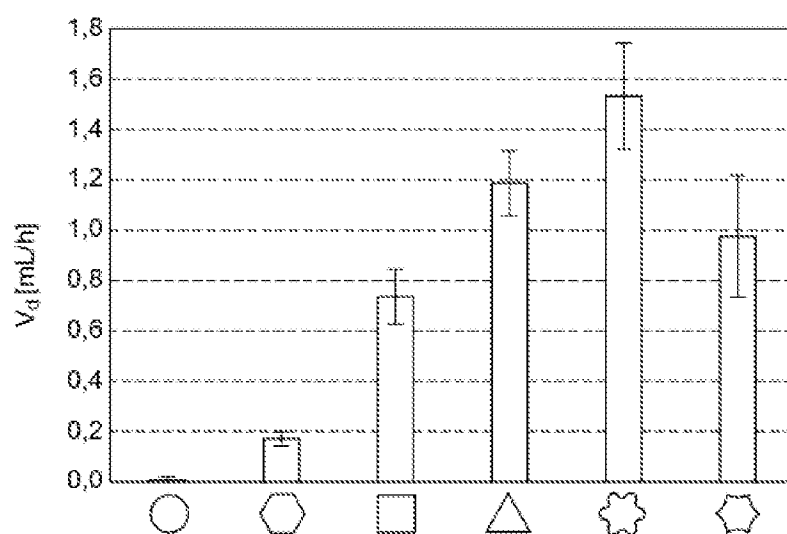


FIG. 9

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/FR2022/050192****A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****F28D 15/00**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F28D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X<br>A    | US 6269865 B1 (HUANG BIN-JUINE [TW]) 07 August 2001 (2001-08-07)<br>figure 8         | 1,3,6-8<br>2,4,5      |
| X         | US 10365047 B2 (GE AVIATION SYSTEMS LLC [US]) 30 July 2019 (2019-07-30)<br>figure 7  | 4,5                   |
| A         | US 2019078846 A1 (WAN CHENG-CHIEN [TW] ET AL) 14 March 2019 (2019-03-14)<br>figure 6 | 1-8                   |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

**06 April 2022**

Date of mailing of the international search report

**14 April 2022**

Name and mailing address of the ISA/EP

**European Patent Office**  
**p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk**  
**Netherlands**

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

**Bain, David**

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/FR2022/050192**

| Patent document<br>cited in search report |            |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |            |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------|-------------------------|------------|----|--------------------------------------|
| US                                        | 6269865    | B1 | 07 August 2001                       | TW                      | 331586     | B  | 11 May 1998                          |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 6269865    | B1 | 07 August 2001                       |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2001023757 | A1 | 27 September 2001                    |
| US                                        | 10365047   | B2 | 30 July 2019                         | US                      | 2017363363 | A1 | 21 December 2017                     |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2017367218 | A1 | 21 December 2017                     |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2019285356 | A1 | 19 September 2019                    |
| US                                        | 2019078846 | A1 | 14 March 2019                        | TW                      | 201915423  | A  | 16 April 2019                        |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2019078846 | A1 | 14 March 2019                        |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2022/050192

| <b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b><br><b>INV. F28D15/00</b><br><b>ADD.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                |                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                |                                                                  |
| <b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b><br>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)<br><b>F28D</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                |                                                                  |
| Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                |                                                                  |
| Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)<br><b>EPO-Internal</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                |                                                                  |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                |                                                                  |
| Catégorie*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées                                    |
| <b>X</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>US 6 269 865 B1 (HUANG BIN-JUINE [TW])</b>                                                  | <b>1, 3, 6-8</b>                                                 |
| <b>A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>7 août 2001 (2001-08-07)</b>                                                                |                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>figure 8</b>                                                                                | <b>2, 4, 5</b>                                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | -----                                                                                          |                                                                  |
| <b>X</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>US 10 365 047 B2 (GE AVIATION SYSTEMS LLC [US]) 30 juillet 2019 (2019-07-30)</b>            | <b>4, 5</b>                                                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>figure 7</b>                                                                                |                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | -----                                                                                          |                                                                  |
| <b>A</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>US 2019/078846 A1 (WAN CHENG-CHIEN [TW] ET AL) 14 mars 2019 (2019-03-14)</b>                | <b>1-8</b>                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>figure 6</b>                                                                                |                                                                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | -----                                                                                          |                                                                  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents         </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe         </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                |                                                                  |
| * Catégories spéciales de documents cités:<br><div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div> |                                                                                                |                                                                  |
| Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                | Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale |
| <b>6 avril 2022</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                | <b>14/04/2022</b>                                                |
| Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale<br>Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                | Fonctionnaire autorisé<br><br><b>Bain, David</b>                 |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2022/050192

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication      |
|-------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| US 6269865                                      | B1                     | 07-08-2001                              | TW 331586 B 11-05-1998      |
|                                                 |                        |                                         | US 6269865 B1 07-08-2001    |
|                                                 |                        |                                         | US 2001023757 A1 27-09-2001 |
| US 10365047                                     | B2                     | 30-07-2019                              | US 2017363363 A1 21-12-2017 |
|                                                 |                        |                                         | US 2017367218 A1 21-12-2017 |
|                                                 |                        |                                         | US 2019285356 A1 19-09-2019 |
| US 2019078846                                   | A1                     | 14-03-2019                              | TW 201915423 A 16-04-2019   |
|                                                 |                        |                                         | US 2019078846 A1 14-03-2019 |