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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
19 octobre 2017 (19.10.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/178725 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F22B 27/16 (2006.01) *F22B 1/28* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2017/050696

(22) Date de dépôt international :
27 mars 2017 (27.03.2017)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1653237 13 avril 2016 (13.04.2016) FR

(71) Déposant : **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES** [FR/FR]; 25 Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", 75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs : **CHATROUX, André**; 3 Chemin de la Plaine de Fures, 38210 Tullins (FR). **PLANQUE, Michel**; 31 Rue de la Grenière, 38180 Seyssins (FR). **REYTIER, Magali**; 15 Allée des Peupliers, 38250 Villard de Lans (FR). **ROUX, Guilhem**; 28 Rue du Fournet, 38120 Saint-Egreve (FR).

(74) Mandataires : **VUILLERMOZ, Bruno** et al.; Cabinet Laurent & Charras, Le Contemporain, 50 Chemin de la Bruyère, 69574 Dardilly Cédex (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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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), eurasien (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).

[Suite sur la page suivante]

(54) **Title** : DEVICE FOR CONVERTING A LIQUID TO A VAPOUR

(54) **Titre** : DISPOSITIF DE CONVERSION D'UN LIQUIDE EN VAPEUR

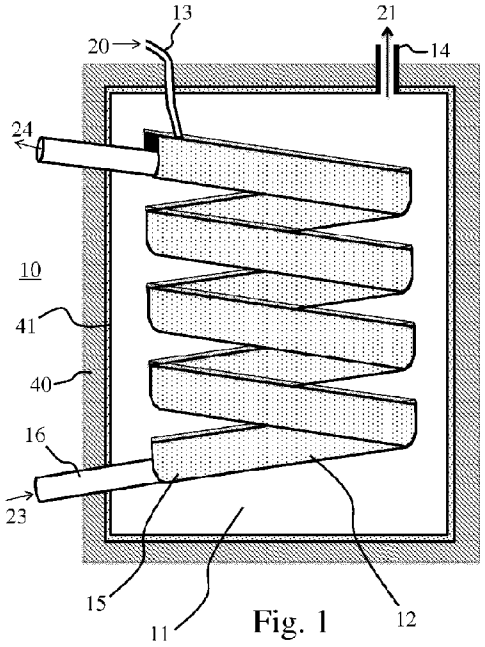

Fig. 1

(57) **Abstract** : The invention relates to a device (10) for converting a liquid (20) into a vapour (21), comprising: – a chamber (11); – a heating surface (12) with a downward slope arranged in the said chamber (11); – a liquid inlet (13) connected to an upper part of the said heating surface (12) so that a liquid (20) introduced from the said liquid inlet (13) flows along the said heating surface (12); and – a vapour outlet (14) formed through a wall of the said chamber (11); – the said heating surface (12) comprising: – a heat-transfer tube (16) configured to allow the circulation of a heat-transfer fluid so as to heat the said heating surface (12); and – an angle bracket (15) of U-shaped cross section with a semicircular part arranged around the said heat-transfer tube (16) and an upper part forming an opening onto the said chamber (11).

(57) **Abrégé** : L'invention concerne un dispositif de conversion (10) d'un liquide (20) en vapeur (21) comportant: - une enceinte (11); - une surface chauffante (12) à pente descendante disposée dans ladite enceinte (11); - une entrée de liquide (13) connectée à une partie supérieure de ladite surface chauffante (12) de

[Suite sur la page suivante]

WO 2017/178725 A1

Publiée :

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

sorte qu'un liquide (20) introduit depuis ladite entrée de liquide (13) s'écoule sur ladite surface chauffante (12); et - une sortie de vapeur (14) ménagée à travers une paroi de ladite enceinte (11); - ladite surface chauffante (12) comportant: - un tube caloporteur (16) configuré pour permettre la circulation d'un fluide caloporteur de sorte à chauffer ladite surface chauffante (12); et - une cornière (15) comportant une section en forme de U avec une partie semi-circulaire disposée autour dudit tube caloporteur (16) et une partie supérieure formant une ouverture sur ladite enceinte (11).

DISPOSITIF DE CONVERSION D'UN LIQUIDE EN VAPEUR

DOMAINE DE L'INVENTION

L'invention se rapporte au domaine des générateurs de vapeur, et notamment aux générateurs de vapeur utilisés pour les convertisseurs électrochimiques à haute température (EHVT). L'invention concerne plus particulièrement un dispositif de conversion d'un liquide en vapeur utilisant comme énergie un fluide caloporteur capable de fournir un faible débit de vapeur, notamment un débit de vapeur compris notamment entre 10 g/h et 10 kg/h, et fonctionnant à pression constante, notamment à pression atmosphérique ou sous quelques dizaines de bar.

ETAT DE LA TECHNIQUE

Un électrolyseur de vapeur d'eau à haute température (EVHT, acronyme pour « Electrolyse de la Vapeur d'eau à Haute Température », ou HTSE - acronyme anglo-saxon pour « *High Temperature Steam Electrolysis* ») est un dispositif électrochimique de production d'hydrogène à partir de la vapeur d'eau par application d'un courant électrique à un empilement de cellules électrolytiques connectées électriquement en série, et constituées chacune de deux électrodes, à savoir une cathode et une anode, intercalant une membrane électrolytique à oxyde solide. Globalement, de la vapeur d'eau est introduite au niveau de la cathode de chaque cellule alimentée en électricité, et une réaction de réduction électrochimique de la vapeur d'eau conduit à la formation d'hydrogène sur la cathode.

De manière générale, pour un point de fonctionnement donné de l'électrolyseur, il existe un courant électrique à appliquer à ce dernier, et le débit de vapeur d'eau à introduire dans l'électrolyseur est calculé en fonction de l'intensité du courant électrique appliquée sur l'électrolyseur. L'intensité de courant pouvant généralement varier de 0 à 100% de la gamme de fonctionnement de l'électrolyseur, il est donc également nécessaire que le débit de vapeur à générer puisse également évoluer linéairement de 0 à 100% de capacité, et être composé uniquement de vapeur. En outre, un électrolyseur est un système très sensible aux inhomogénéités de courant/débit de gaz, ces inhomogénéités pouvant en effet entrainer un vieillissement prématuré de l'électrolyseur. Par exemple, si le débit de vapeur varie autour de sa valeur de consigne, on peut observer une instabilité du point de fonctionnement de l'électrolyseur, qui se traduit par des variations de la tension des cellules, cause de vieillissement prématuré.

Plus grave, de fortes variations du débit de vapeur ont pour conséquence des variations de la pression de quelques dizaines ou centaines de mbar, lesquelles peuvent être suffisantes pour endommager les joints d'étanchéité ou fissurer les cellules électrochimiques elles-mêmes. Il est donc recherché un débit de vapeur le plus homogène et régulier possible.

Il existe dans le commerce des générateurs de vapeur d'eau à débit régulé, adaptés pour générer des débits importants de vapeur d'eau, à savoir plusieurs dizaine de kg/h. De tels générateurs de vapeur sont généralement composés d'une réserve de vapeur sous pression couplée à une vanne de régulation de débit de vapeur pour générer la quantité de vapeur d'eau demandée, et ce de manière constante.

Il existe également dans le commerce des générateurs de vapeur d'eau, adaptés pour des gammes de débit plus faibles, notamment entre 10g/h à 10kg/h environ. Les vannes de régulation de débit de vapeur utilisées pour les grands débits n'étant pas adaptées pour cette gamme de débit, une solution consiste à réguler le débit d'eau liquide entrant dans le générateur, de sorte que la vapeur d'eau générée après évaporation corresponde à la quantité de vapeur souhaitée en sortie.

Suivant un mode de réalisation, ces générateurs à faible débit utilisent un tube chauffant ou un volume dont au moins la paroi inférieure est chauffée, dans lequel une quantité contrôlée d'eau est injectée et chauffée jusqu'à évaporation. On observe cependant que de tels générateurs provoquent des « bouffées » de vapeur et donc des surpressions. Comme le principe de l'évaporation de l'eau liquide est assez complexe s'il est tenu compte de la contrainte de régularité du débit de vapeur en sortie, la difficulté dans cette solution est de maîtriser la chauffe de l'eau de manière à éviter qu'une ébullition locale de l'eau pousse une partie du liquide dans une zone trop chaude et soit source d'emballement de la réaction d'ébullition. La maîtrise de ces phénomènes étant particulièrement difficile, en pratique, les évaporateurs à faible débit ne sont généralement construits que pour générer un seul débit de vapeur sèche, c'est-à-dire sans phase liquide, la puissance électrique et la surface d'évaporation ne sont étudiées que pour un seul point de fonctionnement.

Suivant un autre mode de réalisation, d'autres évaporateurs adaptés pour des gammes de débit faibles utilisent un gaz porteur, par exemple de l'azote, qui permet de faciliter l'étalement du liquide et d'évacuer la vapeur produite. Cependant, cette solution ne permet pas de produire une vapeur sèche puisqu'il est impossible de séparer la vapeur du gaz porteur.

Par ailleurs, le document WO 97/33479 décrit un générateur de vapeur comportant une enceinte recouvrant une surface chauffante prenant la forme d'un cône. Le cône est pourvu d'une gorge de forme spiralée, de sorte à conduire un liquide par gravité autour du cône. La surface chauffante est chauffée par une résistance électrique permettant l'évaporation du liquide circulant dans la gorge. La vapeur ainsi produite est extraite de l'enceinte par une sortie de vapeur.

Cependant, un tel générateur de vapeur ne permet pas d'obtenir une production régulière de vapeur car des bouffées de vapeur sont formées dans la gorge, c'est-à-dire des surpressions de vapeur qui peuvent dépasser 100mbars. En effet, la surface chauffante est chauffée uniformément entre 300 et 350°C. Les gouttes d'eau introduites par l'entrée de liquide s'évaporent normalement après un contact avec la surface chauffante d'une durée voisine de dix secondes. Les gouttes d'eau glissent ensuite sur un lit de vapeur généré par les précédentes gouttes d'eau. Cependant, certaines gouttes d'eau plus lourdes réussissent à toucher la surface chauffante en traversant le lit de vapeur et s'évaporent instantanément en créant une surpression locale.

Le problème technique de l'invention est de proposer un générateur de vapeur capable de produire, à pression constante, un débit constant de vapeur d'un liquide pour les faibles débits de vapeur, et ne nécessitant pas l'utilisation de gaz porteur.

EXPOSE DE L'INVENTION

L'invention propose de répondre à ce problème technique en utilisant une surface chauffante intégrant une cornière de circulation du liquide, dans laquelle un tube caloporteur est disposé. Ainsi, le liquide recouvre l'intégralité du tube caloporteur dans la partie supérieure de la surface chauffante. Il s'ensuit que l'invention permet de limiter le phénomène de glissement des gouttes d'eau sur le lit de vapeur et une évaporation continue du liquide est obtenue.

Selon un premier aspect, l'invention concerne un dispositif de conversion d'un liquide en vapeur, fonctionnant à pression constante, ledit dispositif comportant :

- une enceinte;
- une surface chauffante à pente descendante disposée dans ladite enceinte et définissant un parcours d'écoulement d'un liquide;
- une entrée de liquide connectée à une partie supérieur de ladite surface chauffante de sorte qu'un liquide introduit depuis ladite entrée de liquide s'écoule sur ladite pente de ladite surface chauffante; et

- une sortie de vapeur ménagée à travers une paroi de ladite enceinte.

L'invention se caractérise en ce que ladite surface chauffante comporte :

- un tube caloporteur configuré pour permettre la circulation d'un fluide caloporteur de sorte à chauffer ladite surface chauffante ; et
- une cornière comportant une section en forme de U avec une partie semi-circulaire disposée autour dudit tube caloporteur et une partie supérieure formant une ouverture sur ladite enceinte.

L'invention permet ainsi de réaliser l'évaporation d'un liquide introduit par l'entrée de liquide et contenu dans la cornière autour du tube caloporteur. Pour ce faire, le liquide est chauffé par le tube caloporteur, puis extrait sous forme de vapeur par l'ouverture de la cornière.

La puissance thermique linéique appliquée sur le tube caloporteur est sélectionnée en fonction de la longueur de la surface chauffante et de la puissance thermique nécessaire pour évaporer la totalité de liquide injecté au cours du temps.

En d'autres termes, la réalisation de l'invention nécessite la mise au point de trois paramètres :

- la pente de la surface chauffante de sorte à assurer un écoulement du liquide, notamment par gravité. On comprend par exemple que si le liquide est orienté vers un réservoir dans lequel il est stocké pour son évaporation par chauffage, il est difficile de contrôler précisément la quantité de vapeur produite. Grâce à l'écoulement, chaque volume de liquide injecté reçoit « individuellement » et de manière contrôlée une quantité de chaleur. Le contrôle de la quantité de vapeur produite en fonction de la quantité de liquide injecté est ainsi facilité ;
- la puissance de chauffage du liquide par un fluide caloporteur circulant dans la tube caloporteur ; et
- la longueur de la surface chauffante de sorte à obtenir une évaporation complète de chaque mole de liquide injecté avant la fin du parcours.

Un tel dispositif est ainsi capable de fournir un débit de vapeur sèche constant dans la gamme 10g/h à 10kg/h, et ceci sans utiliser ni de gaz porteur ni d'élément électromécanique, comme une vanne de débit de vapeur par exemple. L'utilisation d'une cornière métallique pour ce générateur permet de réduire le coût de la matière et le coût de la fabrication avec une mise en œuvre simple par cintrage.

Par exemple, pour un débit de vapeur compris dans la gamme 10g/h à 10kg/h, la puissance thermique maximale appliquée peut être comprise entre 8 et 12 kW et la longueur du parcours peut être comprise entre 10 et 20 mètres. En pratique, pour un débit inférieur à 300 g/h, le liquide est de préférence injecté en goutte à goutte. Par exemple, un débit de l'ordre de 10g/h correspond environ à 1 goutte de 36 µl de liquide toutes les 13 secondes.

Selon un mode de réalisation, le diamètre de ladite partie semi-circulaire de la cornière est sensiblement égal au diamètre du tube caloporteur. Ce mode de réalisation permet au liquide d'être en contact uniquement avec la partie supérieure du tube caloporteur en regard de l'ouverture de la cornière, limitant ainsi le risque de bouffées de vapeur.

Selon un mode de réalisation, la cornière est cintrée autour du tube caloporteur. Ce mode de réalisation permet de limiter l'espace entre la partie semi-circulaire de la cornière et le tube caloporteur.

Selon un mode de réalisation, la surface chauffante forme une spirale. Ce mode de réalisation permet de limiter le volume de la surface chauffante et, ainsi, de limiter le volume du dispositif de conversion d'un liquide en vapeur. En outre, l'opération de cintrage en spirale permet, d'une part, d'assurer une compacité du dispositif et, d'autre part, de maintenir le tube métallique en fond de cornière sans autre accessoire ou opération de soudage.

Selon un mode de réalisation, la surface chauffante présente une pente comprise entre 1 à 4%. Ce mode de réalisation permet d'obtenir un compromis efficace entre la vitesse d'écoulement du liquide et la vitesse d'évaporation de sorte à limiter la longueur de la surface chauffante nécessaire pour réaliser l'évaporation du liquide.

Selon un mode de réalisation, la cornière comporte au moins une rainure s'étendant sur un côté tube caloporteur. Ce mode de réalisation permet de former un canal de capillarité de sorte à aspirer le liquide introduit par l'entrée de liquide.

L'écoulement par gravité combiné à l'écoulement par capillarité permet notamment un étalement uniforme du liquide injecté en entrée en petit débit, notamment en goutte à goutte, sur une grande longueur de la surface chauffante tout au long du parcours. Il est ainsi formé un filet d'eau continu. La formation de train de gouttes sur la surface chauffante étant évitée, la génération de vapeur est donc plus régulière et le débit de vapeur en sortie est constant même pour une injection d'eau discontinue.

Cette solution permet de produire un débit régulier de vapeur à partir d'une injection non linéaire de liquide, notamment en goutte à goutte. Bien entendu, l'entrée de liquide peut également être dimensionnée pour autoriser une injection par capillarité du liquide directement dans la rainure et éviter la formation de gouttes à l'extrémité du tube d'injection d'eau liquide. Selon un mode de réalisation, l'extrémité d'un tube d'injection d'eau liquide est dans ce cas placée au contact de la rainure.

Selon un mode de réalisation, la cornière et/ou le tube caloporteur sont constitués d'un matériau neutre pour le liquide, notamment en acier inoxydable. Ce mode de réalisation est particulièrement efficace pour résister à la corrosion.

Selon un mode de réalisation, l'enceinte comporte une enveloppe externe isolante et une enveloppe interne thermo-régulée. Ce mode de réalisation permet d'éviter une condensation sur les parois internes de l'enceinte. De préférence, cette enveloppe interne est dimensionnée et qualifiée pour fonctionner jusqu'à la pression maximale définie à la conception du générateur de vapeur dans la gamme de pression atmosphérique à quelques dizaines de bar.

Suivant un mode de réalisation adapté à un débit de production de 0 à 5 kg/h à pression atmosphérique, l'enveloppe interne a un diamètre de 220 millimètres pour une hauteur de 470 millimètres en tôle d'acier de 2 millimètres d'épaisseur. La cornière et le tube caloporteur sont d'une longueur linéaire de 10 mètres, et sont cintrés suivant un diamètre de 200 millimètres et une hauteur de 400 millimètres. Le volume dans lequel la vapeur est présente est d'environ 12 litres.

Selon un mode de réalisation, le tube caloporteur est configuré pour faire circuler un fluide caloporteur dans un sens de circulation inverse du sens d'un liquide dans ladite cornière. Ce mode de réalisation permet d'obtenir un tube caloporteur dont la chaleur est plus importante dans la partie inférieure que dans la partie supérieure du dispositif. Il s'ensuit que le liquide est introduit sur un tube caloporteur dont la température est proche de 100°C, ce qui entraîne une évaporation lente. A mesure que le liquide descend dans la cornière, la température du tube caloporteur augmente et la vitesse d'évaporation également.

En outre, bien que le dispositif décrit permette de produire de la vapeur sèche, il est également possible d'introduire, si besoin, un ou plusieurs gaz pour réaliser un mélange.

Dans ce cas, un préchauffage de ces gaz est nécessaire avant leur introduction dans la vapeur. Ce préchauffage peut être obtenu par exemple par une technique simple qui consiste à enrouler la ligne de gaz en spirale au contact de l'enceinte du générateur.

Dans le cas particulier où l'énergie du fluide caloporteur n'est pas suffisante pour produire la quantité de vapeur nécessaire, il est possible d'ajouter un complément sous forme d'énergie électrique.

Cet apport peut être un complément de chauffage du fluide avant son injection dans le générateur de vapeur. Il peut ainsi être ajouté une résistance chauffante électrique sur le tube caloporteur avant l'entrée dans le générateur de vapeur, régulée à la température nécessaire pour toujours garantir que la quantité de chaleur du fluide caloporteur soit supérieure à la quantité d'énergie nécessaire à l'évaporation du liquide introduit en entrée.

Selon un mode de réalisation, le dispositif comporte deux parties :

- une partie supérieure dans laquelle le tube caloporteur est disposé dans la partie semi-circulaire de la cornière; et
- une partie inférieure dans laquelle une résistance de chauffage électrique est disposée dans la partie semi-circulaire de la cornière.

Ainsi, si le débit à évaporer est assez faible, il est évaporé uniquement dans la première zone par l'énergie apportée par le fluide caloporteur. Si le débit dépasse la capacité d'évaporation de la première zone, il arrive préchauffé sur la seconde zone et c'est l'énergie électrique qui complète l'apport nécessaire pour réaliser l'évaporation. En outre, le fluide caloporteur sort à une température très basse, et une grande partie de l'énergie thermique du fluide caloporteur a été utilisée.

Selon un second aspect, l'invention concerne un générateur de vapeur comprenant :

- un régulateur de débit de liquide apte à générer un débit constant de liquide compris entre 0 et 10 kg/h ;
- un dispositif de conversion de liquide en vapeur selon le premier mode de réalisation de l'invention dont l'entrée est couplée audit régulateur de débit de liquide ; et
- une source d'énergie apte à fournir une quantité d'énergie suffisante à la surface chauffante pour chauffer le liquide.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et réalisée en relation avec les dessins annexés dans lesquels des références identiques désignent des éléments identiques et dans lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique d'un dispositif de conversion d'un liquide en vapeur selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- les figures 2a et 2b sont des représentations schématiques d'une section de la surface chauffante du dispositif de la figure 1 avant et après cintrage ;
- la figure 3 est une représentation schématique d'un dispositif de conversion d'un liquide en vapeur selon un second mode de réalisation de l'invention ; et
- la figure 4 est une représentation schématique d'un dispositif de conversion d'un liquide en vapeur selon un troisième mode de réalisation de l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE D'UN MODE DE REALISATION DE L'INVENTION

Dans la suite de la description, l'expression "sensiblement" signifie "à 10 % près".

La structure d'un dispositif **10** de conversion d'un liquide **20**, notamment de l'eau, en vapeur **21** selon un mode de réalisation particulier illustré à la figure 1 est décrit ci-après.

Ce dispositif de conversion est notamment formé d'une enceinte **11** pourvue d'une sortie de vapeur **14** et d'une entrée de liquide **13** destinée à être couplée à un régulateur de débit d'eau classique (non représenté). Le régulateur de débit d'eau liquide peut être un régulateur du commerce, par exemple un régulateur de débit massique thermique ou Coriolis.

L'enceinte **11** est formée d'une enveloppe externe **40** isolante thermiquement et d'une enveloppe interne **41** qui permet de retenir la vapeur produite dans l'enceinte **11** et de la canaliser sur la sortie de vapeur **14** pour qu'elle puisse être utilisée. Cette enveloppe interne **41** est préférentiellement réalisée dans un matériau métallique. Cette enveloppe interne **41** est chauffée pour être maintenue à une température suffisante, par exemple 200 °C, de sorte à éviter l'apparition de condensat sur les parois internes de l'enceinte **11**. Cette enveloppe interne **41** a également pour fonction de résister à la pression maximale de fonctionnement du générateur de vapeur. Par exemple, pour un débit de production de 0 à 5 kg/h à pression atmosphérique, l'enveloppe interne **41** a un diamètre de 220 millimètres pour une hauteur de 470 millimètres en tôle de 2 millimètres d'épaisseur.

Le volume interne de l'enceinte **11** étant en connexion, via la sortie de vapeur **14**, avec l'extérieur, la pression interne de l'enceinte **11** est réglée par la pression extérieure. Par exemple, la sortie de vapeur **14** est connectée directement en entrée d'un électrolyseur fonctionnant à la pression atmosphérique, de sorte que la pression interne de l'enceinte **11** est égale à la pression atmosphérique, et donc sensiblement constante. Bien entendu, la pression extérieure, qui fixe la pression interne de l'enceinte **11**, peut être différente, notamment supérieure. De même, un régulateur de pression peut être prévu pour réguler directement la pression interne de l'enceinte **11** afin d'obtenir une pression sensiblement constante.

Une surface chauffante **12** ouverte de forme hélicoïdale, pour des raisons de compacité, est disposée dans cette enceinte **11**. Cette surface chauffante **12** est réalisée par une cornière **15** de section en forme de U, avec une partie semi-circulaire **17** et une partie supérieure **19** formant une ouverture **18** sur l'enceinte **11**. De préférence, cette cornière **15** est réalisée en acier inoxydable et repose sur une base support de l'enceinte **11**. Cette base support est notamment horizontale, c'est-à-dire sensiblement perpendiculaire à la direction de la gravité.

Cette surface chauffante **12** présente une pente descendante, par exemple entre 1 et 4%, qui autorise un écoulement par gravité de l'eau liquide **20** depuis l'entrée de liquide **13**.

Par ailleurs, un tube caloporteur **16** est disposé dans la partie semi-circulaire **17** de la cornière **15**. Le tube caloporteur **16** présente une section ronde adaptée à la section semi-circulaire **17** de la cornière **15** de sorte à être positionné au plus près du fond de la cornière **15**. Ce tube caloporteur **16** est, par ailleurs, destiné à chauffer le liquide **20** circulant dans la cornière **15** pour l'amener jusqu'à sa température d'évaporation. En pratique, pour transmettre efficacement l'énergie thermique au liquide à évaporer, la surface de contact entre le tube caloporteur **16** et le liquide **20** doit être grande. Suivant un mode de réalisation comprenant un tube caloporteur **16** de 10 mètres de long et de 8 millimètres de diamètre, la surface de contact est estimée à 12 dm^2.

Plus précisément, comme illustré sur les figures 2a et 2b, la cornière **15** est cintrée autour du tube caloporteur **16**. Pour ce faire, le tube caloporteur **16** est inséré dans le fond de la cornière **15** tel qu'illustré sur la figure 2a. Tel qu'illustré sur la figure 2b, la partie supérieure **19** de la cornière **15** se resserre selon les directions **d1** et **d2** lors de l'opération de cintrage, de sorte que le tube caloporteur **16** soit prisonnier de la partie semi-circulaire **17** de la cornière **15**.

En variante, la partie inférieure **17** de la cornière **15** peut présenter une rainure de sorte à permettre un écoulement du liquide **20** par capillarité. L'écoulement par capillarité trouve notamment son avantage dans le cas d'un faible débit de liquide **20**, et notamment dans le cas où le liquide **20** est injecté goutte à goutte. L'écoulement par capillarité permet, en effet, un étalement uniforme du liquide **20** à évaporer sur la surface chauffante **12**, sans formation de train de gouttes, garantissant une régularité du débit de vapeur en sortie.

Par exemple, l'entrée de liquide **13** peut être un tube en acier inoxydable positionné au contact de la cornière **15** et du tube caloporteur **16,** et dimensionné pour autoriser une aspiration par capillarité du liquide **20** dans la cornière **15**, sans formation de goutte.

Bien entendu, en fonction du type d'injection du liquide **20**, en goutte à goutte ou en continue, et du débit de liquide à introduire, il est possible de réaliser le dispositif sans la rainure. Dans ce cas, le liquide **20** s'écoule uniquement par gravité.

En variante, le tube caloporteur **16** peut prendre d'autres formes sans changer l'invention.

Selon une autre variante de l'invention, illustrée sur la figure 3, le tube caloporteur **16** est chauffé par une source de chauffage **35** électrique avant de pénétrer dans l'enceinte **11**. Cette source complémentaire de chauffage **35** électrique peut prendre la forme d'une résistance entourant le tube caloporteur **16**.

Selon une autre variante de l'invention, illustrée sur la figure 4, la surface chauffante **12** comporte deux moyens de chauffage distincts. Une partie supérieure **30** de la surface chauffante **12** est chauffée par le tube caloporteur **16** et une partie inférieure **31** de la surface chauffante **12** est chauffée par une résistance chauffante **32**. Pour ce faire, dans la partie inférieure **31**, le fond de la cornière **15** présente une rainure dans laquelle est insérée la résistance chauffante **32**. Cette rainure est ouverte et dimensionnée pour permettre l'insertion par matage de la résistance chauffante **32** et un écoulement par capillarité du liquide dans la cornière **15**. Par exemple, pour une surface chauffante de 3,5 millimètres de diamètre et une gamme de débit de 0 à 5 l/h, la cornière **15** a une hauteur de 8,5 millimètres pour une largeur de 17 millimètres, et la rainure a une hauteur et une largeur de 3,5 millimètres, permettant le matage de la résistance électrique filaire **32**.

La résistance chauffante **32** est par ailleurs couplée à une source de tension régulée pour fournir l'énergie nécessaire au chauffage de l'eau durant sa descente le long de la cornière **15** jusqu'à son évaporation.

La vapeur **21** produite est ensuite évacuée en périphérie via l'ouverture **18** de la cornière **15** sans amener de perturbation à l'écoulement pour garantir une régularité dans le fonctionnement de la chauffe.

Pour assurer une évaporation efficace de tout le liquide **20** introduit dans la cornière **15** avec ou sans ébullition, il est nécessaire de chauffer le liquide **20** de façon homogène. En pratique, la température du tube caloporteur **16** est calibrée de manière à assurer une montée, de préférence régulière, en température d'une quantité d'eau donnée dans la cornière **15** jusqu'à son évaporation totale avant la fin du parcours.

La puissance énergétique du fluide caloporteur circulant dans le tube caloporteur **16** peut être optimisée en fonction de la quantité d'eau à introduite, de manière à répartir l'eau sur toute la longueur de la cornière **15** et d'avoir une production de vapeur très stable avec une dépense énergétique minimale. Cette optimisation peut être faite en calculant l'énergie nécessaire à l'échauffement de l'eau, puis à sa vaporisation, tout en tenant compte des pertes thermiques.

En pratique, on définit un débit maximal de liquide **20** à injecter dans la cornière **15**, par exemple 10 kg/h. Ce débit maximal définit une quantité maximale de liquide **20** à évaporer, ici 10kg. On calcule la puissance thermique totale nécessaire pour vaporiser cette quantité maximale de liquide **20**, en tenant bien entendu compte de la température initiale du liquide **20** et de la pression dans laquelle le chauffage est réalisé. Par exemple, la puissance thermique totale peut être calculée pour faire passer l'eau liquide de 20°C à un état de vapeur surchauffée à 150°C à pression atmosphérique. Ce calcul est par exemple effectué selon les relations :

$$P = \dot{m}.Cp_1.(100-20) + \dot{m}.L + \dot{m}.Cp_2.(150-100)$$
$$P = \dot{m}.(Cp_1.(100-20) + L + Cp_2.(150-100))$$
$$P = \dot{m}.(4195.(100-20) + 2{,}258.10^6 + 2030.(150-100))$$
$$P = \dot{m}.2695100$$
$$P = 2{,}77.10^{-3}.2695100$$
$$P = 7486\,W$$

avec :

- P : Puissance thermique minimale nécessaire [W] ;
- $\dot{m}$: débit massique d'eau [$2.77.10^{-3}$ kg/s] ;
- Cp_1 : Chaleur spécifique moyenne de l'eau entre 20°C et 100°C [4195 J/(kg.K)] ;
- Cp_2 : Chaleur spécifique moyenne de la vapeur d'eau entre 100°C et 150°C [2030 J/(kg.K)] ;
- L : Chaleur latente de vaporisation de l'eau [$2.258.10^6$ J/(kg.K)].

Suivant un mode de réalisation, la puissance énergétique du fluide caloporteur circulant dans le tube caloporteur **16** sera préférentiellement choisie avec au minimum 30% de capacité de chauffage supplémentaire pour avoir une meilleure réactivité lors des changements de consigne d'évaporation. Dans le cas présenté d'un débit de production de vapeur de 10 kg/h, la puissance recommandée pour la surface chauffante **12** est de (1,3.P)=9732 W, arrondi à 10 kW.

La longueur de la surface chauffante **12** est calculée de façon à limiter la puissance thermique linéaire dans la limite de l'efficacité du transfert thermique linéique vers l'eau liquide, préférentiellement dans la gamme 0,5 à 1 kW/m. Dans le cas présenté d'un débit de production de vapeur de 10 kg/h, soit 10 kW de puissance totale, la longueur préconisée pour cette surface chauffante **12** est donc comprise entre 10 et 20 mètres.

En d'autres termes, la méthode de calcul de la puissance thermique linéique consiste notamment à :

- définir un débit maximal de liquide **20** à injecter, ce débit maximal donnant la quantité maximale de liquide à évaporer ;
- calculer la puissance thermique totale nécessaire pour vaporiser cette quantité maximale de liquide, c'est-à-dire pour élever la température de la quantité de liquide d'une température initiale à au moins sa température d'évaporation, pour réaliser l'évaporation proprement dite et pour surchauffer la vapeur produite ; et
- calculer la puissance thermique linéique à produire pour une longueur de parcours égale à la longueur maximale du parcours.

Par exemple, la puissance P de chauffage total minimale nécessaire pour vaporiser une quantité de liquide **20** peut notamment être obtenue par la somme de l'énergie P_1 nécessaire pour chauffer cette quantité de liquide jusqu'à sa température d'ébullition, de l'énergie P_2 pour réaliser la vaporisation proprement dite et de l'énergie P_3 pour surchauffer la vapeur produite :

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

En particulier, le calcul de la puissance nécessaire pour élever un débit donné de liquide d'une température initiale à une température finale, par exemple sa température d'évaporation, est par exemple donnée par la relation :

$$P_1 = \dot{m}.Cp_1.\Delta T_1$$

avec :

- P_1 la puissance en Watt [W] ;
- $\dot{m}$ le débit de liquide à réchauffer [kg/s] ;
- Cp_1 la capacité thermique massique à pression constante du liquide [J/(kg.K)] ;
- ΔT_1 la différence de température entre la température finale à atteindre et la température initiale [K].

Le calcul de la puissance nécessaire pour vaporiser un débit donné de liquide est par exemple donné par la relation :

$$P_2 = \dot{m}.L$$

avec :

- P_2 la puissance en Watt [W] ;
- $\dot{m}$ le débit de liquide à réchauffer [kg/s] ;
- L la chaleur latente massique de vaporisation à pression constante du liquide [J/kg].

Le calcul de la puissance nécessaire pour surchauffer un débit donné de vapeur d'une température initiale à une température finale, par exemple jusqu'à une température supérieure de 50°C à la température d'évaporation, est par exemple donnée par la relation :

$$P_3 = \dot{m}.Cp_3.\Delta T_3$$

avec :

- P_3 la puissance en Watt [W] ;
- $\dot{m}$ le débit de vapeur à réchauffer [kg/s] ;
- Cp_3 la capacité thermique massique à pression constante de la vapeur [J/(kg.K)] ;
- ΔT_3 la différence de température entre la température finale à atteindre et la température initiale [K].

Bien entendu, cette relation peut être pondérée en tenant compte d'éventuelles pertes de chaleur, préférentiellement en ajoutant une marge minimale de 30% sur la puissance totale.

Ainsi, l'eau **20** à évaporer est introduite dans la cornière **15** via l'entrée de liquide **13** et s'écoule dans la cornière **15**, par gravité et/ou par capillarité. L'eau **20** s'échauffe durant sa descente jusqu'à s'évaporer. La vapeur **21** est évacuée par l'ouverture **18** de la cornière **15** sans amener de perturbation à l'écoulement, ce qui garantit la régularité du fonctionnement.

Selon une variante, il est possible de prévoir une régulation de la puissance énergétique du fluide caloporteur circulant dans le tube caloporteur **16**. Par exemple, il est possible de coupler un capteur de température à un régulateur de tension. Le capteur de température, par exemple un thermocouple, mesure la température du fluide caloporteur circulant dans le tube caloporteur **16** au niveau de la sortie **24** du fluide caloporteur. La température du fluide caloporteur en entrée **23** du tube caloporteur **16** est alors ajustée en fonction de cette température mesurée et d'une température de consigne correspondant à la puissance thermique nécessaire pour vaporiser l'eau. En pratique, on dispose d'un tableau ou d'un diagramme donnant les correspondances entre la température, le débit d'eau, et la température du fluide caloporteur à fournir.

De préférence, le fluide caloporteur circule dans le tube caloporteur **16** dans le sens inverse de l'écoulement du liquide **20** dans la cornière **15**.

Ainsi, l'évaporateur proposé par la présente invention est adapté pour générer de faibles débits de vapeur, notamment des débits compris entre 10 g/h et 10 kg/h, et ne nécessite pas l'utilisation de gaz porteur.

En particulier, l'évaporateur proposé permet de générer de la vapeur sèche à une pression constante, et le débit de vapeur souhaitée en sortie est simplement obtenu par une régulation du débit de liquide en entrée. En particulier, il est possible de combiner l'injection de liquide par goutte à goutte et la génération d'un débit régulier de vapeur.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de conversion (10) d'un liquide (20) en vapeur (21), fonctionnant à pression constante, ledit dispositif comportant :

- une enceinte (11) ;
- une surface chauffante (12) à pente descendante, disposée dans ladite enceinte (11), et définissant un parcours d'écoulement du liquide (20) ;
- une entrée de liquide (13) connectée à une partie supérieur de ladite surface chauffante (12) de sorte que le liquide (20) introduit depuis l'entrée de liquide (13) s'écoule sur ladite pente de la surface chauffante (12) ; et
- une sortie de vapeur (14) ménagée à travers une paroi de l'enceinte (11) ;

caractérise en ce que la surface chauffante (12) comporte :

- un tube caloporteur (16) configuré pour permettre la circulation d'un fluide caloporteur de sorte à chauffer ladite surface chauffante (12) ; et
- une cornière (15) comportant une section en forme de U avec une partie semi-circulaire (17) disposée autour dudit tube caloporteur (16) et une partie supérieure (19) formant une ouverture (18) sur l'enceinte (11).

2. Dispositif de conversion d'un liquide en vapeur selon la revendication 1, ***caractérisé*** en ce qu'un diamètre de la partie semi-circulaire (17) de la cornière (15) est sensiblement égal au diamètre du tube caloporteur (16).

3. Dispositif de conversion d'un liquide en vapeur selon la revendication 2, ***caractérisé*** en ce que la cornière (15) est cintrée autour du tube caloporteur (16).

4. Dispositif de conversion d'un liquide en vapeur selon l'une des revendications 1 à 3, ***caractérisé*** en ce que la surface chauffante (12) forme une spirale.

5. Dispositif de conversion d'un liquide en vapeur selon l'une des revendications 1 à 4, ***caractérisé*** en ce que la surface chauffante (12) présente une pente comprise entre 1 à 4%.

6. Dispositif de conversion d'un liquide en vapeur selon l'une des revendications 1 à 5, ***caractérisé*** en ce que la cornière (15) comporte au moins une rainure s'étendant sur un côté du tube caloporteur (16).

7. Dispositif de conversion d'un liquide en vapeur selon l'une des revendications 1 à 5, ***caractérisé*** en ce que la cornière (15) et/ou le tube caloporteur (16) sont constitués d'un matériau neutre pour le liquide, notamment en acier inoxydable.

8. Dispositif de conversion d'un liquide en vapeur selon l'une des revendications 1 à 7, ***caractérisé*** en ce que l'enceinte (11) comporte une enveloppe externe (40) isolante et une enveloppe interne (41) thermo-régulée.

9. Dispositif de conversion d'un liquide en vapeur selon l'une des revendications 1 à 8, ***caractérisé*** en ce que le tube caloporteur (16) est configuré pour faire circuler un fluide caloporteur dans un sens de circulation inverse au sens d'un liquide dans la cornière (15).

10. Dispositif de conversion d'un liquide en vapeur selon l'une des revendications 1 à 9, ***caractérisé*** en ce qu'il comporte deux parties :

- une partie supérieure (30) dans laquelle le tube caloporteur (16) est disposé dans la partie semi-circulaire (17) de la cornière (15) ; et
- une partie inférieure (31) dans laquelle une résistance de chauffage électrique (32) est disposée dans la partie semi-circulaire (17) de la cornière (15).

11. Générateur de vapeur comprenant :

- un régulateur de débit de liquide apte à générer un débit constant de liquide compris entre 0 et 10 kg/h ;
- un dispositif de conversion de liquide en vapeur selon l'une des revendications 1 à 10, dont l'entrée est couplée audit régulateur de débit de liquide ; et
- une source d'énergie apte à fournir une quantité d'énergie suffisante à la surface chauffante du dispositif de conversion pour chauffer le liquide.

12. Générateur de vapeur selon la revendication 11, ***caractérisé*** en ce qu'il comporte également une source de chauffage (35) du tube caloporteur (16) du dispositif de conversion, disposée au niveau d'une entrée (23) de fluide caloporteur dudit tube caloporteur (16).

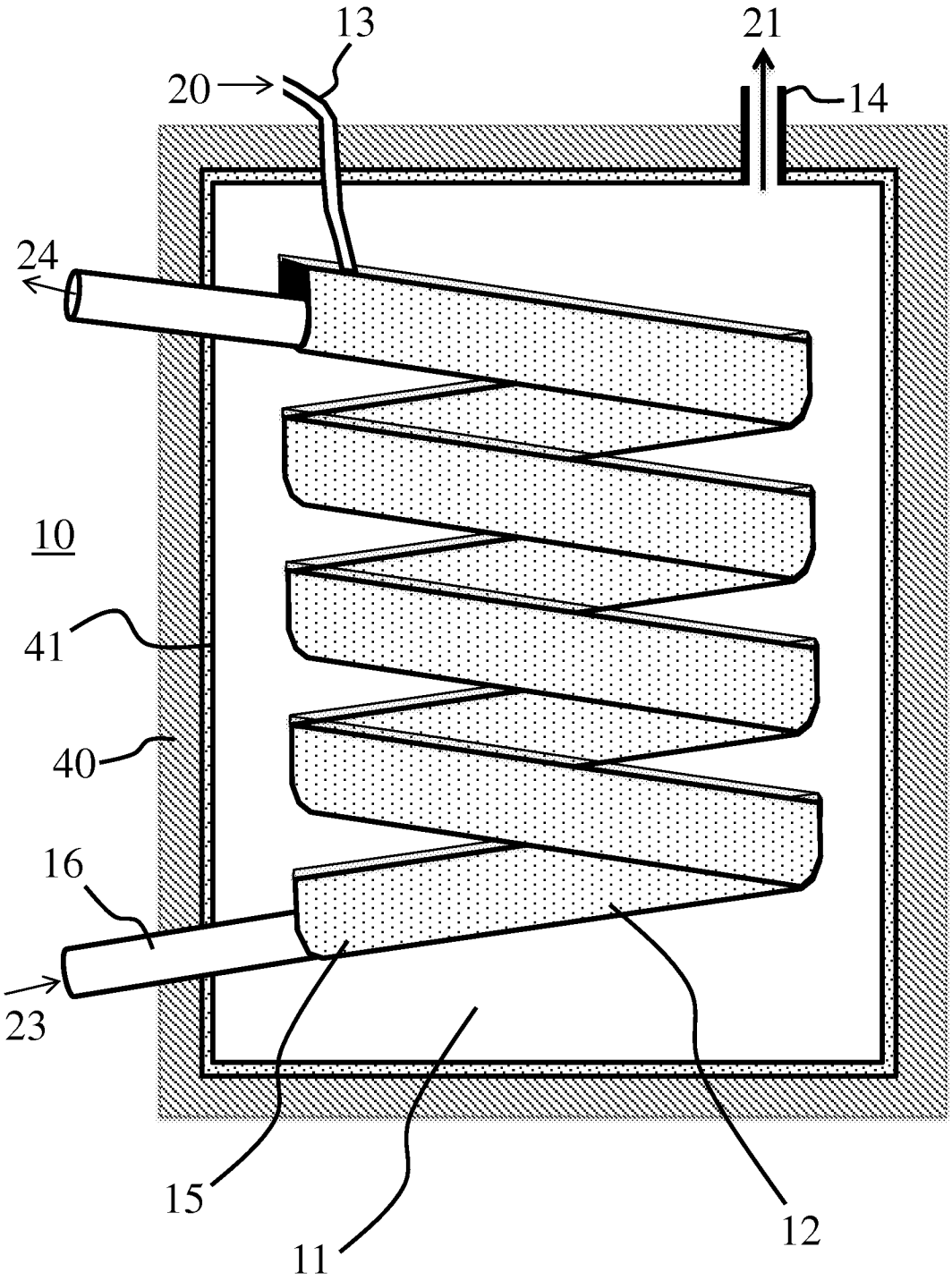

Fig. 1

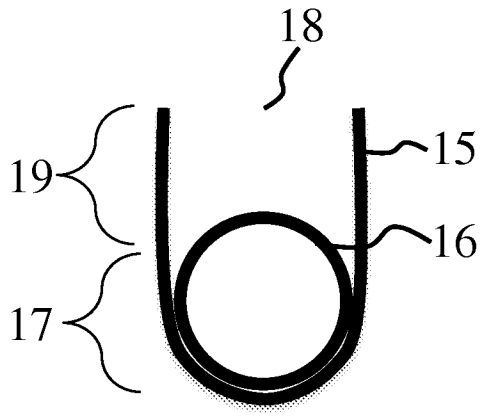

Fig. 2a

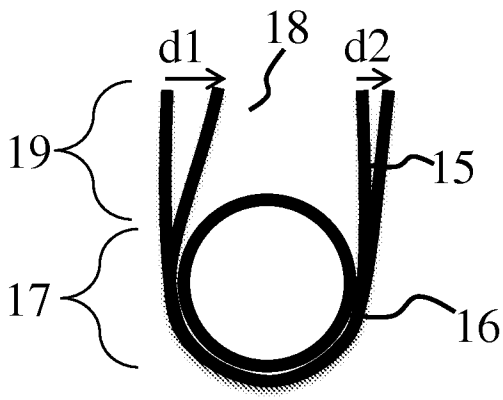

Fig. 2b

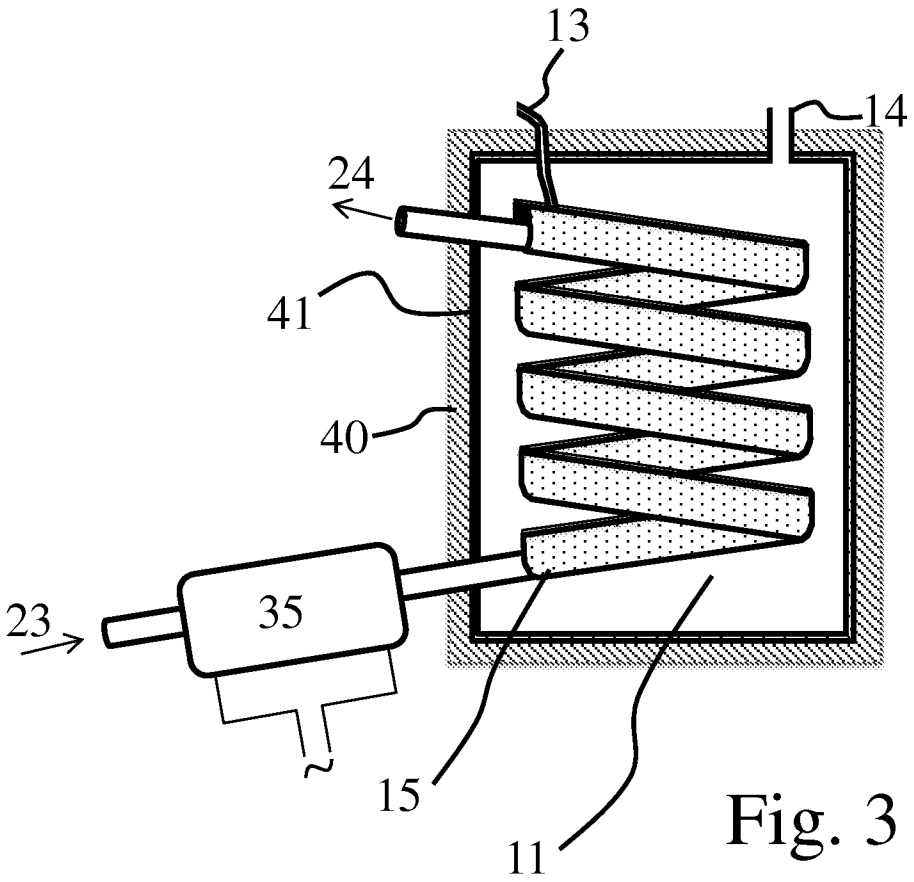

Fig. 3

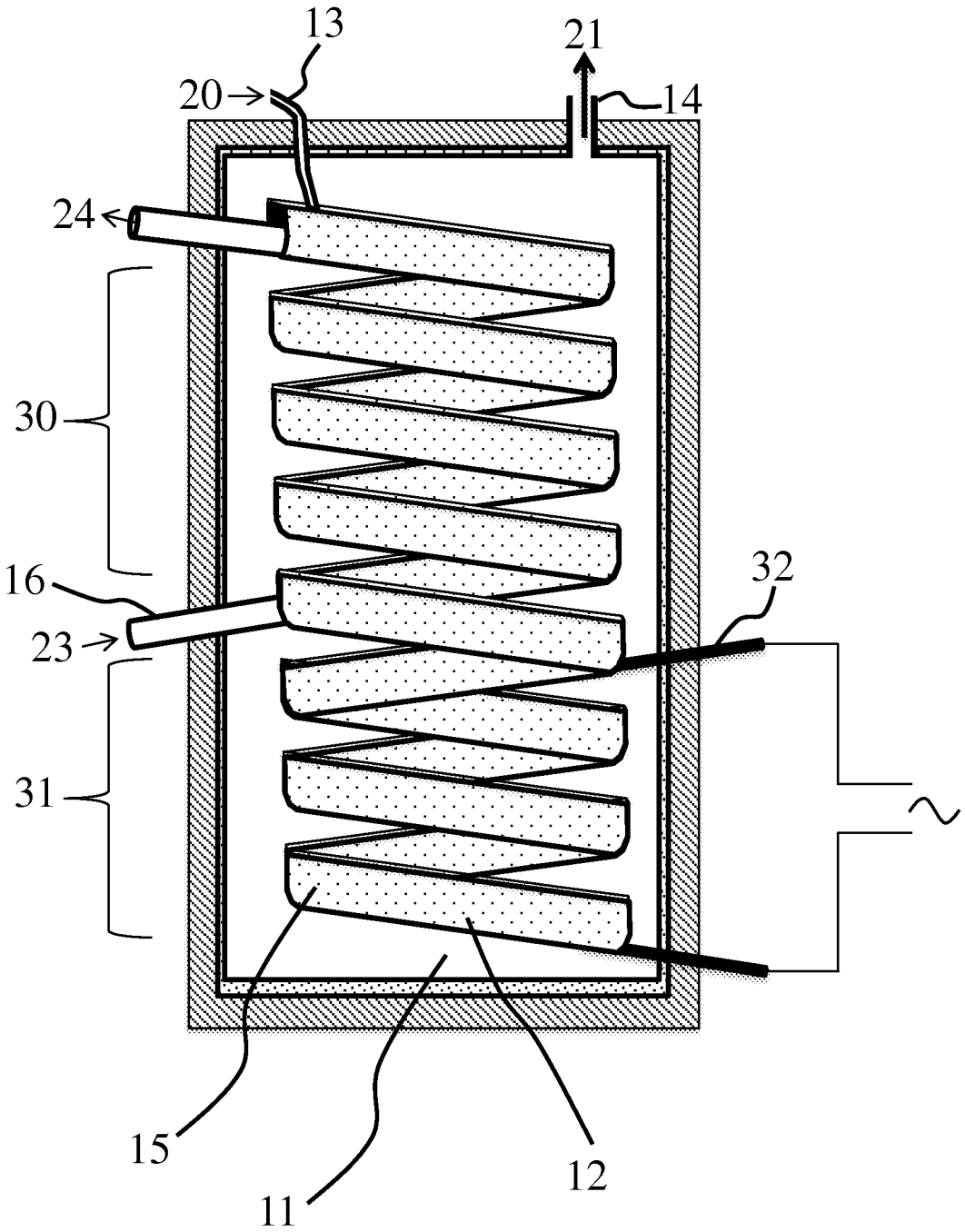

Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2017/050696

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F22B27/16 F22B1/28
ADD.

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)
F22B

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 20 2010 010108 U1 (ZWEITA INTERNATIONAL CO., LTD., BANDAR SERI BEGAWAN, BN) 18 November 2010 (2010-11-18) figures 1-11 paragraphs [0005], [0006], [0019] - [0028] -----	1-12
A	WO 97/33479 A1 (ELECTROLUX AB [SE]; ELMAR JUNKER [DK]; ESKILDSEN CHRISTIAN [DK]) 18 September 1997 (1997-09-18) abstract; figures 1, 2 page 3, line 7 - page 5, line 5 -----	1-12
A	FR 595 069 A (OMER TOURNAY) 25 September 1925 (1925-09-25) figure 1 page 1, lines 13-59 -----	1-12

☐ 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	Date of mailing of the international search report
5 May 2017	18/05/2017

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Varelas, Dimitrios

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/FR2017/050696

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 202010010108 U1	18-11-2010	NONE	
WO 9733479 A1	18-09-1997	AU 2022697 A	01-10-1997
		EP 0835057 A1	15-04-1998
		WO 9733479 A1	18-09-1997
FR 595069 A	25-09-1925	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2017/050696

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. F22B27/16 F22B1/28
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
F22B

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)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DE 20 2010 010108 U1 (ZWEITA INTERNATIONAL CO., LTD., BANDAR SERI BEGAWAN, BN) 18 novembre 2010 (2010-11-18) figures 1-11 alinéas [0005], [0006], [0019] - [0028] -----	1-12
A	WO 97/33479 A1 (ELECTROLUX AB [SE]; ELMAR JUNKER [DK]; ESKILDSEN CHRISTIAN [DK]) 18 septembre 1997 (1997-09-18) abrégé; figures 1, 2 page 3, ligne 7 - page 5, ligne 5 -----	1-12
A	FR 595 069 A (OMER TOURNAY) 25 septembre 1925 (1925-09-25) figure 1 page 1, lignes 13-59 -----	1-12

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"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)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"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

"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

"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

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
5 mai 2017	18/05/2017

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Varelas, Dimitrios

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/FR2017/050696

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 202010010108 U1	18-11-2010	AUCUN	
WO 9733479 A1	18-09-1997	AU 2022697 A	01-10-1997
		EP 0835057 A1	15-04-1998
		WO 9733479 A1	18-09-1997
FR 595069 A	25-09-1925	AUCUN	