

(19)



(11)

EP 2 861 928 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

06.12.2017 Bulletin 2017/49

(51) Int Cl.:

F28D 15/02 ^(2006.01)

F28D 15/04 ^(2006.01)

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/EP2013/065236

(21) Numéro de dépôt: **13739684.2**

(22) Date de dépôt: **18.07.2013**

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2014/013035 (23.01.2014 Gazette 2014/04)

(54) **DISPOSITIF DE CONTRÔLE THERMIQUE**

TEMPERATURREGELUNGSVORRICHTUNG

TEMPERATURE CONTROL DEVICE

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(43) Date de publication de la demande:

22.04.2015 Bulletin 2015/17

(73) Titulaire: **Airbus Defence and Space SAS**

31402 Toulouse Cedex 4 (FR)

(72) Inventeur: **FIGUS, Christophe**

F-31280 Drémil Lafage (FR)

(74) Mandataire: **Ipside**

6, Impasse Michel Labrousse

31100 Toulouse (FR)

(56) Documents cités:

WO-A1-2012/049752

US-A1- 2006 283 577

US-A1- 2008 289 801

US-A1- 2009 114 374

US-A1- 2011 232 874

EP 2 861 928 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne un satellite selon le préambule de la revendication 1. Un tel satellite est connu du document US 2008/0289801.

Préambule et art antérieur

[0002] On entend par contrôle thermique le maintien d'un équipement donné à une température comprise dans une plage prédéterminée. La chaleur produite par une ou plusieurs sources de chaleur doit être collectée et transportée vers des zones où elle peut s'évacuer dans des puits de chaleur (radiateurs).

[0003] Une telle exigence est notamment critique pour des équipements électroniques embarqués sur satellite. En effet, lesdits équipements sont fortement dissipatifs et doivent être maintenus dans une plage de température donnée malgré des variations importantes de l'environnement thermique du satellite et une impossibilité d'évacuer la chaleur par convection naturelle ou forcée.

[0004] A titre d'exemple, au sein d'un satellite coexistent des parois radiatives dites panneaux radiateurs, ou radiateurs, qui dissipent la chaleur par rayonnement vers l'espace froid, et des parois portant les équipements électroniques dissipatifs, dites panneaux porte équipements. La chaleur dissipée par les équipements est collectée au niveau des panneaux porte équipements et doit être évacuée vers les panneaux radiateurs.

[0005] On comprend que le couplage thermique entre panneaux porte équipement et panneaux radiateurs est critique pour assurer la bonne évacuation de la chaleur dissipée par les équipements électroniques. Ce couplage thermique est par ailleurs complexe à réaliser du fait de la place restreinte disponible au sein du satellite, liée à l'encombrement des équipements et à leur géométrie. Par ailleurs, le système de contrôle thermique doit répondre à des besoins contradictoires, car il doit à la fois assurer une collecte efficace de la chaleur produite par les équipements dissipatifs, et permettre un transport thermique efficace sur une distance éventuellement assez grande entre les panneaux porte équipements et les panneaux radiateurs.

[0006] On utilise classiquement des caloducs pour assurer la fonction de transport thermique.

[0007] On rappelle qu'un **caloduc** utilise le changement de phase d'un fluide pour assurer la collecte de la chaleur à un endroit chaud, et son transfert sous forme de vapeur vers un endroit froid. Un caloduc tubulaire est classiquement composé d'un tube fermé dans laquelle cohabitent les phases liquides et gazeuses d'un même fluide maintenu sous pression. Le caloduc permet de stocker la chaleur par évaporation et de la restituer par condensation du fluide.

[0008] Une première partie du caloduc, dite zone chaude (évaporateur), est, à cette fin, disposée à proximité d'une source de chaleur, comme par exemple un élément dissipatif d'énergie thermique. A cet endroit, le liquide

contenu dans le caloduc se vaporise en absorbant de la chaleur. La vapeur ainsi créée se propage à l'intérieur du caloduc jusqu'à une autre partie du caloduc, dite zone froide (condenseur), disposée au voisinage d'un puits de chaleur. Le gaz se condense alors en restituant la chaleur précédemment absorbée. La nécessaire circulation du liquide entre la zone froide et la zone chaude se fait couramment par capillarité, celle-ci étant facilitée par utilisation de rainures, de treillis, d'artères ou de mousse métallique disposées sur la surface interne du tube du caloduc.

[0009] Une source de chaleur est ici typiquement un équipement ou un panneau porte équipement. Un puits à chaleur typique est un panneau radiateur.

[0010] Un caloduc peut être en contact thermique avec plusieurs sources de chaleur et plusieurs puits de chaleur.

[0011] Le conduit d'un **caloduc tubulaire** (voir figures 1a et 1b) est un tube cylindrique dont la paroi interne est rainurée, par exemple par extrusion, créant ainsi la structure capillaire par où transite le liquide. Une semelle, accolée au tube du caloduc sur une partie de sa longueur, favorise le contact thermique entre le caloduc tubulaire et les sources de chaleur et/ou les puits de chaleur, grâce à une interface de montage plane. La longueur typique d'un caloduc tubulaire embarqué sur satellite pour le refroidissement de panneaux est de un mètre à quelques mètres et son diamètre de un à quelques centimètres.

[0012] Dans le cas d'application considéré ici, la chaleur produite par les équipements montés sur un panneau du satellite doit être transportée vers un autre panneau du satellite, ou à un autre endroit du même panneau (on peut aussi avoir un caloduc qui étale sur le radiateur la chaleur en faisant en même temps interface avec un ou plusieurs équipements dissipatifs), là où elle sera dissipée.

[0013] C'est le cas par exemple lorsque le panneau porte-équipements est au soleil (il rayonne moins donc évacue moins bien la chaleur) et qu'un autre panneau est à l'ombre (cas favorable pour rayonner la chaleur). Dans ce cas, on peut prolonger les caloducs tubulaires de sorte qu'ils transportent la chaleur d'un panneau à l'autre (ils sont courbés à l'intersection). La chaleur est évacuée efficacement lorsqu'au moins l'un des deux panneaux est à l'ombre (ou à faible incidence solaire).

[0014] Dans le cas du contrôle thermique de panneaux porte-équipements à bord de satellites, la collecte de la chaleur au niveau d'un équipement se fait par échange thermique entre un certain nombre de caloducs tubulaires et les équipements.

[0015] Dans ce cas, la limitation principale observée est la capacité de collecte de la chaleur par les caloducs pour une densité de flux de chaleur donnée. A profil de caloduc donné, le nombre de caloducs à positionner est dimensionné par la collecte de chaleur et dans ce cas, le réseau de caloducs est surdimensionné pour le transport de chaleur d'un panneau à l'autre et/ou la diffusion de la chaleur sur un panneau, ce qui entraîne un surplus

important de masse.

[0016] D'autre part, la performance de l'échange thermique au niveau du caloduc est proportionnelle à la surface d'échange interne au caloduc (rainures par exemple) et donc pour minimiser les gradients thermiques il est parfois nécessaire de multiplier le nombre de caloducs.

Exposé de l'invention

[0017] L'invention vise un satellite selon la revendication 1. En d'autres termes, il s'agit d'un satellite avec un dispositif de régulation thermique mettant en oeuvre une enceinte thermique contenant un fluide diphasique, ledit dispositif comprenant :

- au moins une zone d'échange de chaleur comportant un caloduc configuré sous la forme d'une enveloppe mince (c'est à dire une surface d'échange importante avec une épaisseur très faible, typiquement au moins dix fois plus faible, que les autres dimensions), ladite zone d'échange étant dite "enceinte plate" (qui peut se présenter sous forme de plaque en une, deux ou trois dimensions),
- au moins une zone de transport de chaleur configurée sous la forme d'au moins un caloduc tubulaire, ledit caloduc tubulaire étant dit "tube", et
- au moins un noeud de connexion entre l'enceinte plate et le tube, ledit noeud de connexion présentant une continuité de capillarité entre l'enceinte plate et le tube.

[0018] La dimension capillaire des rainures, pores, cellules, treillis,... qui assurent l'écoulement du fluide sous forme liquide au travers du noeud est sensiblement de même dimension (dans un rapport 0.5 à 2) que la dimension capillaire du caloduc tubulaire.

[0019] Avantagusement, dans le cas de plusieurs tubes reliés à une même enceinte plate, lesdits tubes présentent des conduits de vapeur dont la somme des sections de passage est sensiblement égale à la section de passage de vapeur de ladite enceinte plate, dans le but de faciliter l'écoulement de la vapeur entre l'enceinte plate et les tubes.

[0020] On comprend que le dispositif dans le satellite de l'invention permet de résoudre indépendamment le dimensionnement adapté au transport de chaleur, et le dimensionnement adapté à l'échange thermique, avec un seul système. Le dispositif utilise d'une part un caloduc tubulaire (tube) sans fonction d'échange thermique pour la fonction de transport de chaleur, ce caloduc tubulaire étant d'encombrement réduit, et capable d'accepter une géométrie dictée par la disposition et la géométrie des espaces laissés libres entre les panneaux porte équipements et les radiateurs.

[0021] D'autre part, le dispositif utilise un caloduc à cavité étendue, ici nommé enceinte plate, disposé sous les équipements électroniques, pour la fonction d'échan-

ge thermique.

[0022] Le dispositif comprend une connexion capillaire entre le au moins un tube et l'enceinte plate pour assurer la continuité de circulation de fluide par capillarité entre son extrémité chaude et son extrémité froide.

[0023] L'invention permet ainsi de réduire la masse du système de collecte et de transport de chaleur par rapport à un système classique à caloduc. Elle a également pour avantage de permettre de mieux réaliser le couplage thermique entre les panneaux porte équipements et les radiateurs.

[0024] Un problème secondaire qui est résolu par l'invention est d'être plus efficace pour les équipements à paroi dissipative non plane.

[0025] Selon un mode de réalisation particulier, la zone de transport de chaleur comporte une zone de déformabilité accrue selon au moins une direction prédéterminée. On entend par zone déformable une zone de rigidité faible dans les conditions environnementales dans lesquelles est supposé opérer le dispositif.

[0026] De cette manière, il est possible d'accommoder des déformations survenant entre les supports des extrémités du dispositif sans pratiquement exercer d'efforts sur ces supports. Dans le cas particulier d'extrémités disposées l'une sur un panneau porte équipements et l'autre sur un radiateur, cette déformabilité de la zone de transport permet d'accommoder les déformations, par exemple thermiques, sans risquer de rupture du dispositif de contrôle thermique par cisaillement.

[0027] Dans un mode de réalisation particulier adapté au cas de deux supports des extrémités du dispositif disposés dans des plans différents, le tube comporte plusieurs coudes disposés dans des plans différents.

[0028] Le dispositif comporte alors deux enceintes plates sensiblement planes situées dans des plans différents, reliés par un tube possédant deux zones de torsion, les dites zones de torsion étant disposées dans au moins deux plans différents, les dits plans étant respectivement les plans selon lesquels sont disposées les enceintes plates

[0029] De cette manière, la rigidité du tube se trouve nettement réduite dans deux plans, permettant une accommodation d'un petit déplacement ou d'une déformation angulaire survenant entre ces deux plans.

[0030] Dans un cas particulier de mise en oeuvre, correspondant au cas d'une source ou puits de chaleur de forme comportant plusieurs plans, par exemple au moins deux parois planes d'un équipement dissipatif, l'enceinte plate présente une forme comportant au moins deux zones sensiblement planes s'étendant dans deux plans distincts et reliées par une arête.

[0031] Indépendamment de ces modes particuliers de réalisation, il est avantageux que l'épaisseur de l'enceinte plate soit sensiblement égale au diamètre du tube.

[0032] Dans un autre cas de mise en oeuvre, correspondant au cas d'une source de forme cylindrique, une partie de la surface externe de l'enceinte plate présente une forme localement cylindrique.

[0033] Dans un mode de réalisation particulier, l'enceinte plate et au moins un tube sont réalisés dans le même matériau, par exemple de l'invar.

Présentation des figures

[0034] Les caractéristiques de l'invention seront mieux appréciées grâce à la description qui suit, description qui expose les caractéristiques de l'invention au travers d'un exemple non limitatif d'application.

[0035] La description s'appuie sur les figures annexées qui représentent :

Figures 1a et 1b (déjà citées) : des vues en coupe longitudinale et transversale d'un caloduc selon l'art antérieur,

Figure 2 : une vue schématique en perspective d'un dispositif de transfert de chaleur selon un mode de réalisation d'un satellite selon l'invention,

Figures 3b à 3f : des vues de détail du dispositif de la figure 2,

Figure 4 : une vue d'une variante dispositif de transfert de chaleur, adapté au cas d'équipements dissipatifs disposés sur deux plans perpendiculaires,

Figures 5a à 5c : des vues d'une variante de dispositif de transfert de chaleur, adapté au cas d'un équipement dissipatif de forme sensiblement cylindrique,

Figure 6 : une vue en perspective d'une autre variante du dispositif,

Figure 7 : une vue d'une autre variante du dispositif, dans le cas de plusieurs zones d'échange planes,

Figure 8 : une vue du dispositif de la figure 7, adapté au cas de deux équipements dissipatifs,

Figure 9 : une vue d'une autre variante du dispositif, utilisant une zone de transport dotée localement d'une semelle de refroidissement,

Figure 10 : une vue d'une variante du dispositif, comportant une zone d'échange, et plusieurs zones de transport de chaleur,

Figure 11 : une vue en perspective d'une variante adaptée au cas d'équipements disposés sur deux plans différents,

Figure 12 : une vue d'une autre variante de dispositif, dans ce même cas.

Description détaillée d'un mode de réalisation de l'invention

[0036] On note tout d'abord que les figures ne sont pas à l'échelle.

[0037] L'invention décrite ici, dans un exemple de mise en oeuvre nullement limitatif, trouve sa place dans un satellite. Ce système de contrôle thermique est conçu et dimensionné selon les équipements embarqués à bord du satellite. Sa géométrie dépend donc de la géométrie des équipements embarqués, et de leur disposition au sein dudit satellite.

[0038] Dans un mode de réalisation donné ici à titre

illustratif et nullement limitatif, le dispositif de transfert de chaleur est constitué d'une enceinte thermique contenant un fluide diphasique, cette enceinte présentant une cavité interne où peut circuler librement le fluide à l'état de vapeur et une structure capillaire apte à retenir le fluide à l'état liquide.

[0039] Plus précisément (voir figure 2), le dispositif comporte en premier lieu au moins une enceinte plate 1 contenant un fluide à l'état diphasique et formant une zone d'échange thermique avec une source de chaleur ou avec un puits de chaleur. On considère comme plate une enceinte dont en chaque point une des dimensions est sensiblement inférieure aux deux autres dimensions, par exemple dix fois plus faible. Dans le présent exemple de réalisation, l'enceinte est rectangulaire et plane.

[0040] Cette enceinte plate 1 présente une structure capillaire sur tout ou partie de sa surface interne à l'endroit où s'effectue l'échange thermique avec la source de chaleur ou le puits de chaleur. Dans l'exemple suivant l'invention, cette structure capillaire possède une surface mouillée étendue dans au moins deux directions et apte à échanger un flux thermique dense.

[0041] Dans toute la suite de la description, on appellera « enceinte plate » une telle enceinte d'échange thermique diphasique contenant une structure capillaire interne en regard de la zone d'échange thermique.

[0042] Dans un exemple nullement limitatif illustré sur la figure 2, une forme plane de l'enceinte plate 1 est adaptée pour être en contact avec la surface plane d'un équipement ou d'un panneau radiatif. La surface de l'enceinte plate 1 est, dans cet exemple, de quelques dizaines à quelques centaines de centimètres carrés de surface, pour une épaisseur de quelques dixièmes de millimètres à quelques millimètres.

[0043] L'avantage procuré par ce type d'enceinte plate 1 est de pouvoir présenter une surface d'échange thermique très étendue avec une source de chaleur ou un puits de chaleur. Plusieurs sources de chaleur ou puits de chaleur peuvent avantageusement être montées en contact thermique avec la surface de l'enceinte.

[0044] Le dispositif comporte en second lieu au moins un élément de forme sensiblement tubulaire, dit tube 2, appelé plus précisément « tube de transport », sa longueur étant nettement plus importante que la plus grande dimension de sa section.

[0045] Le tube 2 est solidarisé à l'enceinte plate 1 au niveau d'un point de liaison 3. Le tube 2 présente selon l'invention une structure capillaire sur sa paroi interne, comme par exemple celle d'un caloduc tubulaire tel que décrit plus haut et considéré connu en soi. Dans le dispositif suivant l'invention, la fonction d'un tel tube est essentiellement de transporter le plus efficacement possible la chaleur collectée par l'enceinte plate 1.

[0046] Dans toute la suite de la description, on appellera « tube », ou « tube de transport » un tel tube de transport de chaleur possédant une structure capillaire interne, cette structure capillaire permettant de combiner le transport du fluide diphasique à la fois sous forme de

vapeur et sous forme de liquide dans les deux directions.

[0047] Dans le cas d'une application au refroidissement d'équipements dissipatifs à bord du satellite, la longueur typique d'un tel tube 2 peut être de quelques dizaines de centimètres à quelques mètres, et son diamètre de un à quelques centimètres.

[0048] Chaque tube de transport 2 présente une section significativement moins importante (de 1,5 à plusieurs dizaines de fois moins importante) que la plus grande section de l'enceinte plate (les sections étant considérées en coupe suivant le même plan).

[0049] La section des tubes de transport 2 est optimisée pour transporter le flux thermique échangé au niveau de l'enceinte plate 1.

[0050] Il est important de noter que sur la figure 2, seulement une partie du tube est visible car il est présenté en coupe à une extrémité. Le tube 2 se prolonge nécessairement vers au moins une autre zone d'échange thermique à laquelle il est connecté, cette autre zone étant reliée soit à un puits de chaleur si l'enceinte 1 est en échange thermique avec une source de chaleur, soit à une source de chaleur si l'enceinte 1 est en échange thermique avec un puits de chaleur. D'autres figures montreront un système complet utilisant le dispositif.

[0051] Des vues de dessus et en coupes de ce dispositif (voir figures 3b à 3f) illustrent la disposition des différentes parties de l'enceinte 1 et du tube 2.

[0052] Tel qu'illustré par la figure 3c, le conduit de vapeur 6 du tube 2 et le conduit de vapeur 5a, 5b, 5c de l'enceinte plate 1 communiquent entre eux, de sorte qu'il y a continuité de l'écoulement par inertie du fluide sous forme vapeur dans les deux sens entre l'enceinte plate 1 et le tube 2 au niveau de leur point de liaison 3. Il n'est pas nécessaire d'avoir une continuité parfaite de la géométrie des conduits de vapeur au niveau du point de liaison 3, mais il faut au moins assurer qu'il n'y a pas de perte de charge significative à ce niveau.

[0053] D'autre part, le dispositif est tel qu'il y a une continuité de capillarité entre la structure capillaire 7 du tube 2 et la structure capillaire 8 de l'enceinte plate 1 au point de liaison 3. Cette continuité capillaire doit permettre au liquide de s'écouler par capillarité dans les deux directions entre l'enceinte plate 1 et le tube 2.

[0054] On rappelle qu'une **zone de capillarité** est une zone à faible dimension géométrique où les effets de tension de surface sont prédominants sur les effets de gravité ou d'inertie. Une zone élémentaire de capillarité est constituée par exemple d'un pore au sein d'un matériau poreux, ou bien d'une rainure dans la masse d'une paroi interne d'un tube.

[0055] Il n'est pas nécessaire d'avoir une continuité capillaire parfaite entre les structures capillaires de l'enceinte plate 1 et du tube 2, mais au moins faut-il assurer qu'il n'y ait pas une discontinuité de l'effet de capillarité à ce niveau. Typiquement, une discontinuité éventuelle entre la structure capillaire de l'enceinte plate 1 et celle du tube 2 ne doit pas dépasser en dimension la dimension typique d'une zone élémentaire de capillarité, tel un

pore et/ou une rainure, desdites structures capillaires.

[0056] La continuité capillaire assurée aux noeuds de liaison permet ainsi au fluide en phase liquide de s'écouler par capillarité, dans une zone où les effets de tension de surface sont prédominants sur les effets de gravité ou d'inertie. La structure capillaire 7 des tubes 2 est constituée de rainures (figure 3d) et la structure capillaire 8 de l'enceinte plate 1 est constituée d'une structure poreuse ou d'un matériau poreux (figure 3c), qui présente une perméabilité élevée. Dans le cas où l'enceinte plate 1 et le tube 2 sont constitués d'un même matériau (de l'aluminium dans le cas le plus courant), le diamètre de pore de la structure poreuse ou du matériau poreux est alors choisi tel qu'il ne soit pas supérieur à deux fois l'ouverture des rainures de la structure capillaire du tube 2, afin de faciliter l'écoulement du liquide par capillarité dans les deux sens. Cette valeur peut évoluer en fonction des caractéristiques de mouillabilité du fluide dans le cas où des matériaux différents sont utilisés. La structure capillaire du tube 2 est disposée en continuité capillaire avec la structure capillaire de l'enceinte plate 1, également constituée d'une structure poreuse ou d'un matériau poreux, qui présente une perméabilité élevée avec un diamètre de pore qui n'est pas supérieur au diamètre de pore de la structure poreuse ou du matériau poreux des caloducs. Cette valeur peut également évoluer en fonction des caractéristiques de mouillabilité du fluide sur les différents matériaux utilisés.

[0057] Dans une variante de réalisation, l'échangeur diphasique capillaire 1 et le caloduc de transport 2 sont réalisés en invar, au lieu d'aluminium tel qu'usuellement utilisé dans l'art antérieur. L'invar procure au dispositif une plus grande stabilité dimensionnelle que l'aluminium ce qui est avantageux dans certaines applications.

[0058] Le dispositif qui vient d'être décrit est apte à collecter efficacement un flux de chaleur dense émis par une source de chaleur, et à le transporter efficacement vers une zone de dissipation déportée.

[0059] Dans des variantes de réalisation, l'enceinte plate 1 voit sa forme adaptée à une surface de contact non plane ou en plusieurs plans avec les équipements dissipatifs.

[0060] Dans ce cas, la surface mouillée de l'enceinte plate 1 épouse la forme de la source de chaleur ou du puits de chaleur avec laquelle elle est en contact. Si cette source ou ce puits a une forme parallélépipédique (comme un équipement électronique dans le cas d'une source de chaleur), l'enceinte plate 1 peut avoir une surface plane épousant l'empreinte de l'équipement quand il est fixé sur son plan de pose.

[0061] Dans un autre cas, correspondant à une enceinte plate 1 en contact avec plusieurs plans de l'équipement, l'enceinte plate 1 est constituée de deux parties 11, 12 planes et perpendiculaires (voir figure 4) connectées de telle sorte qu'il y ait continuité de leurs conduits de vapeur et de leurs structures capillaires. La connexion entre les deux parties 11, 12 de l'enceinte plane et le tube 2 s'effectue à l'angle d'intersection des deux parties

11, 12 avec continuité des conduits de vapeur et des structures capillaires comme précédemment décrit. Là encore, seulement une partie du tube 2 est représentée, celui-ci se prolongeant nécessairement, dans un système complet de contrôle thermique, jusqu'à un autre échangeur thermique auquel il est relié.

[0062] Si la source de chaleur a une forme sensiblement cylindrique, comme un moteur électrique par exemple, l'enceinte plate 1 présente une forme localement torique entourant ladite source (figures 5a à 5c).

[0063] Cette diversité de forme d'enceintes plates 1 (plan, multi-plan, torique, etc.) peut être fabriquée avantageusement grâce à des moyens de fabrication rapide, notamment à base de poudres, par exemple par fusion additive (impression directe tridimensionnelle). On peut alors fabriquer en une seule étape l'ensemble de l'enceinte plate 1, à savoir les parois de l'enceinte et la structure capillaire. Le tube de transport 2 peut être un tube de caloduc « standard » soudé à la pièce ainsi fabriquée. Il peut être également fabriqué en même temps que l'enceinte plate grâce aux moyens de fabrication rapide. Le remplissage du dispositif se fait suivant l'état de l'art des caloducs en utilisant par exemple un tube de remplissage (appelé parfois « queusot ») qui peut être connecté soit à une enceinte plate, soit à un tube de transport, du dispositif.

[0064] Le tube de transport 2 du dispositif peut être optimisé pour réaliser la fonction de transport de chaleur et seulement celle-ci. De tels caloducs sont réalisés à moindre coût.

[0065] Dans une variante de réalisation du dispositif, une enceinte plate 1 d'échange thermique peut être reliée à plusieurs tubes de transport 2, 2', 2'' (deux tubes comme sur les figures 7, 8, 11, 12, trois tubes comme sur les figures 6 et 10) connectés à elle suivant le mode de réalisation précédemment décrit.

[0066] Dans une autre variante (figure 7), le dispositif comporte plusieurs enceintes plates 1, 1' connectées entre elles par au moins un tube de transport 2, la forme de chaque enceinte plate 1 pouvant être adaptée chacune à la source de chaleur ou au puits de chaleur avec laquelle elle est en contact.

[0067] Dans ce même exemple de réalisation, à au moins deux enceintes plates 1, 1', chaque enceinte plate 1 du dispositif est en contact avec soit une source de chaleur 3, soit un puits de chaleur 4 (figure 8). Le tube de transport 2 connectant les enceintes plates 1 entre elles est dimensionné pour permettre un transport efficace de la chaleur depuis la source de chaleur 3 vers le puits de chaleur 4. Dans le cas où le tube 2 ne participe pas lui-même à l'échange thermique, il est avantageusement dimensionné uniquement pour cette fonction de transport de chaleur.

[0068] Les figures 7 et 8 présentent ainsi un système de contrôle thermique constitué de deux enceintes plates 1, 1' connectées à un tube 2 suivant le mode de réalisation précédemment décrit. L'ensemble constitué des deux enceintes et du tube forme une cavité étanche dans

laquelle circule un fluide diphasique permettant de réaliser simultanément des échanges thermiques et un transport de chaleur efficaces.

[0069] Dans certaines parties du dispositif, la collecte et l'évacuation de la chaleur peut être réalisée avec les moyens de l'état de l'art, par exemple par l'intermédiaire d'une semelle 13 placée autour du tube de transport 2 de sorte que cette semelle soit en contact thermique avec une source de chaleur ou un puits de chaleur (figure 9). Dans ce cas, le tube 2 sert à la fois comme tube de transport et comme échangeur thermique, ce qui peut être avantageux quand la source de chaleur (ou le puits de chaleur) en contact avec la semelle du tube 2 est de grande dimension.

[0070] Les figures 11 et 12 illustrent d'autres réalisations du dispositif, dans laquelle le tube de transport 2 est courbé et connecte deux zones d'échange thermique (ici deux enceintes plates 1, 1') dont les surfaces sont situées dans des plans différents. Dans le cas de la figure 12, le tube de transport 2 présente plusieurs coudes 14, 15, situés dans des plans différents, ce qui lui confère une déformabilité nettement accrue selon au moins une direction, dans une zone prédéterminée, permettant d'accommoder de petits déplacements ou déformations angulaires entre les plans supports les échangeurs diphasiques capillaires 1, 1'.

Avantages

[0071] Les caloducs répondent à trois types de besoins :

Un premier besoin est le transport d'énergie d'un point a à un point b à l'intérieur du satellite. On comprend que ce besoin conditionne la capacité de transport d'énergie nécessaire pour le caloduc.

Un second besoin est l'étalement ou la répartition de chaleur sur une surface faisant office de radiateur. Ce besoin conditionne la distance minimale entre deux caloducs sur la surface de radiateur.

Un troisième besoin est l'échange de chaleur. Dans ce cas, le caloduc est typiquement installé directement sous un équipement pour assurer un bon échange thermique avec celui-ci. Le problème est alors d'assurer le meilleur couplage thermique possible entre le caloduc et l'équipement auquel il est attaché. Ce couplage thermique est alors lui-même fonction de la **surface mouillée** du caloduc (surface du caloduc en contact avec le liquide).

Le satellite de l'invention répond au mieux à ces différents besoins grâce à la connexion capillaire des surfaces mouillées d'enceintes aux formes adaptées à la fois aux échanges thermiques et au transport de chaleur. Le satellite selon l'invention offre des solutions d'échange thermique et de transport de la chaleur à moindre coût maximisant l'efficacité de l'échange thermique quelle que soit la forme externe de la source ou du puits de chaleur, tout

en minimisant la masse et l'encombrement de la solution de transport ainsi que le coût et la complexité du système d'échange thermique et de transport dans son ensemble.

[0072] On rappelle qu'un **caloduc** ("heat pipe" en anglais, à distinguer de "loop heat pipe", qui désigne une boucle fluide, au comportement totalement différent) utilise le changement de phase d'un fluide pour assurer la collecte de la chaleur à un endroit chaud, et son transfert sous forme de vapeur vers un endroit froid. Un caloduc tubulaire est classiquement composé d'un tube fermé dans laquelle cohabitent les phases liquides et gazeuses d'un même fluide maintenu sous pression. Le caloduc permet de stocker la chaleur par évaporation et de la restituer par condensation du fluide.

[0073] A titre de clarification, il semble nécessaire de distinguer un caloduc ("heat pipe" en anglais) tel qu'utilisé dans le présent dispositif, d'une boucle fluide ("loop heat pipe" en anglais), au comportement totalement différent, telle que citée dans divers documents d'art antérieur.

[0074] Une boucle fluide ("loop heat pipe") se présente sous forme d'un circuit en boucle fermée dans lequel le fluide circule dans un seul sens, alors qu'un caloduc ("heat pipe") n'est pas configuré en boucle fermée. En effet, à l'intérieur de sa cavité, les phases liquides et vapeur cohabitent et circulent dans des sens différents entre les deux extrémités de ladite cavité.

[0075] Dans un exemple de tel dispositif à boucle fluide, décrit dans le document WO 2012/049752 (Itoh, octobre 2010), les phases liquides et gazeuses sont séparées par au moins une paroi poreuse.

[0076] Cette différence est majeure car elle conduit à un comportement totalement différent du système avec une pression de pompage accrue par la paroi poreuse séparative dans le cas des boucles fluides, et des limites de fonctionnement induites par la séparation physique des phases qui n'existent pas dans le système à caloduc du fait de la coexistence des phases liquide et vapeur.

[0077] De même, cet art antérieur WO 2012/049752 du domaine des boucles fluides ne décrit pas de structure "capillaire", selon le sens généralement connu de l'homme du métier. Le dispositif de ce document antérieur comporte une première conduite 150 transportant uniquement du liquide sans effet de capillarité, et une seconde conduite 155 transportant uniquement une phase vapeur.

[0078] Un document US 2006/0283577 (décembre 2006) cite également une boucle fluide ("A loop-type heat exchanger device (10) is disclosed, which includes and evaporator (20), a condenser (40), a vapor conduit (30) and a liquid conduit (50)..."). Ce document ne concerne pas un dispositif comprenant une cavité dans laquelle cohabitent les phases liquides et vapeur d'un même fluide. Il est au contraire clair à la vue de la figure 6 (également décrite dans le texte dans les paragraphes [0028] à [0029]) que le tube 30 est adapté à transporter uniquement un fluide en phase vapeur, et non un liquide et une phase vapeur.

[0079] Un autre document antérieur relatif aux boucles

fluides, US 2009/0114374 (Kyushu University, mai 2009), décrit encore une fois un dispositif dans lequel les phases liquide et vapeur d'un même fluide ne cohabitent nullement au sein d'une même cavité de transport. Ceci ressort notamment de l'abrégé "*the liquid state refrigerant is supplied from the liquid supply use channel 32, ...and the evaporated refrigerant is discharged from the heat removal use channel 31.*" Par ailleurs, le dispositif décrit dans ce document n'utilise pas d'effet de capillarité pour le transport de fluide.

Revendications

1. Satellite comportant un caloduc pour le contrôle thermique d'équipements électroniques, ledit caloduc étant constitué d'une cavité fermée contenant un fluide diphasique, **caractérisé en ce que** le caloduc comprend :

- au moins une zone d'échange de chaleur comportant une enceinte plate (1), configurée sous la forme d'un volume dont une dimension est nettement plus faible que les deux autres, typiquement au moins dix fois plus faible, ladite enceinte plate (1) possédant une première structure capillaire (8), constituée d'une structure poreuse, sur tout ou partie de sa surface interne, permettant au fluide sous sa forme liquide de venir mouiller ladite première structure capillaire (8),
- au moins une zone de transport de chaleur configurée sous la forme d'au moins un tube (2), de section circulaire, possédant une seconde structure capillaire (7) sur tout ou partie de sa face interne,
- la seconde structure capillaire (7) est constituée de rainures,
- ladite enceinte plate (1) et ledit au moins un tube (2) sont connectés de sorte que la vapeur puisse circuler librement dans l'ensemble de la cavité, et qu'une continuité de capillarité est assurée entre la structure poreuse et les rainures de sorte que le liquide puisse mouiller l'intégralité de la structure capillaire ainsi constituée.

2. Satellite selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, dans le cas de plusieurs tubes (2) reliés à une même enceinte plate (1), lesdits tubes (2) présentent des conduits de vapeur dont la somme des sections de passage est sensiblement égale à la section de passage de vapeur de ladite enceinte plate (1).
3. Satellite selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, **caractérisé en ce que** la zone de transport de chaleur comporte une zone de déformabilité accrue selon au moins une direction prédéterminée.

4. Satellite selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le caloduc comporte deux enceintes plates (1, 1') sensiblement planes situées dans des plans différents, reliés par un tube (2) possédant deux zones de torsion (14, 15), les dites zones de torsion (14, 15) étant disposées dans au moins deux plans différents.
5. Satellite selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'enceinte plate (1) présente une forme comportant au moins deux zones sensiblement planes (11, 12) s'étendant dans deux plans distincts et reliées par une arête.
6. Satellite selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'épaisseur de l'enceinte plate (1) est sensiblement égale au diamètre du tube (2).
7. Satellite selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce qu'**une partie de la surface externe de l'enceinte plate (1) présente une forme localement cylindrique.

Patentansprüche

1. Satellit mit einem Wärmerohr zur Temperaturregelung von elektronischen Geräten, wobei das Wärmerohr aus einem geschlossenen Hohlraum besteht, der ein Zweiphasenfluid enthält, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Wärmerohr Folgendes umfasst:
 - mindestens einen Wärmeaustauschbereich, der eine flache Kammer (1) enthält, die in Form eines Raums konfiguriert ist, von dem eine Abmessung deutlich, in der Regel mindestens um das Zehnfache, kleiner als die beiden anderen ist, wobei die flache Kammer (1) über ihre gesamte oder einen Teil ihrer Innenfläche eine erste Kapillarstruktur (8) aufweist, die aus einer porösen Struktur besteht, wodurch das Fluid in seiner flüssigen Form die erste Kapillarstruktur (8) benetzt,
 - mindestens einen Wärmetransportbereich, der in Form mindestens einer Röhre (2) mit kreisförmigem Querschnitt konfiguriert ist, die über ihre gesamte oder einen Teil ihrer Innenfläche eine zweite Kapillarstruktur (7) aufweist,
 - die zweite Kapillarstruktur (7) aus Nuten besteht,
 - die flache Kammer (1) und die mindestens eine Röhre (2) miteinander verbunden sind, so dass der Dampf im gesamten Hohlraum frei zirkulieren kann, und dass zwischen der porösen Struktur und den Nuten eine Kontinuität der Kapillarität gewährleistet ist, so dass die Flüssigkeit die

gesamte so gebildete Kapillarstruktur benetzen kann.

2. Satellit nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Falle von mehreren Röhren (2), die mit einer gleichen flachen Kammer (1) verbunden sind, die Röhren (2) Dampfleitungen darstellen, deren Summe der Durchgangsquerschnitte im Wesentlichen gleich dem Dampfdurchgangsquerschnitt der flachen Kammer (1) ist.
3. Satellit nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wärmetransportbereich einen entlang mindestens einer vorbestimmten Richtung vergrößerten Verformbarkeitsbereich aufweist.
4. Satellit nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Wärmerohr zwei im Wesentlichen flache Kammern (1, 1') aufweist, die in verschiedenen Ebene positioniert und durch eine Röhre (2), die zwei Torsionsbereiche (14, 15) aufweist, verbunden sind, wobei die Torsionsbereiche (14, 15) in mindestens zwei verschiedenen Ebene angeordnet sind.
5. Satellit nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die flache Kammer (1) eine Form aufweist, die mindestens zwei im Wesentlichen flache Bereiche (11, 12) enthält, welche sich in zwei verschiedenen Ebenen erstrecken und durch einen Steg verbunden sind.
6. Satellit nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke der flachen Kammer (1) im Wesentlichen gleich dem Durchmesser des Rohrs (2) ist.
7. Satellit nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Teil der Außenfläche der flachen Kammer (1) eine lokal zylindrische Form aufweist.

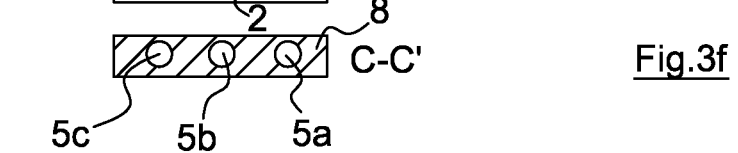
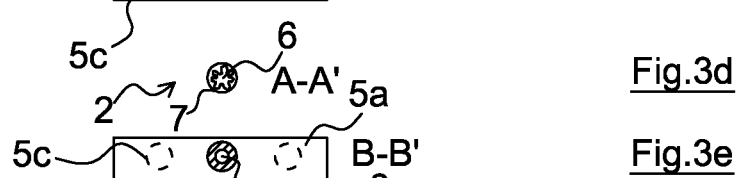
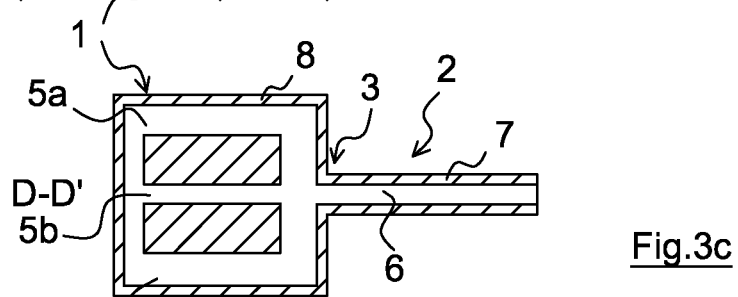
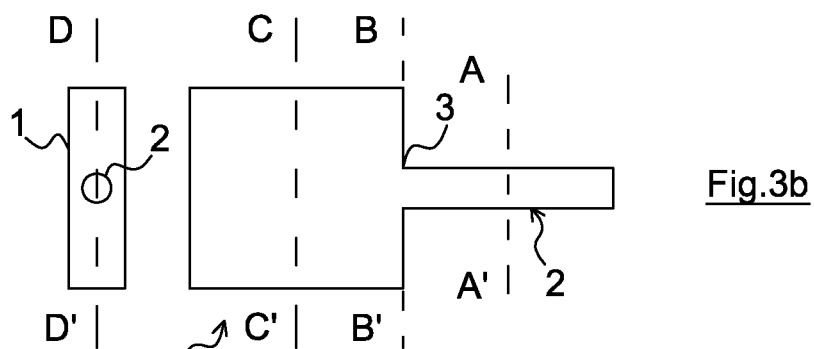
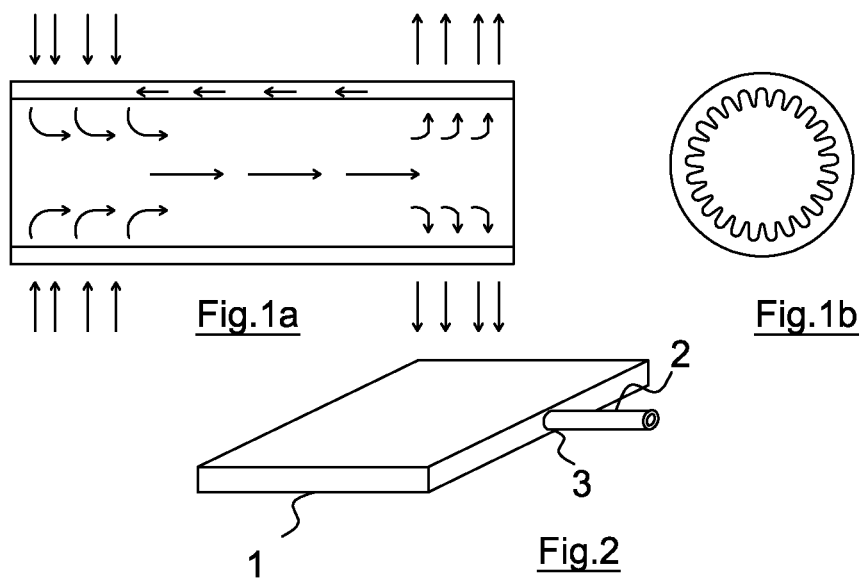
Claims

1. Satellite comprising a heat pipe for the thermal control of electronic equipments, said heat pipe being formed by a closed cavity containing a two-phase fluid, **characterized in that** the heat pipe comprises:
 - at least one heat exchange zone comprising a flat enclosure (1) configured in the form of a volume of which one dimension is significantly smaller than the other two, typically at least ten times smaller, said flat enclosure (1) having a first capillary structure (8), formed by a porous structure, over all or part of its inner surface,

enabling the fluid in its liquid form to wet said first capillary structure (8),

- at least one heat transport zone configured in the form of at least one tube (2), of circular cross section, having a second capillary structure (7) over all or part of its inner face,
- the second capillary structure (7) is formed by grooves,
- said flat enclosure (1) and said at least one tube (2) are connected such that vapour can circulate freely in all of the cavity, and such that a continuity of capillarity is ensured between the porous structure and the grooves such that the liquid can wet the entire capillary structure thus formed.

2. Satellite according to Claim 1, **characterized in that**, in the case of a plurality of tubes (2) connected to one and the same flat enclosure (1), said tubes (2) have vapour ducts of which the sum of the passage cross sections is substantially equal to the vapour passage cross section of said flat enclosure (1).
3. Satellite according to either of Claims 1 and 2, **characterized in that** the heat transport zone comprises a zone of increased deformability in at least one predetermined direction.
4. Satellite according to any one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the heat pipe comprises two substantially planar flat enclosures (1, 1') situated in different planes and connected by a tube (2) having two twisting zones (14, 15), said twisting zones (14, 15) being arranged in at least two different planes.
5. Satellite according to any one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the flat enclosure (1) has a shape comprising at least two substantially planar zones (11, 12) extending in two separate planes and connected by an edge.
6. Satellite according to any one of Claims 1 to 5, **characterized in that** the thickness of the flat enclosure (1) is substantially equal to the diameter of the tube (2).
7. Satellite according to any one of Claims 1 to 6, **characterized in that** a part of the outer surface of the flat enclosure (1) has a locally cylindrical shape.



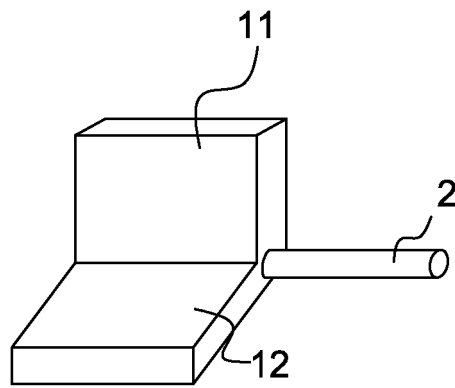


Fig.4

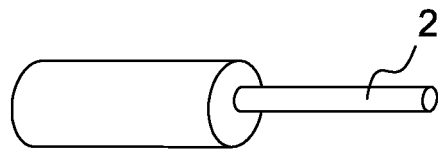


Fig.5a

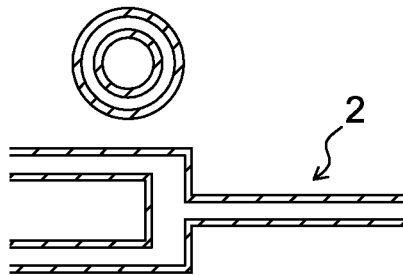


Fig.5b

Fig.5c

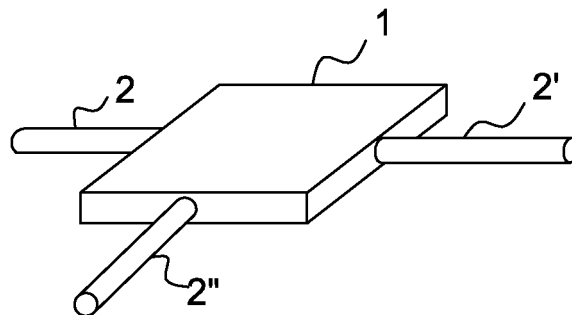


Fig.6

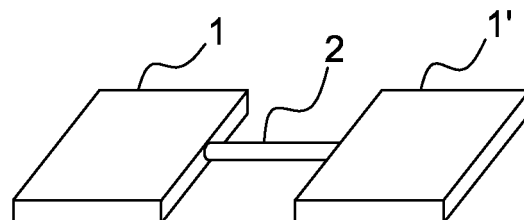


Fig.7

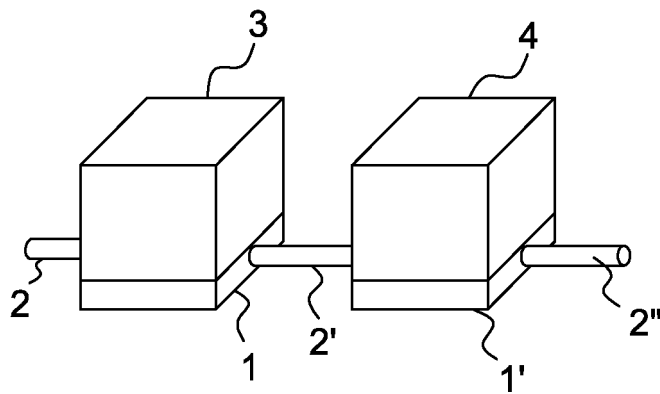


Fig.8

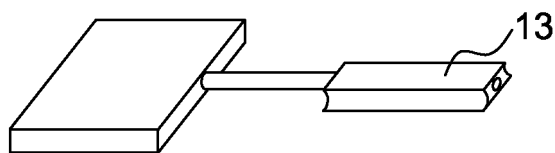


Fig.9

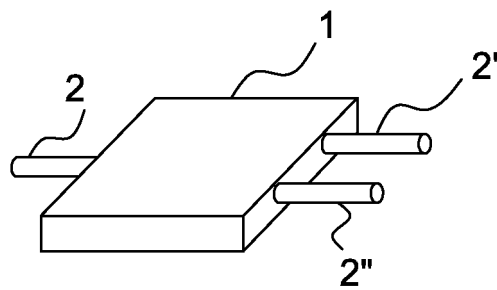


Fig.10

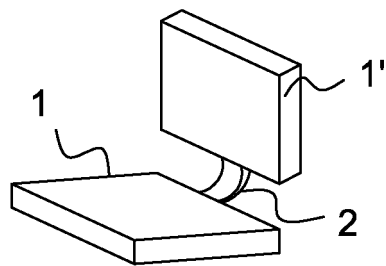


Fig.11

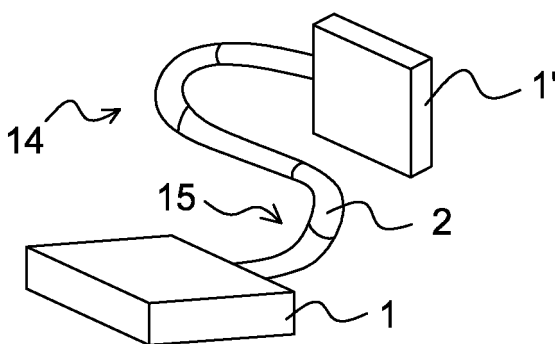


Fig.12

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 20080289801 A [0001]
- WO 2012049752 A, Itoh [0075] [0077]
- US 20060283577 A [0078]
- US 20090114374 A, Kyushu [0079]