



(11) **EP 3 224 542 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
16.09.2020 Bulletin 2020/38

(21) Numéro de dépôt: **15797976.6**

(22) Date de dépôt: **17.11.2015**

(51) Int Cl.:
F22B 1/28 (2006.01)

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2015/076774

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2016/083190 (02.06.2016 Gazette 2016/22)

(54) **GÉNÉRATEUR DE VAPEUR**

DAMPFERZEUGER

STEAM GENERATOR

(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**

(30) Priorité: **28.11.2014 FR 1461678**

(43) Date de publication de la demande:
04.10.2017 Bulletin 2017/40

(73) Titulaire: **Commissariat à l'Énergie Atomique
et aux Énergies Alternatives
75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:
• **CHATROUX, André**
F-38210 Tullins (FR)
• **PLANQUE, Michel**
F-38180 Seyssins (FR)

(74) Mandataire: **Cabinet Laurent & Charras**
Le Contemporain
50 Chemin de la Bruyère
69574 Dardilly Cedex (FR)

(56) Documents cités:
WO-A1-97/33479 DE-U1- 9 101 758
DE-U1-202010 010 108 FR-A- 595 069

EP 3 224 542 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**DOMAINE DE L'INVENTION**

[0001] L'invention se rapporte au domaine des générateurs de vapeur, et notamment aux générateurs de vapeur utilisés dans les électrolyseurs de vapeur d'eau à haute température (EHVT). L'invention concerne plus particulièrement un dispositif de conversion d'un liquide en vapeur 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

[0002] 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 en 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.

[0003] 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 homogénéités pouvant en effet entraîner 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.

[0004] 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. Un tel générateur de vapeur est généralement composé 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.

[0005] 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.

[0006] 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, la puissance électrique et la surface d'évaporation ne sont étudiées que pour un seul point de fonctionnement.

[0007] 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. Un générateur de vapeur sèche est par exemple connu de WO 97 33479 A1.

EXPOSE DE L'INVENTION

[0008] Le but de la présente invention est donc de proposer un générateur de vapeur capable de produire, à pression constante, un débit constant de vapeur d'un liquide, par exemple de l'eau, pour les faibles débits de vapeur, et ne

nécessitant pas l'utilisation de gaz porteur.

[0009] La présente invention a ainsi pour objet un générateur de vapeur à pression constante, capable de fournir un débit régulé de vapeur, y compris pour les faibles débits de vapeur, notamment entre 10g/h et 10kg/h, et pour une pression constante de 0 à plusieurs dizaines de bar relatifs.

[0010] L'invention est définie par la revendication 1. En d'autres termes, ce générateur de vapeur comprend :

- un régulateur de débit de liquide configuré pour générer une quantité de liquide, par exemple de l'eau, à un instant donné suivant un débit constant de liquide compris dans une gamme prédéterminée de débits, le débit maximal de cette gamme de débit est inférieur ou égal à 10kg/h ;
- un dispositif de conversion du liquide en vapeur fonctionnant à pression constante et comprenant :
 - une enceinte pourvue d'une entrée de liquide reliée au régulateur de liquide et d'une sortie de vapeur par laquelle s'échappe la vapeur selon un débit sensiblement identique à celui du liquide injecté en entrée, l'enceinte présentant ladite pression constante ;
 - une surface chauffante dans l'enceinte, à pente descendante définissant un parcours d'écoulement autorisant l'écoulement par gravité de la quantité de liquide le long du parcours depuis l'entrée, et une montée en température de la quantité de liquide à mesure de son écoulement le long du parcours jusqu'à l'évaporation totale de chaque mole de cette quantité de liquide avant la fin dudit parcours, cette surface chauffante étant ouverte de manière à permettre une évacuation directe de la vapeur formée ;
- une source d'énergie apte à fournir une quantité d'énergie suffisante à la surface chauffante pour appliquer au liquide une puissance thermique linéique tout au long du parcours, cette puissance thermique linéique étant sélectionnée en fonction au moins de la longueur maximale du parcours et de la puissance thermique nécessaire pour évaporer la totalité d'une quantité maximale de liquide injecté suivant le débit maximal de la gamme de débit.

[0011] Encore en d'autres termes, l'invention est la combinaison de trois paramètres :

- des dimensions pour 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 ;
- un chauffage du liquide par une source externe d'énergie qui peut être électrique (résistance chauffante) ou thermique (fluide caloporteur) ; et
- une longueur de parcours adaptés pour obtenir une évaporation complète de chaque mole de liquide injecté avant la fin du parcours.

[0012] Un tel générateur de vapeur assure ainsi un contrôle de la vaporisation de chaque quantité d'eau injectée. Cette vaporisation se traduit notamment par une évaporation continue du liquide au fur et à mesure de son écoulement jusqu'à son évaporation totale avant la fin du parcours, sans formation de bouffée ou d'écoulement de liquide sur un matelas (ou lit) de vapeur dans l'enceinte. Un tel contrôle du processus d'évaporation évite notamment la présence d'eau stagnante dans l'enceinte, condition nécessaire pour obtenir une régularité du débit de vapeur en sortie, et permet de fournir directement un débit régulier de vapeur sensiblement identique au débit de liquide injecté en entrée. En pratique, la régularisation du débit d'eau (et donc de vapeur) est contrôlable par un utilisateur au moyen d'un bouton de commande. Par exemple, l'utilisateur peut régler la consigne du débit de liquide à injecter en entrée pour obtenir un débit sensiblement équivalent de vapeur en sortie.

[0013] Un tel générateur 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. La fabrication du générateur ainsi que son fonctionnement sont donc simplifiés.

[0014] Par exemple, pour un débit de vapeur 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 20m. 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.

[0015] Selon l'invention, le dispositif de conversion comprend une rainure s'étendant le long du parcours et dans laquelle est logée la surface chauffante, la rainure autorisant un écoulement du liquide par gravité et par capillarité le long du parcours.

[0016] En d'autres termes, la rainure est dimensionnée de manière à former un canal de capillarité, aspirant ainsi le liquide injecté. 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 notamment de produire un débit régulier de vapeur à partir d'une

[0017] Bien entendu, l'entrée de liquide peut également être dimensionnée pour en outre 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.

[0018] En pratique, la surface chauffante est disposée dans une gorge ouverte sur au moins une portion inférieure du parcours, de préférence sur la totalité du parcours, de manière à permettre l'échappement libre de la vapeur générée.

[0019] Dans le mode de réalisation correspondant à un écoulement par capillarité et par gravité, la gorge est pourvue dans son fond de la rainure décrite ci-avant. En pratique, cette rainure est ouverte sur toute sa longueur vers l'intérieur de la gorge, et présente de préférence des dimensions adaptées pour un écoulement par capillarité. Par exemple, pour une surface chauffante de 3,5mm de diamètre et une gamme de débit de 0 à 5 l/h, la gorge principale a une hauteur de 8,5mm pour une profondeur de 17mm et la rainure a une hauteur et une largeur de 3,5mm permettant le matage de la surface chauffante.

[0020] Pour diriger le liquide vers le fond de la gorge, et donc concentrer le liquide sur la surface chauffante en fond de la gorge, les parois de la gorge sont de préférence inclinées, l'inclinaison de chacune des parois formant avec l'horizontal un angle d'inclinaison (α) supérieur ou égal à 30°C.

[0021] En d'autres termes, l'angle formé entre la paroi en contact avec le liquide circulant, dans la direction allant du fond de gorge vers l'ouverture de la gorge, et la direction de la gravité est non nul et de préférence inférieur ou égal à 60°C. On assure ainsi que le liquide circulant reste au contact de la surface chauffante qui est préférentiellement disposée au plus près du fond de la gorge.

[0022] La gorge est de préférence constituée d'un matériau neutre pour le liquide, notamment en acier inoxydable particulièrement apprécié pour sa résistance à la corrosion.

[0023] En outre, cette gorge est de forme hélicoïdale lorsque la compacité est recherchée.

[0024] Selon une variante, la surface chauffante peut être localisée en périphérie externe d'un cylindre.

[0025] Le dispositif de conversion peut ainsi être formé d'une pièce filetée, le filetage formant la gorge. Par exemple, la pièce peut être un cylindre s'étendant dans la direction de la gravité et à la périphérie duquel est usinée la gorge hélicoïdale. La gorge hélicoïdale présente de préférence une largeur, une profondeur, une longueur et un pas adaptés pour l'évaporation totale du liquide injecté avant la fin du parcours combiné à la puissance thermique linéique appliquée à la surface chauffante, comme expliqué ci-avant. Par ailleurs, l'ouverture de la gorge est de préférence dimensionnée pour assurer une évacuation directe de la vapeur et limiter une accumulation de la vapeur au-dessus ou dans la gorge qui serait susceptible de perturber la chauffe ou la montée en température progressive du liquide. En particulier, il est préférable que la vapeur ne pousse pas le liquide vers une zone trop chaude pour éviter les bouffées de pression. Par exemple, la vapeur peut s'évacuer sensiblement radialement sans perturber l'écoulement de l'eau. Ainsi, l'ouverture de la gorge peut être avantageusement orientée dans une direction différente de celle de la gravité.

[0026] Avantageusement, l'enceinte peut être formée d'une enveloppe externe isolante thermiquement et d'une enveloppe interne métallique maintenue à une température prédéfinie, par exemple comprise entre 150 et 250°C pour une génération de vapeur à pression atmosphérique, de manière à éviter une condensation sur les parois internes de l'enceinte. Cette enveloppe interne sera dimensionnée et qualifiée pour fonctionner jusqu'à la pression maximale définie à la conception du générateur de vapeur. De préférence, cette enveloppe interne métallique est conçue pour fonctionner à une pression supérieure à la pression atmosphérique ou dans la gamme de pression atmosphérique à quelques dizaines de bar. Selon une variante, en fonctionnement, la pression dans l'enceinte est celle de la vapeur.

[0027] Suivant un mode de réalisation adapté notamment à un débit de production de 0 à 5 kg/h à pression atmosphérique, l'enveloppe interne a un diamètre de 220 mm pour une hauteur de 470 mm en tôle de 2 mm d'épaisseur. La spirale d'une longueur linéaire de 10 m est usinée sur un tube de diamètre 200 mm et de 400 mm de hauteur, la distance entre l'ouverture de la gorge et la paroi interne de l'enceinte étant de 8 mm. Le volume dans lequel la vapeur est présente est d'environ 6 litres.

[0028] Selon un autre mode de réalisation, la puissance thermique de la surface chauffante peut être régulée via par exemple un capteur de température apte à mesurer la température à au moins un point de la surface chauffante couplé à un régulateur d'énergie à fournir à la surface chauffante en fonction de la température mesurée et d'une température de consigne généralement supérieure ou égale à 100°C.

[0029] En pratique, une table donnant la correspondance entre la puissance thermique, le débit d'eau et la température de la surface chauffante, est utilisée pour la régulation de la puissance thermique.

[0030] Dans un autre mode de réalisation, il est possible de changer de source de chaleur. Par exemple, il est possible d'utiliser un liquide caloporteur, par exemple une huile, que l'on fait circuler dans un tube métallique. Ce tube peut être

mis à la place de la résistance électrique, par exemple par la même technique de matage. Connaissant la capacité calorifique du fluide caloporteur, il est possible de calculer la température nominale garantissant que le débit maximal de liquide puisse être évaporé. Par ailleurs, pour assurer un débit régulier d'évaporation, il est avantageux de faire circuler le fluide caloporteur dans le sens opposé à l'écoulement de l'eau liquide.

[0031] 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 souder la ligne de gaz en spirale sur l'enceinte du générateur.

[0032] L'invention a également pour objet un dispositif de conversion de liquide en vapeur à pression constante présentant tout ou partie des caractéristiques définies ci-avant.

[0033] En particulier, le dispositif de conversion de liquide en vapeur est capable de fournir un débit régulé de vapeur, notamment entre 10g/h et 10kg/h, pour une pression constante de 0 à plusieurs dizaines de bar relatifs.

[0034] Par exemple, ce dispositif de conversion de liquide en vapeur à pression constante comprend :

- une entrée de liquide par laquelle une quantité de liquide est injectée à un instant donné suivant un débit constant de liquide compris dans une gamme prédéterminée de débits, le débit maximal de cette gamme de débit est inférieur ou égal à 10kg/h ;
- une surface chauffante à pente descendante définissant un parcours d'écoulement autorisant l'écoulement de la quantité de liquide le long du parcours par gravité depuis l'entrée, et une montée en température de cette quantité de liquide injecté à mesure de son écoulement le long du parcours jusqu'à l'évaporation totale de chaque mole de cette quantité de liquide avant la fin du parcours.

[0035] En outre, la surface chauffante est ouverte de manière à permettre une évacuation directe de la vapeur formée, et la puissance thermique linéique appliquée par cette surface chauffante au liquide tout au long du parcours est sélectionnée en fonction au moins de la longueur maximale du parcours et de la puissance thermique nécessaire pour évaporer la totalité d'une quantité maximale de liquide injecté suivant le débit maximal de la gamme de débit.

[0036] En termes de procédé, la génération de vapeur ou la conversion de liquide en vapeur à pression atmosphérique ou sous une pression constante avec le générateur ou le dispositif décrit ci-dessus comprend notamment :

- l'apport d'une énergie à la surface chauffante décrite ci-avant de sorte que la surface chauffante présente une puissance thermique linéique suffisante pour l'évaporation d'une quantité de liquide à injecter selon un débit prédéfini ;
- l'injection de la quantité de liquide à un instant t selon le débit prédéfini ;
- l'écoulement, au moins par gravité, de la quantité de liquide le long de la surface chauffante définissant un parcours d'écoulement, et l'échauffement de la quantité de liquide à mesure que le liquide s'écoule jusqu'à son évaporation totale avant la fin du parcours.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0037] 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 mode de réalisation de l'invention dans lequel la gorge est hélicoïdale ;
- La figure 2 est une représentation schématique partielle en demi-coupe axiale de la gorge hélicoïdale du générateur de vapeur de la figure 1 ; et
- la figure 3 est une représentation schématique du générateur de vapeur selon un mode de réalisation de l'invention.

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

[0038] Le générateur de vapeur selon un mode de réalisation de l'invention est illustré à la figure 3 et comprend notamment :

- un régulateur de débit **6** de liquide ;
- un dispositif de conversion **10** du liquide en vapeur ; et
- une source d'énergie régulée **7** ;

[0039] Le régulateur de débit **6** de liquide est configuré pour fournir au dispositif de conversion **10** une quantité de liquide **50** à un instant donné suivant un débit constant compris par exemple entre 10g/h et 10kg/h. En pratique, le débit de liquide à générer est fixé par l'utilisateur au moyen d'une consigne **60** et correspond sensiblement au débit de vapeur à produire par le dispositif de conversion **10**. Le régulateur de débit **6** d'eau liquide peut être un régulateur du commerce,

par exemple un régulateur de débit massique thermique ou Coriolis.

[0040] Le dispositif de conversion **10** du liquide en vapeur est configuré pour évaporer la totalité du liquide **50** injectée et pour générer de la vapeur **51** à un débit régulier correspondant sensiblement au débit de liquide injectée.

[0041] La structure du dispositif de conversion de liquide **50**, notamment de l'eau, en vapeur **51** selon un mode de réalisation particulier illustré à la figure 1 est décrit ci-après.

[0042] Ce dispositif de conversion est notamment formé d'une enceinte **4** pourvue d'une sortie de vapeur **42** et d'une entrée de liquide **40** destinée à être couplée à au régulateur de débit **6** d'eau .

[0043] L'enceinte **4** est notamment formée d'une enveloppe externe **43** isolante thermiquement et d'une enveloppe interne **44** qui permet de retenir la vapeur produite dans l'enceinte **4** et de canaliser cette vapeur sur la sortie vapeur **42** pour qu'elle puisse être utilisée. Cette enveloppe interne **44** est notamment en matériau métallique et est chauffée pour être maintenue à une température suffisante, par exemple 200 °C, pour éviter l'apparition de condensat sur les parois internes de l'enceinte. Cette enveloppe **44** 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 a un diamètre de 220 mm pour une hauteur de 470 mm en tôle de 2 mm d'épaisseur.

[0044] Selon une variante, le volume interne de l'enceinte **4** étant en connexion, via la sortie de vapeur **42**, avec l'extérieur, la pression interne de l'enceinte est par conséquent réglée par la pression extérieure. Par exemple, la sortie **42** est connectée directement en entrée d'un électrolyseur fonctionnant à la pression atmosphérique, de sorte que la pression interne de l'enceinte **4** est égale à la pression atmosphérique, et donc sensiblement constante. Bien entendu, la pression extérieure, qui fixe la pression interne de l'enceinte, peut être différente, notamment supérieure. De même, un régulateur de pression peut être prévu pour réguler directement la pression interne de l'enceinte afin d'obtenir une pression sensiblement constante. Selon une autre variante, en fonctionnement, la pression interne de l'enceinte reste sensiblement identique à celle de la pression de la vapeur produite. Une gorge **2** ouverte de forme hélicoïdale, pour des raisons de compacité, est disposée dans cette enceinte **4**. Cette gorge **2** est notamment usinée à la périphérie externe d'une pièce **1**, un cylindre en acier inoxydable par exemple, qui repose sur une base **41** support de l'enceinte **4**. Cette base support est notamment horizontale, c'est-à-dire sensiblement perpendiculaire à la direction **G** de la gravité.

[0045] Cette gorge selon ce mode de réalisation présente une pente descendante, par exemple entre 1 et 4%, qui autorise un écoulement par gravité de l'eau liquide **50** depuis l'entrée **40** de liquide. Par ailleurs, une résistance électrique chauffante **3** filaire, par exemple de section ronde, faisant office de surface chauffante, est insérée dans la gorge **2**. Cette résistance chauffante **3** est positionnée dans la gorge, et notamment au plus près du fond de la gorge, de manière à s'étendre tout le long de la gorge pour définir un parcours de circulation du liquide. Cette résistance chauffante **3** est alimentée par la source d'énergie **7** régulée et est par ailleurs destinée à être mise en contact avec le liquide circulant 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 la résistance chauffante et le liquide doit être grande. Suivant un mode de réalisation comprenant une résistance électrique de 10 m de long et de 3,5mm de diamètre, la surface de contact est estimée à 550 cm².

[0046] Plus précisément, comme illustré sur la figure 2, cette gorge **2** comprend notamment un fond de gorge à l'opposée d'une ouverture ainsi que des parois inclinées. En particulier, l'ouverture est orientée de manière à permettre une évacuation sensiblement radiale de la vapeur produite. L'angle d'inclinaison α formé entre l'horizontal **H** et chacune des parois **20** de la gorge dans la direction allant du fond de gorge vers l'ouverture est d'au moins 30°. Cette inclinaison permet de diriger le liquide vers le fond de la gorge et d'assurer un contact permanent du liquide circulant avec la surface chauffante.

[0047] Le fond de la gorge **2** présente par ailleurs une rainure **21** dans laquelle est insérée la résistance chauffante. Cette rainure **21** est ouverte et s'étend dans le prolongement de la gorge. La rainure **21** présente des dimensions, en termes de largeur et de profondeur, inférieures à celles de la gorge, et est notamment dimensionnée pour permettre l'insertion par matage de la résistance chauffante et un écoulement par capillarité du liquide dans la gorge. Par exemple, pour une surface chauffante de 3,5mm de diamètre et une gamme de débit de 0 à 5 l/h, la gorge **2** a une hauteur de 8,5mm pour une profondeur de 17mm et la rainure **21** a une hauteur et une largeur de 3,5mm permettant le matage de résistance électrique filaire **3**.

[0048] L'écoulement par capillarité trouve notamment son avantage dans le cas d'un faible débit de liquide, et notamment dans le cas où le liquide est injecté goutte à goutte. L'écoulement par capillarité permet en effet un étalement uniforme du liquide à évaporer sur la surface chauffante, sans formation de train de gouttes, garantissant une régularité du débit de vapeur en sortie. En outre, l'eau peut également être injectée par capillarité dans la gorge. Par exemple, l'entrée de liquide peut être un tube en acier inoxydable positionné au contact de la gorge et de la résistance chauffante et dimensionné pour autoriser une aspiration par capillarité du liquide dans la gorge, sans formation de goutte.

[0049] Bien entendu, en fonction du type d'injection du liquide, 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, la résistance chauffante est disposée au plus près du fond de la gorge et le liquide s'écoule uniquement par gravité.

[0050] Selon une autre variante, la résistance chauffante filaire peut être plane insérée par exemple dans le fond de la gorge ou dans la rainure, ou encore une couche d'un matériau métallique recouvrant une ou plusieurs parois de la gorge et/ou de la rainure.

[0051] La résistance chauffante **3** est par ailleurs couplée à la source d'énergie **7**, par exemple une source de tension régulée (non représenté), pour fournir l'énergie nécessaire à la chauffe de l'eau durant sa descente le long de la gorge jusqu'à son évaporation. La vapeur **51** produite est ensuite évacuée en périphérie via l'ouverture de la gorge sans amener de perturbation à l'écoulement pour garantir une régularité dans le fonctionnement de la chauffe.

[0052] Pour assurer une évaporation efficace de tout le liquide introduit dans la gorge avec ou sans ébullition, il est nécessaire de chauffer le liquide de façon homogène. En pratique, la résistance chauffante est calibrée de manière à assurer une montée, de préférence régulière, en température d'une quantité d'eau donnée dans la gorge jusqu'à son évaporation totale avant la fin du parcours. La puissance électrique à fournir à la résistance chauffante peut être optimisée en fonction de la quantité d'eau introduite, de manière à répartir au mieux l'eau sur toute la longueur de la gorge 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 sa vaporisation, tout en tenant compte des pertes thermiques.

[0053] En pratique, on définit un débit maximal de liquide à injecter dans la gorge, par exemple 10 kg/h. Ce débit maximal définit une quantité maximale de liquide à évaporer, ici 10kg. On calcule la puissance thermique totale nécessaire pour vaporiser cette quantité maximale de liquide, en tenant bien entendu compte de la température initiale du liquide et de la pression dans laquelle la chauffe est réalisée. 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 :

$$P = \dot{m}.Cp_1.(100 - 20) + \dot{m}.L + \dot{m}.Cp_2.(150 - 100)$$

$$P = \dot{m}.(Cp_1.(100 - 20) + L + Cp_2.(150 - 100))$$

$$P = \dot{m}.(4195.(100 - 20) + 2,258.10^6 + 2030.(150 - 100))$$

$$P = \dot{m}.2695100$$

$$P = 2,77.10^{-3}.2695100$$

$$P = 7486 \text{ W}$$

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 [2.258.10⁶ J/(kg.K)].

[0054] Suivant un mode de réalisation, la puissance de la résistance électrique sera préférentiellement choisie avec au minimum 30% de capacité de chauffage supplémentaire pour avoir une meilleure réactivité lors des changements de consignes d'évaporation. Dans le cas présenté d'un débit de production de vapeur de 10 kg/h, la puissance recommandée pour la résistance chauffante est de (1,3.P)=9732 W, arrondi à 10 kW.

[0055] La longueur de cette résistance 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 résistance électrique est donc comprise entre 10 et 20 m.

[0056] En d'autres termes, la méthode de calcul de la puissance thermique linéique consiste notamment à :

EP 3 224 542 B1

- définir un débit maximal de liquide 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.

[0057] Par exemple, la puissance P de chauffe totale minimale nécessaire pour vaporiser une quantité de liquide 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, l'énergie P_2 pour réaliser la vaporisation proprement dite et l'énergie P_3 pour surchauffer la vapeur produite :

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

[0058] 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 :

$$P_1 = \dot{m} \cdot C_{p1} \cdot \Delta T_1$$

avec :

- P_1 la puissance en Watt [W] ;
- $\dot{m}$ le débit de liquide à réchauffer [kg/s] ;
- C_{p1} 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].

[0059] Le calcul de la puissance nécessaire pour vaporiser un débit donné de liquide est par exemple donné par la relation :

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

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].

[0060] 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 :

$$P_3 = \dot{m} \cdot C_{p3} \cdot \Delta T_3$$

avec :

- P_3 la puissance en Watt [W] ;
- $\dot{m}$ le débit de vapeur à réchauffer [kg/s] ;
- C_{p3} 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].

[0061] 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.

[0062] Ainsi, l'eau à évaporer est introduite dans la gorge via l'entrée de liquide et s'écoule dans la gorge, par gravité et/ou par capillarité. L'eau s'échauffe durant sa descente jusqu'à s'évaporer. La vapeur est évacuée en périphérie de

la gorge sans amener de perturbation à l'écoulement, ce qui garantit la régularité du fonctionnement.

[0063] Selon une variante, il est possible de prévoir une régulation de la puissance thermique fournie par la résistance chauffante. En pratique, la source d'énergie 7 peut être régulée en fonction d'un ou de plusieurs paramètres mesurés ou fournis au cours du fonctionnement du générateur. 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 par exemple la température 71 de la résistance chauffante en fin de parcours. La tension à fournir 70 à la résistance chauffante est alors ajustée en fonction de cette température mesurée et d'une température de consigne correspondante 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 l'énergie électrique à fournir.

[0064] Il a été décrit comme élément chauffant une résistance électrique filaire. En variante, la résistance filaire est remplacée par un tube parcouru par un fluide caloporteur, par exemple de l'huile, le fluide caloporteur étant chauffée de manière à fournir une puissance thermique telle que décrite ci-dessus.

[0065] Ainsi, l'évaporateur proposé dans la présente demande est adapté pour générer de faible débit de vapeur, notamment des débits compris entre 10 g/h et 10 kg/h, et ne nécessite pas l'utilisation de gaz porteur.

[0066] 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.

[0067] Ceci est rendu possible grâce notamment :

- à un écoulement par gravité et/ou par capillarité qui assure une répartition homogène du liquide sur la surface chauffante ;
- à une chauffe homogène du liquide tout au long du parcours d'écoulement qui assure une montée régulière en température du liquide ainsi qu'une évaporation régulière du liquide ; et
- une évacuation optimale de la vapeur produite sans perturbation du processus d'évaporation.

Revendications

1. Dispositif de conversion (10) fonctionnant à pression constante d'un liquide (50) en vapeur (51) comportant :

- une enceinte (4) comportant une entrée de liquide (40) pour recevoir un débit constant de liquide, une sortie de vapeur (42) et une enveloppe interne (44) apte à retenir la vapeur (51) produite et à canaliser cette vapeur (51) sur ladite sortie de vapeur (42) ;
- une pièce (1) disposée à l'intérieur de l'enceinte (4) sur une base (41) support ; et
- une gorge (2) ouverte de forme hélicoïdale ménagée à la périphérie externe de ladite pièce (1) ;
- ladite gorge (2) étant configurée pour canaliser le liquide (50) depuis ladite entrée de liquide (40) lors de son évaporation ;

caractérisé en ce que ledit dispositif de conversion (10) comporte également :

- un élément chauffant (3) inséré dans ladite gorge (2) ;
- ladite gorge (2) présentant des parois inclinées de manière à diriger le liquide (50) vers le fond de la gorge (2) ;
- ledit élément chauffant (3) étant disposé dans ledit fond de ladite gorge (2) de sorte à assurer un contact entre le liquide (50) et ledit élément chauffant (3).

2. Dispositif de conversion selon la revendication 1, **dans lequel** ledit dispositif comporte des moyens de chauffage de ladite enveloppe interne (44), ladite enveloppe interne (44) étant réalisée par un matériau métallique.

3. Dispositif de conversion selon la revendication 1 ou 2, **dans lequel** ladite pièce (1) correspond à un cylindre en acier inoxydable.

4. Dispositif de conversion selon l'une des revendications 1 à 3, **dans lequel** ladite inclinaison de chacune des parois de ladite gorge (2) forme avec l'horizontal (H) un angle d'inclinaison (α) supérieur ou égal à 30°C.

5. Dispositif de conversion selon l'une des revendications 1 à 4, **dans lequel** ledit élément chauffant (3) correspond à une résistance électrique chauffante ou à un tube parcouru par un fluide caloporteur.

6. Dispositif de conversion selon l'une des revendications 1 à 5, **dans lequel** ledit élément chauffant (3) est inséré

dans une rainure (21) ménagée dans le fond de ladite gorge (2).

7. Dispositif de conversion selon l'une des revendications 1 à 6, **dans lequel** ledit élément chauffant (3) présente une puissance thermique minimal totale (P_{min}) déterminée selon la relation suivante :

$$P_{min} = \dot{m} \cdot (Cp_1 \cdot (T_e - T_1) + L + Cp_2 \cdot (T_2 - T_e))$$

avec :

T_1 correspondant à la température d'entrée du liquide (50) dans l'enceinte (4) ;

T_2 correspondant à la température d'état de vapeur (51) recherché ;

T_e correspondant à la température d'ébullition du liquide (50) ;

$\dot{m}$ correspondant au débit massique du liquide (50) ;

Cp_1 correspondant à la chaleur spécifique moyenne du liquide (50) entre la température d'entrée T_1 et la température d'ébullition T_e ;

Cp_2 correspondant à la chaleur spécifique moyenne du liquide (50) entre la température d'ébullition T_e et la température recherchée T_2 ; et

L correspondant à la chaleur latente de vaporisation du liquide (50).

8. Dispositif de conversion selon l'une des revendications 1 à 7, **dans lequel** ledit élément chauffant (3) présente une puissance thermique totale (P) déterminée selon la relation suivante :

$$P = 1.3 \cdot \dot{m} \cdot (Cp_1 \cdot (T_e - T_1) + L + Cp_2 \cdot (T_2 - T_e))$$

avec :

T_1 correspondant à la température d'entrée du liquide (50) dans l'enceinte (4) ;

T_2 correspondant à la température d'état de vapeur (51) recherché ;

T_e correspondant à la température d'ébullition du liquide (50) ;

$\dot{m}$ correspondant au débit massique du liquide (50) ;

Cp_1 correspondant à la chaleur spécifique moyenne du liquide (50) entre la température d'entrée T_1 et la température d'ébullition T_e ;

Cp_2 correspondant à la chaleur spécifique moyenne du liquide (50) entre la température d'ébullition T_e et la température recherchée T_2 ; et

L correspondant à la chaleur latente de vaporisation du liquide (50).

9. Générateur de vapeur (51) comportant :

- un dispositif de conversion d'un liquide (50) en vapeur (51) selon l'une des revendications 1 à 8 ;

- un régulateur de débit (6) de liquide (50) connecté à l'entrée de liquide (40) et configuré pour fournir un liquide avec un débit massique constant inférieur ou égal à 10kg/h ; et

- une source d'énergie régulée (7) connectée audit élément chauffant (3) de sorte à réguler la puissance thermique totale (P) dudit élément chauffant (3) en fonction du débit massique dudit régulateur de débit (6).

10. Générateur de vapeur selon la revendication 9, **dans lequel** ladite source d'énergie régulée (7) est régulée par une mesure de température dudit élément chauffant (3).

11. Générateur de vapeur selon la revendication 9 ou 10, **dans lequel** ledit régulateur de débit (6) est configuré pour générer un débit massique compris entre 10 g/h et 10kg/h.

Patentansprüche

1. Umwandlungsvorrichtung (10), die mit dem konstanten Druck einer dampfförmigen (51) Flüssigkeit (50) arbeitet, die enthält:

- einen Behälter (4) mit einem Flüssigkeitseinlass (40) zu Aufnahme einer konstanten Flüssigkeitsmenge, einen Dampfauslass (42) und eine Innenhülle (44), die in der Lage ist, den erzeugten Dampf (51) zurückzuhalten und diesen Dampf (51) zu diesem Dampfauslass (42) zu leiten;
- ein Teil (1), das im Inneren des Behälters (4) auf einer Haltebasis (1) untergebracht ist, und
- eine offene Nut (2), in Spiralförmigkeit, ausgespart im Außenumfang des erwähnten Teils (1);
- diese Nut (2) ist dazu konfiguriert, die Flüssigkeit (50) vom erwähnten Flüssigkeitseinlass (40) bei ihrer Verdampfung zu kanalisieren;

dadurch gekennzeichnet, dass diese Umwandlungsvorrichtung (10) ebenfalls umfasst:

- ein Heizelement (3), eingesetzt in die erwähnte Nut (2);
- diese Nut (2) weist dabei Wände auf, die so geneigt sind, dass die Flüssigkeit (50) zum Boden der Nut (2) geleitet wird;
- dieses Heizelement (3) ist im erwähnten Boden dieser Nut (2) angeordnet, so dass der Kontakt zwischen der Flüssigkeit (50) und dem erwähnten Heizelement (3) gewährleistet ist.

2. Umwandlungsvorrichtung nach Anspruch 1, **bei der** diese Vorrichtung Mittel zum Erhitzen der erwähnten Innenhülle (44) enthält, diese Innenhülle (44) wird aus einem metallischen Material ausgeführt.
3. Umwandlungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **bei der** dieses Teil (1) einem Zylinder aus Edelstahl entspricht.
4. Umwandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **bei der** diese Neigung jeder der Wände dieser Nut (2) zusammen mit der Horizontalen (H) einen Neigungswinkel (α) größer oder gleich 30° C bildet.
5. Umwandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **bei der** dieses Heizelement (3) einem elektrischen Heizwiderstand oder einem Rohr entspricht, das von einer Wärmeträgerflüssigkeit durchströmt wird.
6. Umwandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **bei der** das erwähnte Heizelement (3) in eine Rille (21) eingesetzt wird, die auf dem Boden dieser Nut (2) ausgespart wird.
7. Umwandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **bei der** dieses Heizelement (3) eine Gesamtmindestwärmeleistung (P_{min}) aufweist, die nach der folgenden Gleichung bestimmt wird:

$$P_{min} = \dot{m} \cdot (CP_1 (T_e - T_1) + L + CP_2 \cdot (T_2 - T_e))$$

wobei:

- T_1 der Einlasstemperatur der Flüssigkeit (50) in den Behälter (4) entspricht,
- T_2 der gewünschten Dampfzustandstemperatur (51) entspricht;
- T_e der Siedetemperatur der Flüssigkeit (50) entspricht,
- $\dot{m}$ dem Massenstrom der Flüssigkeit (50) entspricht,;
- CP_1 der spezifischen Durchschnittstemperatur der Flüssigkeit (50) zwischen der Einlasstemperatur T_1 und der Siedetemperatur T_e entspricht;
- CP_2 der spezifischen Durchschnittstemperatur der Flüssigkeit (50) zwischen der Siedetemperatur T_e und der gewünschten Temperatur T_2 entspricht; und
- L der latenten Verdampfungswärme der Flüssigkeit (50) entspricht.

8. Umwandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **bei der** dieses Heizelement (3) eine Gesamtwärmeleistung (P) aufweist, die nach der folgenden Gleichung bestimmt wird:

$$P = 1.3 \cdot \dot{m} \cdot (CP_1 (T_e - T_1) + L + CP_2 \cdot (T_2 - T_e))$$

wobei:

- T_1 der Einlasstemperatur der Flüssigkeit (50) in den Behälter (4) entspricht,
- T_2 der gewünschten Dampfzustandstemperatur (51) entspricht;

T_e der Siedetemperatur der Flüssigkeit (50) entspricht,
 in dem Massenstrom der Flüssigkeit (50) entspricht;
 CP_1 der spezifischen Durchschnittstemperatur der Flüssigkeit (50) zwischen der Einlasstemperatur T_1 und der
 Siedetemperatur T_e entspricht;
 CP_2 der spezifischen Durchschnittstemperatur der Flüssigkeit (50) zwischen der Siedetemperatur T_e und der
 gewünschten Temperatur T_2 entspricht; und
 L der latenten Verdampfungswärme der Flüssigkeit (50) entspricht.

9. Dampfgenerator (51) mit:

- einer Umwandlungsvorrichtung einer Flüssigkeit (50) in Dampf (51) nach einem der Ansprüche 1 bis 8;
- einem Durchflussmengenregler (6) der Flüssigkeit (50), verbunden mit einem Flüssigkeitseinlass (40) und dazu konfiguriert, eine Flüssigkeit mit einem konstanten Massestrom von kleiner gleich 10kg/h liefert; und
- einer geregelten Energiequelle (7), verbunden mit dem erwähnten Heizelement (3) um die Gesamtwärmeleistung (P) dieses Heizelementes (3) in Abhängigkeit vom Massestrom dieses Durchflussmengenreglers (6) zu regulieren.

10. Dampfgenerator nach Anspruch 9, bei dem die erwähnte geregelte Energiequelle (7) durch eine Temperaturmessung dieses Heizelementes (3) reguliert wird.

11. Dampfgenerator nach Anspruch 9 oder 10, bei dem der erwähnte Durchflussmengenregler (6) dazu konfiguriert ist, einen Massestrom zwischen 10 g/h und 10 kg/h zu erzeugen.

Claims

1. Conversion device (10) operating at constant pressure, converting a liquid (50) into steam (51) comprising:

- an enclosure (4) having a liquid inlet (40) to receive a constant flow of liquid a steam outlet (42) and an inner shell (44) capable of retaining the steam (51) produced and of channeling this steam (51) to the said steam outlet (42);
- a part (1) arranged inside the enclosure (4) on a support base (41); and
- an open helical channel (2) formed on the outer perimeter of the said part (1);
- the said channel (2) being configured to direct the liquid (50) from the said liquid inlet (40) upon its evaporation;

characterized in that the said conversion device (10) also comprises:

- a heating element (3) inserted in the said channel (2);
- the said channel (2) having inclined walls to direct the liquid (50) towards the bottom of the channel (2);
- the said heating element (3) being arranged at the said bottom of the said channel (2) so as to ensure contact between the liquid (50) and the said heating element (3).

2. A conversion device according to claim 1, **characterized in that** the said device comprises means for heating said inner shell (44), said inner shell (44) being made of a metallic material.

3. A conversion device according to claim 1 or 2, **characterized in that** the said part (1) corresponds to a stainless steel cylinder.

4. A conversion device according to one of claims 1 to 3, **characterized in that** the said inclination of each of the walls of said channel (2) forms with the horizontal (H) an angle of inclination (α) greater than or equal to 30° C.

5. A conversion device according to one of claims 1 to 4, **characterized in that** the said heating element (3) corresponds to an electric heating element or to a tube through which a heat-transfer fluid flows.

6. A conversion device according to one of claims 1 to 5, **characterized in that** the said heating element (3) is inserted in a groove (21) in the bottom of the said channel (2).

7. A conversion device according to one of claims 1 to 6, **characterized in that** the said heating element (3) has a

total minimum thermal output (P_{min}) determined according to the following relationship:

$$P_{min} = \dot{m} \cdot (Cp_1 \cdot (T_e - T_1) + L + Cp_2 \cdot (T_2 - T_e))$$

With:

- T_1 corresponding to the inlet temperature of the liquid (50) in the enclosure (4);
- T_2 corresponding to the desired steam state temperature (51);
- T_e corresponding to the boiling temperature of the liquid (50);
- $\dot{m}$ corresponding to the mass flow rate of the liquid (50);
- Cp_1 corresponding to the mean specific heat of the liquid (50) between the inlet temperature T_i and the boiling temperature T_e ;
- Cp_2 corresponding to the mean specific heat of the liquid (50) between the boiling temperature T_e and the desired temperature T_2 ; and L corresponding to the latent heat of vaporization of the liquid (50).

8. A conversion device according to one of claims 1 to 7, **characterized in that** the said heating element (3) has a total minimum thermal output (P) determined according to the following relationship:

$$P = 1.3 * \dot{m} \cdot (Cp_1 \cdot (T_e - T_1) + L + Cp_2 \cdot (T_2 - T_e))$$

With:

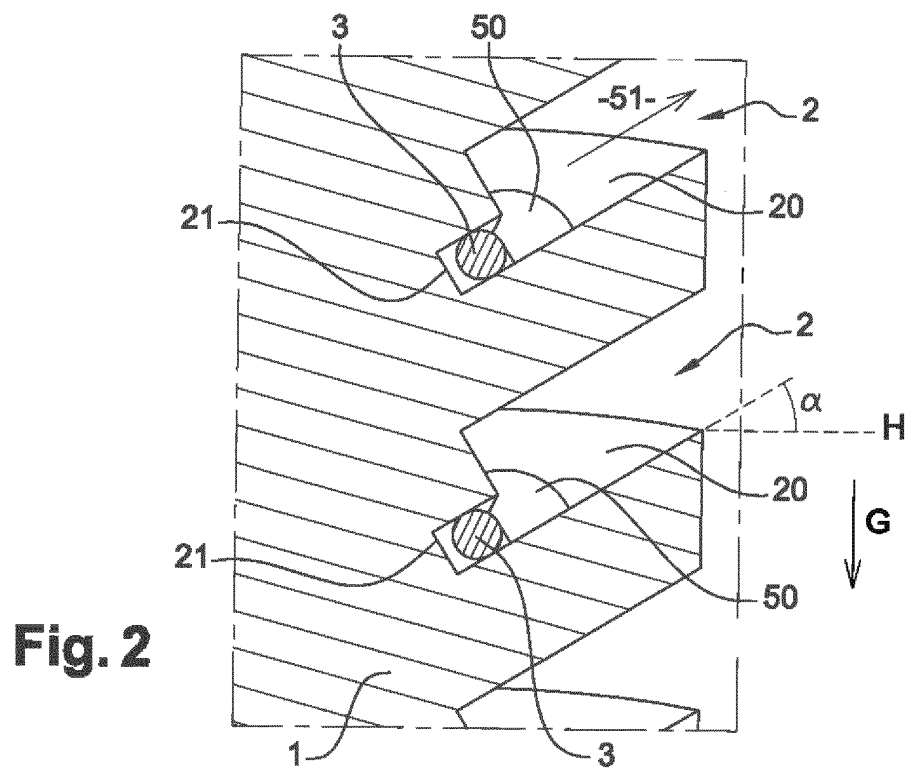
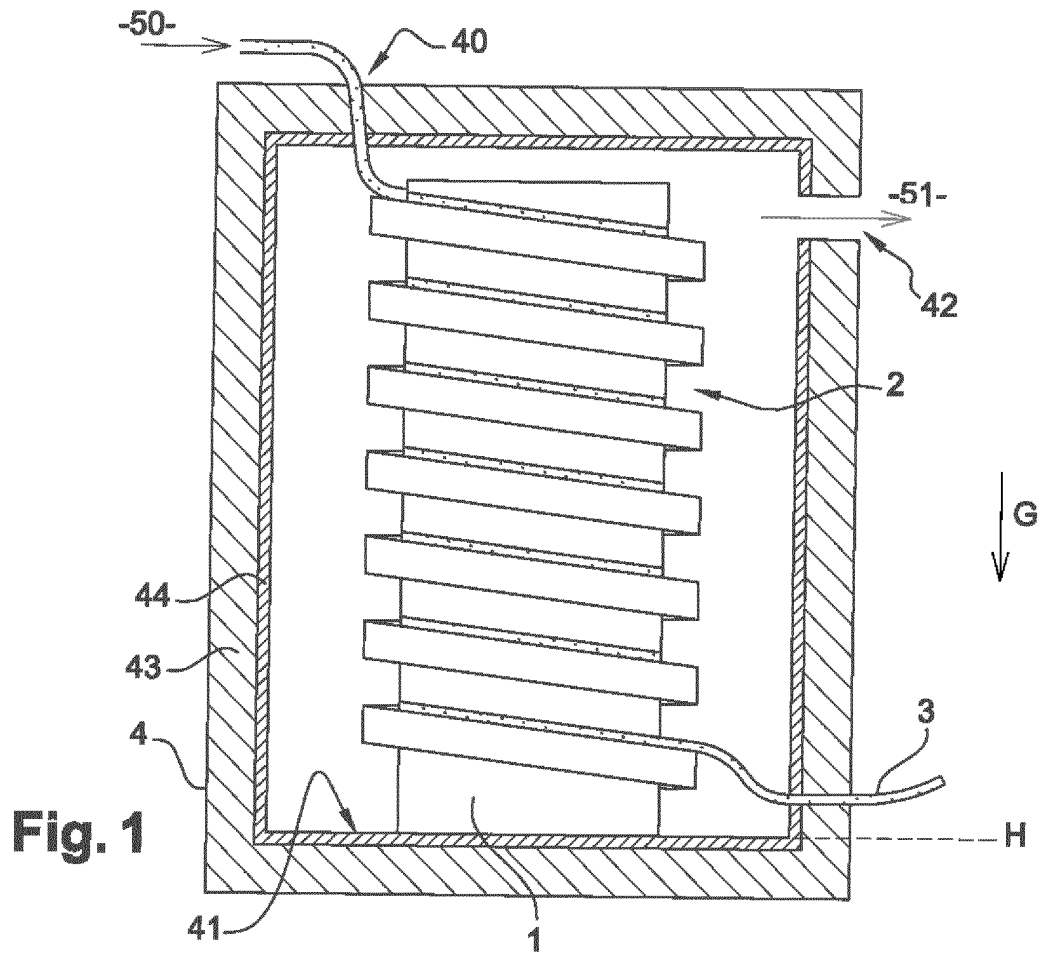
- T_1 corresponding to the inlet temperature of the liquid (50) in the enclosure (4);
- T_2 corresponding to the desired steam state temperature (51);
- T_e corresponding to the boiling temperature of the liquid (50);
- $\dot{m}$ corresponding to the mass flow rate of the liquid (50);
- Cp_1 corresponding to the mean specific heat of the liquid (50) between the inlet temperature T_i and the boiling temperature T_e ;
- Cp_2 corresponding to the mean specific heat of the liquid (50) between the boiling temperature T_e and the desired temperature T_2 ; and
- L corresponding to the latent heat of vaporization of the liquid (50).

9. Steam generator (51) comprising :

- a device for converting a liquid (50) into steam (51) according to one of claims 1 to 8;
- a liquid (50) flow regulator (6) connected to the liquid inlet (40) and configured to provide a liquid with a constant mass flow rate less than or equal to 10 kg/h; and
- a regulated power source (7) connected to said heating element (3) so as to regulate the total thermal power (P) of said heating element (3) as a function of the mass flow rate of said flow rate regulator (6).

10. A steam generator according to claim 9, **characterized in that** the said regulated power source (7) is regulated by a temperature measurement of said heating element (3).

11. A steam generator according to claim 9 or 10, **characterized in that** the said flow rate regulator (6) is configured to generate a mass flow rate of between 10 g/h and 10 kg/hour.



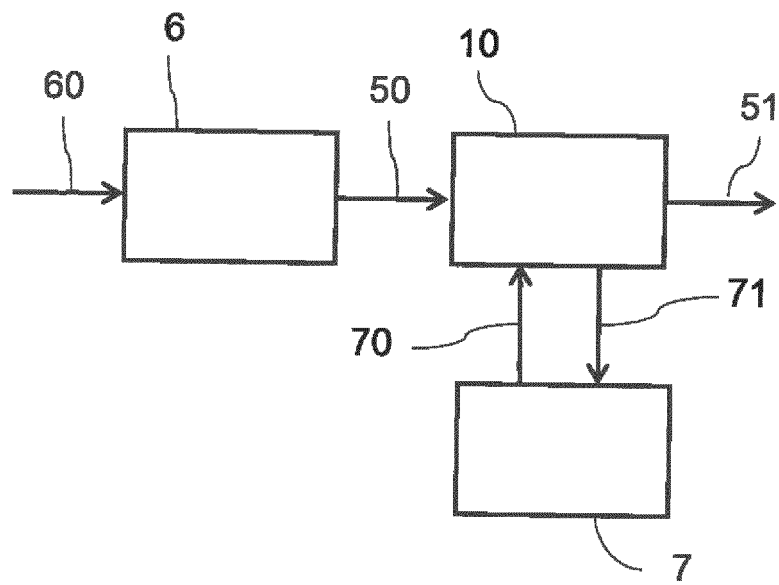


Fig. 3

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

- WO 9733479 A1 [0007]