



(11) **EP 3 438 422 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
13.12.2023 Bulletin 2023/50

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F01K 3/00 ^(2006.01) **F22D 5/26** ^(2006.01)
F22D 11/04 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **18187083.3**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
F01K 3/004; F22D 5/26; F22D 11/04

(22) Date de dépôt: **02.08.2018**

(54) **DISPOSITIF ET PROCÉDÉ DE RÉGULATION DE LA CHARGE FLUIDIQUE EN CIRCULATION
DANS UN SYSTÈME BASÉ SUR UN CYCLE DE RANKINE**

VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR REGULIERUNG DER SICH IM KREISLAUF
BEFINDENDEN FLUIDMENGE IN EINEM SYSTEM, DAS AUF EINEM RANKINE-ZYKLUS BASIERT
DEVICE AND METHOD FOR REGULATING THE FLUID LOAD CIRCULATING IN A SYSTEM BASED
ON A RANKINE CYCLE

(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: **02.08.2017 FR 1757413**

(43) Date de publication de la demande:
06.02.2019 Bulletin 2019/06

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

(72) Inventeurs:
• **LANDELLE, Arnaud
38100 GRENOBLE (FR)**
• **TAUVERON, Nicolas
38100 GRENOBLE (FR)**

(74) Mandataire: **Hautier IP
20, rue de la Liberté
06000 Nice (FR)**

(56) Documents cités:
EP-A1- 2 927 438 EP-A1- 3 098 399
DE-A1- 19 809 165 DE-U1- 29 617 824
US-A1- 2010 192 568 US-A1- 2012 037 243

EP 3 438 422 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 TECHNIQUE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne un système de production d'énergie électrique ou mécanique et un procédé de régulation de la charge fluide en circulation dans le circuit fluide d'un tel système.

[0002] Elle trouve pour application avantageuse les systèmes de production d'énergie de petite puissance, faisant appel à un cycle thermodynamique de Rankine. Elle s'appliquera par exemple à la production d'énergie à partir des rejets thermiques à basse température produits par des usines notamment dans l'industrie de la transformation (métallurgie, chimie, papeterie), par des moteurs thermiques de véhicules ou à partir de la chaleur issue de systèmes récupérant de l'énergie solaire ou issue de la biomasse.

[0003] La présente invention trouvera une application particulièrement pour le management thermique de systèmes embarqués, de petite puissance ou présentant de fortes variations de puissance dans le temps.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

[0004] Il existe de nombreuses solutions pour produire de l'électricité ou une énergie mécanique à partir d'une source de chaleur.

[0005] Parmi les solutions connues figurent les machines génératrices basées sur un cycle de Rankine. Les cycles de Rankine reposent tous sur des transformations comprenant successivement: le pompage d'un fluide de travail sous forme liquide, la création de vapeur et sa surchauffe éventuelle, la détente de la vapeur pour générer un mouvement et la condensation de la vapeur. Le fluide de travail peut être choisi parmi l'eau, le dioxyde de carbone, l'ammoniaque ou un fluide organique ou un mélange de ces composants. Dans le dernier cas, on parle de cycle organique de Rankine. La majorité des systèmes de production électrique thermique sont basés sur l'utilisation de tels cycles.

[0006] Une machine reposant sur un cycle de Rankine est, de manière connue, constituée de quatre organes principaux, à savoir :

- une pompe permettant la mise en circulation du fluide et la remontée de sa pression ;
- un échangeur chaud exploitant la source de chaleur disponible à valoriser ;
- un expanseur ou organe de détente transformant la variation d'enthalpie du fluide en énergie mécanique, puis en énergie électrique en présence d'une génératrice également désignée alternateur ;
- un échangeur froid permettant la condensation de la vapeur restante après détente.

[0007] C'est sur ce type de cycle thermodynamique que se base la majorité des centrales nucléaires, des

centrales thermiques à charbon, ou encore des centrales thermiques à fuel lourd, afin de produire des puissances élevées. Pour ces applications, les sources chaudes présentent une puissance et une température très élevées.

[0008] Les industries de transformation, par exemple la métallurgie, la chimie ou encore la papeterie, génèrent des rejets thermiques à basse température, c'est-à-dire des rejets thermiques dont la température est le plus souvent inférieure à 200°C, voire inférieure à 150°C. Les systèmes basés sur un cycle de Rankine permettraient théoriquement de produire de l'énergie électrique ou mécanique à partir de ces rejets thermiques. Cependant, les puissances qui pourraient être produites seraient alors relativement faibles, typiquement de l'ordre de quelques kilowatts à une centaine de kilowatts pour des rejets thermiques inférieurs au mégawatt, à cause du rendement thermodynamique faible.

[0009] À ces niveaux de températures et de puissances, il n'existe à ce jour aucune solution de valorisation réellement satisfaisante, en raison des investissements nécessaires et des rendements de conversion qui ne sont pas considérés comme suffisants.

[0010] Ces rejets thermiques à basse température sont alors en pratique peu exploités et valorisés. Il en est de même pour la chaleur produite par les moteurs thermiques de véhicules terrestres ou nautiques.

[0011] Afin de maximiser la puissance nette et le rendement d'une machine de Rankine, il est utile d'abaisser au maximum la pression de condensation. Cependant pour assurer le bon fonctionnement de l'organe de pompage, le fluide doit entrer dans la pompe dans un état de liquide sous-refroidi.

[0012] Le sous-refroidissement qui correspond à l'écart entre la température en entrée pompe et la température de saturation du fluide est appelé sous-refroidissement. Un trop grand sous-refroidissement indique qu'il y a trop de liquide dans le condenseur, ce qui conduit à une dégradation de la performance de la machine de Rankine par augmentation de la pression de condensation. À l'inverse, un sous-refroidissement insuffisant entraîne un risque de cavitation en entrée de pompe et donc une dégradation des performances de la machine de Rankine ainsi qu'une usure accélérée de la pompe..

[0013] La cavitation apparaît quand le liquide pompé se vaporise à basse pression. Cela se produit à cause d'une pression insuffisante à l'entrée de la pompe par rapport à la pression de saturation du fluide, en d'autres termes, quand il y a un NPSHa (Net positif Suction Head available), ou marge de cavitation, insuffisant. Quand la cavitation apparaît, des bulles de vapeur sont créées à basse pression. Pendant que le liquide s'écoule de l'aspiration de la pompe à sa sortie, les bulles implosent, ce qui crée des ondes de choc qui attaquent la pompe et provoquent des vibrations dans la pompe, une baisse des performances de celle-ci et des dégâts mécaniques pouvant conduire à l'usure prématurée voire la destruction complète de la pompe à différents niveaux

[0014] Or, la température en entrée de pompe est dé-

terminée et limitée par la source froide et les échanges thermiques au condenseur. La marge à la cavitation ou le sous-refroidissement sont donc directement liés à la pression de condensation.

[0015] Une solution est de réguler le sous-refroidissement en entrée de pompe ainsi que la pression de condensation par la gestion de la charge de fluide en circulation dans l'installation. Dans le document EP 2 933 444 A1, le circuit fermé fonctionnant selon un cycle de Rankine comprend un réservoir fermé contenant le fluide à l'état liquide piqué sur la conduite de pompe reliant le condenseur à la pompe. Le réservoir est relié à un dispositif de régulation de pression permettant la pressurisation du réservoir par un détendeur régulateur injectant un gaz type air ou azote et une dépressurisation du réservoir par une soupape pour évacuer une partie du fluide gazeux hors du réservoir. Le dispositif de régulation fait donc appel à un gaz extérieur et à une unité de commande recevant les informations de divers capteurs pour contrôler le détendeur et la soupape.

[0016] De cette manière, à chaque instant, le fluide en entrée de pompe dispose d'un niveau de sous-refroidissement suffisant avec l'absence de fluide en phase vapeur limitant ainsi les risques de cavitation.

[0017] Aussi le document EP 2 927 438 A1 montre un système similaire de production d'énergie électrique ou mécanique.

[0018] Ce type de dispositif nécessite encore des améliorations pour permettre notamment l'implantation dans des systèmes embarqués.

[0019] Il existe donc le besoin de pousser la simplification des dispositifs de production d'énergie électrique ou mécanique pour faciliter leur utilisation dans diverses applications.

RÉSUMÉ DE L'INVENTION

[0020] Pour atteindre cet objectif, un aspect de la présente invention concerne un système de production d'énergie électrique ou mécanique comme défini par la revendication indépendante 1 annexée. Ce système comprend, entre autres, un circuit fluide configuré pour recevoir un fluide de travail circulant et comprenant une pluralité d'organes destinés à être traversés par le fluide de travail et parmi lesquels :

- au moins un premier échangeur de chaleur configuré pour être couplé thermiquement à au moins une première source de chaleur, également dénommé évaporateur,
- un expanseur dont une entrée est fluidiquement raccordée à une sortie du premier échangeur,
- un deuxième échangeur de chaleur configuré pour être couplé thermiquement à une deuxième source de chaleur plus froide que la première source de chaleur, également dénommé condenseur,
- au moins une pompe configurée pour mettre en mouvement le fluide de travail dans le circuit fluide,

- au moins un réservoir, recevant avantageusement le fluide de travail, et agencé entre le deuxième échangeur et la pompe sur une conduite de piquage.

[0021] Le circuit fluide du système étant configuré de manière à ce que le fluide de travail passe successivement par au moins la pompe, le premier échangeur, l'expanseur et le deuxième échangeur, puis à nouveau la pompe. Le système comprend un dispositif de régulation de la charge fluide en circulation dans le circuit fluide comprenant des éléments d'apport d'énergie thermique dans le réservoir, destinés à augmenter la pression du réservoir et injecter du fluide de travail du réservoir dans le circuit fluide, et des éléments de retrait d'énergie du réservoir, destinés à diminuer la pression du réservoir et aspirer du fluide de travail hors du circuit fluide vers le réservoir. Le dispositif de régulation est configuré pour fonctionner en circuit fermé avec le circuit fluide et pour maintenir des conditions de saturation dans le réservoir de sorte que le réservoir contienne le fluide de travail simultanément à l'état liquide et à l'état gazeux.

[0022] Le dispositif de régulation de la charge fluide permet par un apport d'énergie dans le réservoir de dilater le fluide de travail (phase liquide et vapeur) présent dans le réservoir ce qui a pour conséquence de pressuriser ce dernier et injecter une fraction du fluide présent dans le réservoir dans le circuit fluide. À l'inverse, une diminution de l'énergie du réservoir tend à augmenter la densité moyenne dans le réservoir, diminuer sa pression et aspirer une fraction du fluide en circulation dans le circuit fluide.

[0023] Le système selon l'invention permet de ne pas avoir recours à une source de gaz externe pour contrôler la pression dans le réservoir. Seul le fluide de travail est utilisé limitant ainsi les risques de contamination du fluide de travail. La compacité du système est améliorée en limitant les composants nécessaires, le système n'a pas besoin de compresseur ou de bouteille sous pression. Le coût d'implantation et de maintenance est également diminué.

[0024] Avantageusement, le réservoir est raccordé directement, en continu, par la conduite de piquage sur le circuit fluide. Selon une possibilité non couverte par les revendications, le réservoir ne comprend pas d'élément mécanique, notamment agencé sur la conduite de piquage, contrôlant l'injection ou l'aspiration du fluide de travail dans le circuit fluide.

[0025] Le système selon l'invention présente ainsi une faible consommation énergétique et une simplicité de fonctionnement augmentée.

[0026] Avantageusement, le système selon l'invention comprend comme éléments d'apport d'énergie thermique au moins une canne chauffante plongeant dans le réservoir, ou un couplage partiel avec la première source de chaleur, ou un module d'injection, dans le réservoir, de fluide de travail prélevé à la sortie du premier échangeur.

[0027] Avantageusement, le système selon l'invention comprend comme éléments de retrait d'énergie un module d'éjection du fluide à l'état gazeux, hors du réservoir, en direction de l'entrée du deuxième échangeur ou un module d'injection, dans le réservoir, de fluide de travail prélevé à la sortie de la pompe, ou un couplage partiel avec la deuxième source de chaleur.

[0028] En plus, le système selon l'invention comporte un module d'autorégulation de la charge fluide en circulation dans un circuit fluide d'un système de production d'énergie électrique ou mécanique fonctionnant suivant un cycle de Rankine. Le module d'autorégulation est configuré pour réguler la pression d'un réservoir piqué sur le circuit fluide et recevant le fluide de travail. Le module d'autorégulation, avec les détails spécifiés dans la revendication indépendante 1, est à fonctionnement mécanique, destiné à réguler la pressurisation et la dépressurisation du réservoir. Le module d'autorégulation permet de gérer automatiquement et préférentiellement de manière mécanique uniquement, la pressurisation et la dépressurisation du réservoir c'est-à-dire l'injection ou le retrait de fluide de travail dans le circuit fluide.

[0029] La présente invention permet donc un contrôle du sous-refroidissement et limite les risques de cavitation par un système en circuit fermé, c'est-à-dire ne nécessitant pas de fluide extérieur et avantageusement autorégulé par un fonctionnement uniquement mécanique simplifiant le système et son fonctionnement.

[0030] Le système est ainsi efficace et facilement transposable dans des systèmes embarqués.

[0031] Un autre aspect de la présente invention concerne un procédé de régulation de la charge fluide en circulation, défini par la revendication indépendante 15 annexée, dans le circuit fluide d'un système de production d'énergie selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 annexées, comprenant, entre autres, les étapes suivantes :

- une étape de montée en pression du fluide de travail au travers de la pompe,
- une étape de chauffage du fluide de travail au travers du premier échangeur de chaleur,
- une étape de détente du fluide de travail issu du premier échangeur au travers de l'expansor,
- une étape de refroidissement du fluide de travail au travers du deuxième échangeur de chaleur,

où il comprend une étape de maintien de conditions saturantes dans le réservoir pour maintenir le fluide de travail simultanément sous deux états gazeux et liquide dans le réservoir par une étape d'apport d'énergie thermique dans le réservoir comprenant l'augmentation de la pression dans le réservoir et l'ajout de fluide de travail dans le circuit fluide par injection depuis le réservoir, ou alternativement une étape de retrait d'énergie hors du réservoir comprenant la diminution de la pression dans le réservoir et le retrait de fluide de travail du circuit

fluide par aspiration vers le réservoir. Le procédé de l'invention comprend en plus les autres étapes comprises dans la revendication indépendante 15 annexée.

[0032] De manière particulièrement avantageuse, l'invention permet de rentabiliser l'utilisation de rejets thermiques à basse température, tout en nécessitant peu de moyens énergétiques. En outre, la présente invention propose un système simplifié, peu coûteux, de faible consommation énergétique, tout en présentant un rendement énergétique amélioré sans toutefois surcharger la pompe ni augmenter le coût et la complexité du système.

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0033] Les buts, objets, ainsi que les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description détaillée d'un mode de réalisation de cette dernière qui est illustré par les dessins d'accompagnement suivants dans lesquels :

La FIGURE 1 illustre un système sur lequel l'invention peut être basée, fonctionnant suivant un cycle de Rankine.

Les FIGURES 2 à 4 sont des schémas illustrant le réservoir. La FIGURE 2 correspond à une situation à l'équilibre, la FIGURE 3 correspond à l'injection de fluide de travail dans le circuit fluide,

La FIGURE 4 correspond à l'aspiration de fluide de travail du circuit fluide vers le réservoir.

Les FIGURES 5 à 10 illustrent différents modes de réalisations du dispositif de régulation de la charge fluide en circulation dans le circuit fluide. Les FIGURES 5 à 7 correspondent à des modes de réalisation d'éléments d'apport d'énergie thermique dans le réservoir tandis que les FIGURES 8 à 10 correspondent à des modes de réalisation d'éléments de retrait d'énergie du réservoir.

Les FIGURES 11 et 12 illustrent une partie du système selon un mode de réalisation intégrant un module d'autorégulation. La FIGURE 11 correspond à un premier mode de réalisation, la FIGURE 12 correspond à un deuxième mode de réalisation.

La FIGURE 13 est une vue en coupe d'un boîtier du module d'autorégulation comprenant une soupape et un détendeur.

La FIGURE 14 représente les différents cas d'autorégulation de la charge fluide en circulation dans le circuit fluide.

[0034] Les figures 1 à 13 montrent des parties isolées qui contribuent à l'invention seulement dans l'ensemble des caractéristiques définies par la revendication indépendante 1 annexée.

[0035] La figure 14 montre des étapes d'un procédé qui contribue à l'invention seulement dans l'ensemble des étapes définies par la revendication indépendante 15 annexée.

[0036] Les dessins sont donnés à titre d'exemple et ne

sont pas nécessairement limitatifs de l'invention. Ils constituent des représentations schématiques de principe destinées à faciliter la compréhension de l'invention et ne sont pas nécessairement à l'échelle des applications pratiques. L'invention n'est définie que par les revendications indépendantes 1, 15 annexées et leurs revendications dépendantes.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE L'INVENTION

[0037] Avant d'entamer une revue détaillée de modes de réalisation de l'invention, sont énoncées ci-après des caractéristiques optionnelles qui peuvent éventuellement être utilisées en association ou alternativement, où chaque réalisation selon l'invention comporte au moins l'ensemble des caractéristiques d'une des revendications indépendantes annexées :

- Suivant un mode de réalisation non couvert par les revendications, le réservoir 105 est directement raccordé fluidiquement à la conduite de piquage 114 qui est elle-même directement fluidiquement raccordée au circuit fluidique entre le deuxième échangeur 102 et la pompe 104.
- Suivant un mode de réalisation non couvert par les revendications, le système ne comprend pas d'élément de régulation entre le réservoir 105 et le circuit fluidique.
- Suivant un mode de réalisation, le fluide de travail est un fluide organique.
- Suivant un mode de réalisation, le fluide de travail est un fluide inorganique.
- Suivant un mode de réalisation, le dispositif de régulation ne comprend pas de fluide autre que le fluide de travail. Le dispositif de régulation ne fait appel qu'au fluide de travail présent dans le circuit fluidique et dans le réservoir 105.
- Suivant un mode de réalisation, les éléments d'apport d'énergie thermique comprennent au moins une canne chauffante 5 plongeant dans le réservoir 105. La présence de canne de chauffage 5 est une solution qui, malgré une forte consommation d'énergie, permet une bonne régulation et un faible coût d'installation.
- Suivant un mode de réalisation, les éléments d'apport d'énergie thermique comprennent un module d'injection, dans le réservoir 105, de fluide de travail prélevé à la sortie 11 du premier échangeur 101. Le fluide de travail prélevé à la sortie 11 du premier échangeur 101, qui est avantageusement un évaporateur, est à haute température et haute pression. Son injection dans le réservoir 105 augmente la pression du réservoir Pr et pousse le fluide de travail stocké dans le réservoir 105 vers le circuit fluidique. Cette solution a l'avantage d'une grande simplicité sans risque de contamination par un autre fluide et une faible consommation énergétique.
- Suivant un mode de réalisation, les éléments d'ap-

port d'énergie thermique comprennent un couplage, au moins partiel, du réservoir 105 avec la première source de chaleur 1.

La première source de chaleur 1 permet de réchauffer le fluide de travail contenu dans le réservoir 105 augmentant ainsi la pression du réservoir Pr et pousse le fluide de travail stocké dans le réservoir 105 vers le circuit fluidique.

◦ Suivant un mode de réalisation, les éléments de retrait d'énergie comprennent un module d'éjection, hors du réservoir 105, du fluide de travail à l'état gazeux 4 en direction de l'entrée 21 du deuxième échangeur 102.

Le fluide de travail à l'état gazeux 4 est éjecté dans le circuit fluidique au niveau de l'entrée 21 du deuxième échangeur 102, qui est avantageusement un condenseur. L'évacuation du fluide à l'état gazeux 4 du réservoir 105 diminue la pression du réservoir Pr et aspire le fluide de travail du circuit fluidique vers le réservoir 105.

Avantageusement, le deuxième échangeur 102 est agencé à une hauteur supérieure du réservoir 105 de sorte que le déplacement de fluide gazeux ne se fasse qu'en direction du deuxième échangeur 102 par différence de pression hydrostatique. Cette solution présente un fort potentiel de refroidissement.

◦ Suivant un mode de réalisation, les éléments de retrait d'énergie comprennent un module d'injection, dans le réservoir 105, de fluide de travail prélevé à la sortie 42 de la pompe 104.

Le fluide de travail prélevé à la sortie 42 de la pompe 104, c'est-à-dire après la sortie 22 du deuxième échangeur 102, qui est avantageusement un condenseur, est à basse température et basse pression. Son injection dans le réservoir 105 diminue la pression du réservoir et aspire le fluide de travail du circuit fluidique vers le réservoir 105.

◦ Suivant un mode de réalisation, les éléments de retrait d'énergie comprennent un couplage au moins partiel du réservoir 105 avec la deuxième source de chaleur 2.

La deuxième source de chaleur 2 permet de refroidir le fluide de travail contenu dans le réservoir 105 diminuant ainsi la pression du réservoir Pr et aspirant le fluide de travail du circuit fluidique vers le réservoir 105.

◦ Suivant un mode de réalisation, les éléments d'apport d'énergie thermique comprennent un module d'injection, dans le réservoir 105, de fluide de travail prélevé à la sortie 12 du premier échangeur 101 et les éléments de retrait d'énergie comprennent un module d'éjection du fluide à l'état gazeux 4, hors du réservoir 105, en direction de l'entrée du deuxième échangeur 21 ou un module d'injection, dans le réservoir 105, de fluide de travail prélevé à la sortie de la pompe 104.

◦ Le système comprend un module d'autorégulation 200 à fonctionnement mécanique destiné à réguler

la pressurisation et la dépressurisation du réservoir 105.

Le système régule automatiquement la pression dans le réservoir 105 de sorte à réguler la charge fluide du circuit. Ces régulations se font de manière mécanique, c'est-à-dire que le module d'auto-régulation 200 ne comprend que des éléments mécaniques.

◦ Suivant un mode de réalisation, le module d'auto-régulation 200 comprend un détendeur 201 compensé couplé à une soupape 203 compensée.

◦ Le module d'auto-régulation 200 comprend un boîtier 205 recevant un détendeur 201 associé à un ressort de détendeur 202 et une soupape 203 associée à un ressort de soupape 204.

Ce module d'auto-régulation 200 est un élément avantageusement unitaire, monobloc, avec une compacité permettant son intégration dans de nombreuses installations et notamment dans les systèmes embarqués.

◦ Suivant un mode de réalisation, le boîtier 205 comprend une première ouverture 206 en liaison fluide avec le réservoir 105 de sorte à être soumise à la pression du réservoir Pr.

La première ouverture 206 est en communication fluide avec le réservoir 105, raccordée directement c'est-à-dire sans élément autre qu'une conduite.

◦ Suivant un mode de réalisation, le boîtier 205 comprend une deuxième ouverture 207 en liaison fluide avec un module de production de pression de contrôle de sorte à être soumise à une pression contrôlée Pc.

La deuxième ouverture 207 est en communication fluide avec un module gérant une pression contrôlée, avantageusement raccordée directement c'est-à-dire sans élément autre qu'une conduite.

◦ Suivant un mode de réalisation, le boîtier 205 comprend une troisième ouverture 208 d'injection de fluide de travail, dans le réservoir 105, en provenance de la sortie 12 du premier échangeur 101.

La troisième ouverture 208 est en communication fluide avec la sortie 12 du premier échangeur 101, avantageusement raccordée directement c'est-à-dire sans élément autre qu'une conduite.

◦ Suivant un mode de réalisation, le boîtier 205 comprend une quatrième ouverture 209 d'injection, dans le réservoir 105, de fluide de travail en provenance de la sortie 42 de la pompe 104 ou d'éjection de fluide de travail à l'état gazeux 4, hors du réservoir 105, vers l'entrée 21 du deuxième échangeur 102.

La quatrième ouverture 208 est en communication fluide avec la sortie 42 de la pompe 104 ou l'entrée 21 du deuxième échangeur 102, avantageusement directe c'est-à-dire sans élément autre qu'une conduite.

◦ Suivant un mode de réalisation, la pression de contrôle Pc est égale à la pression de saturation du fluide

en entrée 41 de pompe 104,

avantageusement pendant l'opération, le fonctionnement, du système.

◦ Suivant un mode de réalisation, le ressort de soupape 204 présente une raideur Ks supérieure à celle Kd du ressort de détendeur 202.

◦ Suivant un mode de réalisation, le module d'auto-régulation 200 est configuré pour être à l'équilibre, avec le détendeur 201 fermé et la soupape 203 fermée, lorsque la pression du réservoir Pr est à la fois supérieure à la somme de la pression de contrôle Pc et de la raideur Kd du ressort du détendeur 202 et inférieure à la somme de la pression de contrôle Pc et de la raideur Ks du ressort de la soupape 204. De cette manière, la cavitation en entrée de pompe est quasi nulle et le sous-refroidissement non excessif.

◦ Suivant un mode de réalisation, le module d'auto-régulation 200 est configuré pour que l'ouverture de la soupape 203 mette en connexion fluide le réservoir 105 et l'entrée 21 du deuxième échangeur 102 ou la sortie 42 de la pompe 104 par la quatrième ouverture 209.

◦ Suivant un mode de réalisation, le module d'auto-régulation 200 est configuré pour que l'ouverture du détendeur 201 mette en connexion fluide le réservoir 105 et la sortie 12 du premier échangeur 101 par la troisième ouverture 208.

◦ Suivant un mode de réalisation, le module de production de pression de contrôle comprend un ballon 210 rempli de fluide de travail connecté fluidiquement à la deuxième ouverture 207 du boîtier 205, le ballon 210 étant agencé pour plonger dans le fluide de travail du circuit fluide en sortie 22 du deuxième échangeur 102 de sorte que la température du fluide contenu dans le ballon 210 soit identique à celle du fluide de travail du circuit fluide en entrée 41 de pompe 104. De cette manière, la pression du fluide contenu dans le ballon 210, à saturation, est identique à la pression de saturation du fluide de travail du circuit fluide en entrée 41 de pompe 104.

◦ Suivant un mode de réalisation, le module de production de pression de contrôle comprend une source de gaz à pression régulée en connexion fluide avec la deuxième ouverture 207 du boîtier 205, des capteurs de pression et/ou de température entrée 41 de pompe 104 et des moyens de régulations de la pression de la source de gaz de sorte à définir une pression de contrôle Pc.

◦ Suivant un mode de réalisation, le procédé est tel qu'il comprend lorsque la pression du réservoir Pr est supérieure à la somme de la pression de contrôle Pc et de la raideur Ks du ressort de la soupape 204, l'ouverture de la soupape 203 mettant en connexion fluide le réservoir 105 et l'entrée 21 du deuxième échangeur 102 ou la sortie 42 de la pompe 104 par la quatrième ouverture 209 de sorte à diminuer la pression du réservoir Pr et retirer par aspiration vers

le réservoir 105, du fluide de travail du circuit fluide.

◦ Suivant un mode de réalisation, le procédé est tel qu'il comprend lorsque la pression du réservoir Pr est inférieure à la pression de contrôle Pc additionnée à la raideur Kd du ressort du détendeur 202, l'ouverture du détendeur mettant en connexion fluide le réservoir 105 et la sortie 12 du premier échangeur 101 par la troisième ouverture 208 de sorte à augmenter la pression du réservoir Pr, et ajouter par injection depuis le réservoir 105 du fluide de travail dans le circuit fluide.

◦ La sortie 42 de pompe 104 est directement raccordée à l'entrée 11 du premier échangeur 101.

◦ La sortie 12 du premier échangeur 101 est directement raccordée à l'entrée 31 de l'expandeur 103.

◦ La sortie 32 de l'expandeur 103 est directement raccordée à l'entrée 21 du deuxième échangeur 102.

◦ La sortie 22 du deuxième échangeur 102 est directement raccordée à la pompe 104.

◦ Le réservoir 105 est directement raccordé au circuit fluide entre la sortie 22 du deuxième échangeur 102 et l'entrée 41 de pompe 104.

◦ Le circuit fluide est hermétique, préférentiellement le système est hermétique. Ceci permet avantageusement de limiter les risques pour l'environnement et pour l'homme lorsqu'ils sont toxiques.

[0038] L'invention permet également de minimiser la charge nécessaire par le confinement du fluide de travail. Or, le fluide de travail peut représenter jusqu'à plus de 20% du coût total d'une machine de Rankine. L'invention minimise ainsi le coût en capital et en fonctionnement d'un tel système.

[0039] Un intérêt de l'invention est de pouvoir contrôler la charge du fluide et donc le sous-refroidissement, afin que celui-ci ne soit ni trop petit (risque de cavitation) ni trop grand (dégradation des performances globales du cycle)

[0040] L'invention propose ainsi une solution efficace pour valoriser les rejets thermiques présentant des températures relativement basses.

- Selon un mode de réalisation avantageux, mais non limitatif, le fluide de travail est un fluide organique. Ce type de fluide permet d'atteindre un régime supercritique, régime pour autant non limitatif de l'invention, même à des températures relativement basses en sortie d'échangeur chaud. On entend par fluide organique, un fluide composé de molécules ou d'un mélange de molécules constituées d'atomes de carbone, d'hydrogène et éventuellement d'autres atomes tels que par exemple l'oxygène, le fluor, l'azote, le chlore, le brome.
- Dans un autre mode de réalisation, le fluide de travail n'est pas un fluide organique.
- Selon un mode de réalisation, le premier échangeur est configuré pour amener à sa sortie le fluide de

travail à une température inférieure à 200°C et de préférence inférieure à 150°C.

- Selon un mode de réalisation, le circuit est configuré de manière à ce que la température du fluide de travail en sortie 12 du premier échangeur 101 soit comprise entre la température ambiante et 200°C et de préférence entre la température ambiante et 150°C.
- Selon un mode de réalisation, le système comprend la source chaude 1. La source chaude 1 et le premier échangeur 101 sont configurés pour fournir à la sortie du premier échangeur une température pour le fluide de travail inférieure à 200°C et de préférence inférieure à 150°C. Selon un mode de réalisation, le fluide de travail est frigorigène et choisi parmi le R410a, le R134a, le R227ea, ou le R245fa. Ces fluides permettent d'atteindre un régime supercritique avec des sources chaudes aux températures inférieures à 200°C. Ils sont donc particulièrement avantageux pour produire de l'énergie à partir de rejets thermiques d'usines ou de moteurs thermiques.
- Selon un mode de réalisation, le deuxième échangeur 102 est configuré pour amener à sa sortie 22 le fluide de travail à une température comprise entre la température ambiante et 150°C, la température du fluide de travail en sortie 22 du deuxième échangeur 102 étant inférieure à la température du fluide de travail en sortie 12 du premier échangeur 101.
- Selon un mode de réalisation, le système comprend la première source de chaleur 1, la première source de chaleur 1 étant couplée thermiquement avec un circuit de rejet thermique d'une usine ou d'un moteur.
- Selon un mode de réalisation, le premier échangeur 101 de chaleur est configuré de sorte à chauffer le fluide de travail ; l'expandeur 103 est configuré de sorte à diminuer la pression du fluide de travail et le deuxième échangeur 102 de chaleur est configuré de sorte à refroidir le fluide de travail. La pompe 104 est configurée de sorte à augmenter la pression du fluide de travail.
- Selon un mode de réalisation, le système comprend un dispositif de conversion d'énergie configuré pour convertir un mouvement mécanique produit par l'expandeur 103 en une énergie électrique ou mécanique et configuré de manière à ce que la puissance fournie par le dispositif de conversion d'énergie soit inférieure à 100 kW.
- Selon un mode de réalisation, l'expandeur 103 est une turbine, de préférence cinétique.
- Selon un mode de réalisation, l'expandeur 103 est une machine volumétrique.
- Selon un mode de réalisation, l'expandeur 103 est une machine volumétrique, du type suivant : un compresseur volumétrique fonctionnant en expandeur.
- Selon un mode de réalisation, l'expandeur 103 est une machine hermétique ; ladite machine comprenant l'expandeur, un arbre et l'alternateur ; l'expandeur étant raccordé à l'arbre et l'arbre étant raccordé à l'alternateur.

[0041] Pour la suite de la description, on entend par 'haut' et 'bas', ou leurs dérivés, une qualité de positionnement relatif d'un élément du système selon l'invention lorsque celui-ci est installé de façon fonctionnelle, le 'haut' étant orienté à l'opposé du sol et le 'bas' étant orienté vers le sol. L'extrémité supérieure se situe en haut et l'extrémité inférieure se situe en bas.

[0042] L'amont et l'aval en un point donné sont pris en référence au sens de circulation du fluide dans le circuit.

[0043] Dans la présente description, l'expression « A fluidiquement raccordée à B » ne signifie pas nécessairement qu'il n'existe pas d'organe entre A et B.

[0044] La **figure 1** illustre un exemple de système sur lequel a présente invention, définie par la revendication indépendante 1 annexée, peut être basée. Ce système est particulièrement avantageux pour une production électrique de petite puissance (par exemple de quelques kilowatts à une centaine de kilowatts). Il est configuré de manière à mettre en oeuvre un cycle thermodynamique de Rankine. Il comprend des composants couramment utilisés :

- Un fluide de travail. Ce fluide de travail est avantageusement frigorigène. Le fluide de travail est de préférence organique ce qui permet éventuellement d'atteindre un régime supercritique (également désigné supercritique) tout en conservant des niveaux de pression et de température relativement limités. Le fluide de travail est de préférence choisi parmi le R410a, le R134a, le R227a, le R245fa. On entend par fluide supercritique, un fluide ayant atteint un régime supercritique.
- Un premier échangeur. 101 Ce premier échangeur 101 est thermiquement couplé à une première source de chaleur 1, dénommée source chaude, par exemple chauffée par les rejets thermiques. De préférence, il permet au fluide d'atteindre un régime supercritique. Le premier échangeur peut ainsi être qualifié d'évaporateur en cas de fonctionnement en régime sous-critique. Le fluide de travail entre par l'entrée 11 dans le premier échangeur 101 à l'état liquide comprimé et ressort à la sortie 12 du premier échangeur 101 à l'état de vapeur comprimée. La température critique du fluide de travail est, par exemple de l'ordre de 70°C, pour un fluide de travail de type gaz réfrigérant R410a. Le R410a est l'un des fluides frigorigènes les plus fréquemment utilisés pour faire fonctionner une pompe à chaleur. Le R410a présente l'avantage de ne pas être nocif pour la couche d'ozone, tout en présentant un bon rendement énergétique. Il a notamment une capacité de compression et une puissance frigorifique plus élevées que beaucoup d'autres fluides frigorigènes. Il augmente donc non seulement les possibilités de chauffage (même à basse température), mais également de refroidissement. La température critique est, par exemple, de l'ordre de : 101 °C pour le fluide R134a, 103°C pour le fluide R227a et 154°C pour le

fluide R245fa.

- Un expanseur 103 tel que par exemple un compresseur volumétrique. Cet expanseur 103 permet de détendre le fluide et de produire une énergie mécanique à partir de cette détente. Le fluide entre par une entrée 31 de l'expanseur 103 sous forme de vapeur comprimée haute pression et ressort à la sortie 32 de l'expanseur 103 sous forme de vapeur détendue basse pression. Dans un mode de réalisation, cette énergie est récupérée sur un arbre tournant. Cette énergie mécanique peut ensuite être récupérée sous forme électrique au niveau d'un alternateur situé sur ledit arbre tournant. L'expanseur 103 est avantageusement dérivé d'un compresseur volumétrique conventionnel de l'industrie frigorifique.
- un deuxième échangeur de chaleur 102 thermiquement couplé à une deuxième source de chaleur 2, plus froide que la première source de chaleur 1 et permettant de refroidir le fluide de travail. Lors de ce refroidissement, la température de saturation est atteinte. Le refroidissement s'accompagne dès lors du phénomène de condensation. Le fluide pénètre dans le deuxième échangeur 102 par l'entrée 21 à l'état de vapeur détendue basse pression et ressort à la sortie 22 à l'état liquide.
- une pompe. De préférence, elle permet au fluide de travail d'être comprimé. Le fluide de travail pénètre au niveau de l'entrée 41 de pompe 104 à l'état liquide et ressort à la sortie 42 à l'état liquide comprimée haute pression.

[0045] La sortie 42 de la pompe 104 est en communication fluidique avec le l'entrée 11 du premier échangeur 101, avantageusement par une conduite de premier échangeur 110. La sortie 12 du premier échangeur 101 est en communication fluidique avec l'entrée 31 de l'expanseur 103, avantageusement par une conduite d'expanseur 111. La sortie 32 de l'expanseur 103 est en communication fluidique avec l'entrée 21 du deuxième échangeur 102, avantageusement par une conduite de deuxième échangeur 112. La sortie 22 du deuxième échangeur 102 est en communication fluidique avec l'entrée 41 de pompe 104, avantageusement par une conduite de pompe 113.

[0046] Le circuit fluidique est un circuit fermé.

[0047] De manière caractéristique, le système selon l'invention comprend un réservoir 105 configuré pour recevoir et stocker le fluide de travail. Le réservoir 105 est agencé entre le deuxième échangeur 102 et la pompe 104, plus précisément entre la sortie 22 du deuxième échangeur 102 et l'entrée 41 de pompe 104. Le réservoir 105 est connecté au circuit fluidique par une conduite de piquage 114. Le réservoir 105 est dit hors-ligne.

[0048] Le réservoir 105 est raccordé directement par la conduite de piquage 114 au circuit fluidique. Le réservoir 105 est dit connecté en continu au circuit fluidique. La conduite de piquage 114 ne comprend pas d'organe

type pompe ou vanne.

[0049] Le réservoir 105 reçoit le fluide de travail simultanément sous deux états, liquide 3 et gazeux 4. Le réservoir est soumis à des conditions de saturation du fluide de travail permettant au fluide d'être simultanément à l'état liquide 3 et à l'état gazeux 4 dans le réservoir 105. Le fluide à l'état liquide 3 se situe en partie basse du réservoir 105 tandis que le fluide à l'état gazeux 4 se situe en partie haute du réservoir 105.

[0050] L'agencement du réservoir 105 est configuré pour que la pression du réservoir Pr soit uniforme avec la pression en entrée 41 de pompe 104. De ce fait, le réservoir 105 et notamment la conduite de piquage 114 est agencée à proximité immédiate et suffisante de l'entrée de la pompe 104. La conduite de piquage 114 est préférentiellement de longueur réduite et horizontale. On entend à proximité immédiate par exemple : à moins un mètre, de préférence à moins de 0.5 mètre, voire moins de 0.2 mètre ; cette proximité du réservoir 105 et de l'entrée 41 de pompe 104 permet également un rétablissement rapide de la pression en entrée 41 de pompe 104 pour limiter les risques de cavitation.

[0051] Selon l'invention, le système comprend un dispositif de régulation de la charge fluidique en circulation dans le circuit fluidique. Ce dispositif de régulation est configuré pour fonctionner en circuit fermé avec le circuit fluidique. En plus un dispositif d'autorégulation ne fait appel qu'au fluide de travail présent dans le circuit fluidique et dans le réservoir 105. Le dispositif de régulation est configuré pour maintenir des conditions de saturation dans le réservoir 105.

[0052] Le dispositif de régulation est configuré pour qu'en entrée 41 de pompe 104 la température du fluide de travail soit égale à la température de saturation du fluide moins la différence de température de sous-refroidissement. De même, la pression en entrée 41 de pompe 104 est uniforme avec la pression du réservoir 105.

[0053] Le dispositif de régulation comprend des éléments d'apport d'énergie thermique dans le réservoir 105 destinés à augmenter la pression du réservoir et injecter le fluide de travail du réservoir 105 vers le circuit fluidique. Les éléments d'apport d'énergie augmentent l'enthalpie du réservoir, la température du fluide dans le réservoir 105 ainsi que la pression augmente tandis que la densité diminue ce qui induit le déplacement du fluide de travail du réservoir 105 vers le circuit fluidique et plus précisément la conduite de pompe 113. Le déplacement se fait de manière passive c'est-à-dire sans action d'organe mécanique au niveau de la conduite de piquage 114. Le fluide de travail injecté dans le circuit fluidique est à l'état liquide.

[0054] Les éléments d'apport d'énergie peuvent être divers tels qu'illustrés aux figures 5 à 7.

[0055] Suivant un premier mode de réalisation illustré à la figure 5, ils comprennent une ou deux ou plusieurs cannes chauffantes 5 plongeant dans le réservoir 105. Les cannes chauffantes 5 chauffent le fluide de travail augmentant ainsi sa température.

[0056] Suivant un deuxième mode de réalisation illustré à la figure 6, ils comprennent un module d'injection de fluide de travail, dans le réservoir 105, prélevé à la sortie 12 du premier échangeur 101. Le module d'injection comprend une conduite 116 d'injection de fluide de travail raccordée fluidiquement à une première extrémité à la sortie 12 du premier échangeur 101 et à une deuxième extrémité au réservoir 105. Le fluide de travail prélevé et injecté dans le réservoir 105 est à l'état de vapeur comprimée haute pression. Préférentiellement, le module comprend un injecteur 6 et/ou une vanne, ou tout autre moyen de contrôle d'injection, destiné à contrôler l'injection de fluide de travail.

[0057] Suivant un troisième mode de réalisation illustré à la figure 7, ils comprennent un couplage 7 au moins partiel de la première source de chaleur 1 permettant ainsi d'augmenter l'enthalpie du fluide dans le réservoir 105.

[0058] Le dispositif de régulation comprend des éléments de retrait d'énergie préférentiellement thermique du réservoir 105 destinés à diminuer la pression du réservoir et aspirer le fluide de travail du circuit fluidique vers le réservoir. Les éléments de retrait d'énergie diminuent l'enthalpie du réservoir 105, la température du fluide dans le réservoir 105 ainsi que la pression diminue tandis que la densité augmente ce qui induit le déplacement du fluide de travail du circuit fluidique et plus précisément la conduite de pompe 113 vers le réservoir 105. Le retrait du fluide de travail du circuit fluidique se fait de manière passive par aspiration sans action d'organe mécanique au niveau de la conduite de piquage 114. Le fluide de travail aspiré depuis le circuit fluidique est à l'état liquide.

[0059] Les éléments de retrait d'énergie peuvent être divers tels qu'illustrés aux figures 8 à 10.

[0060] Suivant un premier mode de réalisation illustré à la figure 8, ils comprennent un module de réjection de fluide de travail à l'état gazeux contenu dans le réservoir 105 en direction de l'entrée 21 du deuxième échangeur 102. Le module de réjection comprend une conduite 115 de réjection de fluide de travail raccordée fluidiquement à une première extrémité au réservoir 105 et à une deuxième extrémité à l'entrée 21 du deuxième échangeur 102. Le fluide évacué du réservoir et injecté en entrée 21 du deuxième échangeur 102 est à l'état gazeux. Préférentiellement, le module comprend un injecteur ou éjecteur 9 et/ou une pompe et/ou une vanne, destiné à contrôler la réjection du fluide de travail.

[0061] Suivant un deuxième mode de réalisation illustré à la figure 9, ils comprennent un module d'injection de fluide de travail, dans le réservoir 105, prélevé à la sortie 42 de la pompe 104. Le module d'injection comprend une conduite 117 d'injection de fluide de travail raccordée fluidiquement à une première extrémité à la sortie 41 de la pompe 104 et à une deuxième extrémité au réservoir 105. Le fluide de travail prélevé et injecté dans le réservoir est à l'état de liquide détendu. Préférentiellement, le module comprend un injecteur 8 et/ou

une vanne, destiné à contrôler l'injection de fluide de travail.

[0062] Suivant un troisième mode de réalisation illustré à la figure 10, ils comprennent un couplage 10 au moins partiel de la deuxième source de chaleur 2 permettant ainsi de diminuer l'enthalpie du fluide dans le réservoir 105.

[0063] Les variations de la charge fluide circulant dues aux prélèvements et rejections du fait des éléments d'apport et de retrait d'énergie sont minimales, ponctuelles et n'ont pas d'influence de synergie avec l'aspiration ou l'injection de fluide de travail vers et depuis le réservoir 105.

[0064] Selon un mode de réalisation particulier, la température de la source chaude 1 est inférieure à 200°C et de préférence inférieure à 150°C et la température de la source froide 2 est inférieure à 50°C et de préférence de l'ordre de 20°C. De préférence, la température de la source froide 2 est supérieure à la température ambiante et plus généralement de l'ordre de la température ambiante.

[0065] Pour le premier échangeur 101, c'est-à-dire l'échangeur chaud, la température maximale est celle de la sortie 32 de l'expandeur 103, c'est-à-dire un peu moins de 150°C. La température minimale est celle de la sortie 42 de la pompe 104, c'est-à-dire un peu plus haut que la température ambiante.

[0066] Pour le deuxième échangeur 102, c'est-à-dire l'échangeur froid, la température maximale est celle de la sortie de la turbine ou autre expandeur 103, c'est-à-dire intermédiaire, comprise entre les températures des sources chaude (150°C) et froide (20°C). La température minimale du deuxième échangeur 102 est celle de la température de la source froide, c'est-à-dire, en général la température ambiante.

[0067] Un système selon l'invention comprend en plus un module d'autorégulation 200 illustré aux figures 11 à 13 destiné à réguler la pressurisation et la dépressurisation du réservoir 105 pour contrôler la charge fluide en circulation dans le circuit fluide. Le module d'autorégulation 200 est à fonctionnement mécanique permettant une régulation entièrement automatique et mécanique.

[0068] Le module d'autorégulation 200 illustré à la figure 13 comprend un détendeur 201 compensé couplé à une soupape 203 compensée.

[0069] Le module d'autorégulation 200 est configuré pour empêcher que la soupape 203 et le détendeur 201 soient en position ouverte simultanément.

[0070] Le détendeur 201 et la soupape 203 sont agencés dans un boîtier 205. Le détendeur 201 est associé à un ressort 202 ayant raideur K_d tandis que la soupape 203 est associée à un ressort 204 ayant raideur K_s . La raideur K_d du ressort 202 de détendeur 201 est inférieure à la raideur K_s du ressort 204 de soupape 203.

[0071] Le boîtier 205 est configuré pour gérer les différentiels de pression pour réguler la charge fluide en circulation dans le circuit fluide. Le boîtier 205 est con-

necté fluidiquement aux éléments dont la pression doit être contrôlée. Selon l'invention, le module d'autorégulation 200 est associé au dispositif de régulation de la charge fluide en circulation dans le circuit fluide, le boîtier 205 est connecté au dispositif de régulation de la charge fluide et plus précisément aux éléments d'apport d'énergie et de retrait d'énergie. Notamment selon le mode de réalisation dans lequel l'élément d'apport d'énergie comprend un module d'injection du fluide de travail prélevé à la sortie 12 du premier échangeur 101 et l'élément de retrait d'énergie comprend un module de réjection du fluide de travail à l'état gazeux 4 hors du réservoir 105 vers l'entrée 21 du deuxième échangeur 102 ou un module d'injection de fluide de travail prélevé en entrée 41 de la pompe 104.

[0072] Le boîtier 205 est connecté fluidiquement au réservoir 105, préférentiellement il est raccordé directement par une conduite de sorte à être soumis à la pression du réservoir Pr. La pression du réservoir Pr s'exerce sur le détendeur 201 et la soupape 203. Le boîtier 205 comprend une première ouverture 206 permettant la connexion fluide du réservoir 105 avec le module d'autorégulation 200.

[0073] Le boîtier 205 est connecté fluidiquement à un moyen de production d'une pression de contrôle P_c correspondant préférentiellement à la pression de saturation du fluide de travail en entrée 41 de pompe 104. La pression de contrôle P_c s'exerce sur le détendeur 201 et la soupape 203. Le boîtier 205 comprend une deuxième ouverture 207 permettant la connexion fluide de la pression de contrôle avec le module d'autorégulation 200.

[0074] La pression de contrôle P_c et la pression du réservoir Pr s'opposent relativement l'une de l'autre relativement à la soupape 203 et au détendeur 201. C'est-à-dire que la pression de contrôle P_c et la pression de réservoir Pr exercent des forces opposées sur la soupape 203 et le détendeur 201.

[0075] Le boîtier 205 est connecté fluidiquement au circuit fluide, précisément à la sortie 12 du premier échangeur 101, préférentiellement il est raccordé directement par une conduite 116. Une première extrémité de la conduite 116 est piquée sur la sortie 12. Le boîtier 205 comprend une troisième ouverture 208 permettant la connexion fluide de la deuxième extrémité de la conduite 116 avec le module d'autorégulation 200.

[0076] Le boîtier 205 est connecté fluidiquement au circuit fluide, précisément à l'entrée 41 de la pompe 104, préférentiellement il est raccordé directement par une conduite 117. Une première extrémité de la conduite 117 est piquée sur l'entrée 41 de pompe 104. Le boîtier 205 comprend une quatrième ouverture 209 permettant la connexion fluide de la deuxième extrémité de la conduite 117 avec le module d'autorégulation 200.

[0077] De manière alternative, le boîtier 205 est connecté fluidiquement au circuit fluide, précisément à l'entrée 21 du deuxième échangeur 102, préférentiellement il est raccordé directement par une conduite 115.

Une première extrémité de la conduite 115 est piquée sur l'entrée 21. Le boîtier 205 comprend une quatrième ouverture 209 permettant la connexion fluide de la deuxième extrémité de la conduite 117 avec le module d'autorégulation 200.

[0078] La figure 14 illustre différents cas d'autorégulation de la charge fluide en circulation dans le circuit fluide.

[0079] La raideur du ressort de détendeur Kd est inférieure à la raideur du ressort de soupape Ks. Premier cas (301), lorsque la pression du réservoir Pr est supérieure à la somme de la pression de contrôle Pc et de la raideur du ressort de soupape Ks. Dans ce cas, la pression de réservoir Pr est également supérieure à la somme de la pression de contrôle Pc et de la raideur de détendeur Kd. Ainsi, la force exercée par la pression du réservoir Pr par la première ouverture 206 du boîtier 205 sur le détendeur 201 et la soupape 203 est supérieure à la force de la pression de contrôle Pc exercée par la deuxième ouverture 207 du boîtier 205 sur le détendeur 201 et la soupape 203. La raideur des ressorts de détendeur et de soupape Kd et Ks ne compensent pas ce différentiel induisant l'ouverture de la soupape 203 (304) et maintenant le détendeur 201 fermé.

[0080] L'ouverture de la soupape 203 signifie que la quatrième ouverture 209 du boîtier 205 est ouverte laissant selon le mode de réalisation, soit pénétrer, dans le réservoir, le fluide de travail prélevé en entrée 41 de la pompe 104, soit sortir du réservoir 105 le fluide de travail à l'état gazeux vers l'entrée 21 du deuxième échangeur 102.

[0081] Ce déplacement de fluide entraîne une baisse de la pression (307) dans le réservoir 105 générant une aspiration 120 de fluide de travail vers le réservoir depuis le circuit fluide. La diminution de la quantité de fluide de travail dans le circuit fluide permet de diminuer la pression en entrée de pompe et donc le sous-refroidissement limitant la dégradation des performances de la machine de Rankine.

[0082] La pression du réservoir Pr ayant diminuée, elle est à présent dans le deuxième cas (302), c'est dire inférieure à la somme de la pression de contrôle Pc et de la raideur du ressort de soupape Ks et reste supérieure à la somme de la pression de contrôle Pc et de la raideur de détendeur Kd.

[0083] Ainsi, la force exercée par la pression du réservoir Pr par la première ouverture 206 du boîtier 205 sur le détendeur 201 et la soupape 203 est supérieure à la force de la pression de contrôle Pc exercée par la deuxième ouverture 207 du boîtier 205 sur le détendeur 201 et la soupape 203. La raideur des ressorts de détendeur et de soupape Kd et Ks compensent ce différentiel maintenant fermés la soupape 203 et le détendeur 201 (305).

[0084] Le détendeur 201 et la soupape 203 étant fermés, il n'y a pas de circulation de fluide que ce soit au niveau du module d'autorégulation 200 ou entre le réservoir 105 et le circuit fluide.

[0085] Lorsque la pression de réservoir diminue, la

pression de réservoir Pr est inférieure à la somme de la pression de contrôle Pc et de la raideur du ressort de soupape Ks et à la somme de la pression de contrôle Pc et de la raideur du ressort de détendeur Kd (303).

[0086] La force exercée par la pression du réservoir Pr par la première ouverture 206 du boîtier 205 sur le détendeur 201 et la soupape 203 est supérieure à la force de la pression de contrôle Pc exercée par la deuxième ouverture 207 du boîtier 205 sur le détendeur 201 et la soupape 203. La raideur des ressorts de détendeur et de soupape Kd et Ks ne compensent pas ce différentiel induisant l'ouverture du détendeur 201 (306) et maintenant la soupape 203 fermée.

[0087] L'ouverture du détendeur 201 signifie que la troisième ouverture 208 du boîtier 205 est ouverte laissant pénétrer, dans le réservoir, le fluide de travail prélevé en sortie 12 du premier échangeur 101. Ce déplacement de fluide entraîne une augmentation de la pression (309) dans le réservoir Pr générant une injection 121 de fluide de travail vers le circuit fluide depuis le réservoir 105. L'augmentation de la quantité de fluide de travail dans le circuit fluide permet d'augmenter la pression en entrée 41 de pompe 104 et donc le sous-refroidissement limitant les risques de cavitation.

[0088] La pression de contrôle Pc est transmise au module d'autorégulation 200 au niveau de la deuxième ouverture 207 par un module de production d'une pression de contrôle.

[0089] Plusieurs variantes sont possibles pour le module de production d'une pression de contrôle. Deux d'entre elles sont illustrées aux figures 11 et 12.

[0090] La figure 12 indique que la pression de contrôle est transmise par un module de production du type source de gaz dont la pression est régulée. Pour réguler la marge de cavitation en entrée 41 de pompe 104, le module comprend des moyens de mesures types capteurs de variables en entrée 41 de pompe 104 tels que la température et la pression et des moyens de régulation de la pression de contrôle Pc en fonction de ces variables. Dans ce cas-là, le module d'autorégulation 200 est configuré pour assurer que la séparation entre la deuxième ouverture 207 et le reste du module 200 est hermétique de sorte à assurer qu'il n'y ait pas de contamination du fluide de travail pas le gaz du module de production de la pression de contrôle.

[0091] La figure 12 illustre par ailleurs, une partie du circuit fluide du système selon l'invention avec la pompe 104, le premier échangeur 101, le deuxième échangeur 102, le réservoir 105, le module d'autorégulation 200. Entre la sortie 22 du deuxième échangeur 102 et la sortie 12 du premier échangeur 101, sont agencés dans le sens de circulation du fluide de travail, la conduite de piquage 114 du réservoir 105, la pompe 104, la conduite d'injection 117 de l'élément de retrait d'énergie, le premier échangeur 101 et la conduite d'injection 116 de l'élément d'apport d'énergie.

[0092] Le module d'autorégulation 200 étant connecté fluidiquement par ces différentes ouvertures :

- au réservoir 105 par la première ouverture 206,
- à l'élément d'apport d'énergie du dispositif de régulation de la charge fluide, étant dans ce cas-là un module d'injection de fluide dans le réservoir 105 prélevé en sortie 12 du premier échangeur 101, la sortie 12 étant directement raccordée à la troisième ouverture 208 du module d'autorégulation 200 par la conduite 116,
- à l'élément de retrait d'énergie du dispositif de régulation de la charge fluide, étant dans ce cas-là un module d'injection de fluide dans le réservoir prélevé en entrée 41 de la pompe 104, l'entrée 41 étant directement raccordée à la quatrième ouverture 209 du module d'autorégulation 200 par la conduite 117.

[0093] La figure 11 indique que la pression de contrôle est transmise par un module de production particulier. Le module de production comprend un ballon 210 rempli de fluide de travail limitant ainsi les risques de contamination, connecté fluidiquement à la deuxième ouverture 207 du module d'autorégulation 200. Préférentiellement, le ballon 210 est maintenu à température de saturation du fluide en entrée 41 de pompe 104. À cet effet, le ballon 210 est avantageusement plongé dans le fluide de travail circulant dans le circuit fluide. Préférentiellement, le ballon 210 est agencé en sortie 22 du deuxième échangeur 102. De cette manière, la pression de contrôle P_c est égale à la pression du fluide dans le ballon 201, elle-même égale à la pression de saturation du fluide en circulation dans la conduite de pompe 113, c'est-à-dire à la pression de saturation en entrée 41 de pompe 104.

[0094] La figure 11 illustre par ailleurs, une partie du circuit fluide du système selon l'invention avec la pompe 104, le premier échangeur 101, le deuxième échangeur 102, le réservoir 105, le module d'autorégulation 200. Entre la sortie 22 du deuxième échangeur 102 et l'entrée 21 du deuxième échangeur 101, sont agencés dans le sens de circulation du fluide de travail, le ballon 210 plongeant dans la conduite 113 de pompe, la conduite de piquage 114 du réservoir 105, la pompe 104, le premier échangeur 101, la conduite d'injection 116 de l'élément d'apport d'énergie, l'expandeur (non représenté) puis la conduite de réjection 115 de l'élément de retrait d'énergie.

[0095] Le module d'autorégulation étant connecté fluidiquement par ces différentes ouvertures :

- au réservoir 105 par la première ouverture 206,
- à l'élément d'apport d'énergie du dispositif de régulation de la charge fluide, étant dans ce cas-là un module d'injection de fluide dans le réservoir prélevé en sortie 12 du premier échangeur 101, la sortie 12 étant directement raccordée à la troisième ouverture 208 du module d'autorégulation 200 par la conduite 116,
- à l'élément de retrait d'énergie du dispositif de régulation de la charge fluide, étant dans ce cas-là un module de réjection de fluide à l'état gazeux du ré-

servoir vers l'entrée 21 du deuxième échangeur 102, l'entrée 21 étant directement raccordée à la quatrième ouverture 209 du module d'autorégulation 200 par la conduite 115.

[0096] Le principe à la base de l'invention procure de nombreux avantages et en particulier celui de pouvoir contrôler au mieux la charge du fluide et donc le sous-refroidissement, afin que celui-ci ne soit ni trop petit (risque de cavitation) ni trop grand (dégradation des performances globales du cycle).

[0097] Un intérêt supplémentaire de l'invention est aussi de diminuer le risque de cavitation dans la pompe. La pression d'entrée dans la pompe est régulée dans le cas de l'invention. En effet, la marge à la cavitation pour une installation donnée s'exprime par l'écart entre la pression d'entrée moins la pression de vapeur saturante et une valeur caractéristique de la pompe (NPSH : net positive suction head).

[0098] Procédés de génération d'énergie électrique dans l'industrie électrique ou dans celle de la transformation (métallurgie, chimie, papeterie, cimenterie, agroalimentaire) avec des rejets thermiques y compris à basse température, le transport avec moteur thermique (camion, automobile, bateau, train), le solaire à concentration, la géothermie ou encore la biomasse.

À titre d'exemple non limitatif

[0099] Pour un cycle ORC avec les caractéristiques suivantes :

- Fluide de travail : R134a
- Température de sortie condenseur 102 : 20 °C
- Température de sortie évaporateur 101 : 100 °C
- NPSH requis à la pompe 104 : 0.5 bar
- Pression de sortie pompe 104 : 35 bars

[0100] Dans le cas de la Figure 11 avec dépressurisation par réjection de vapeur. La pression de contrôle P_c est égale à la pression de saturation en entrée 41 de pompe 104. On choisit donc une raideur de ressort de détendeur K_d correspondant à une pression égale au NPSH requis soit 0.5 bar. Si l'on souhaite une hystérésis de 0.5 bar, on choisit une raideur de ressort de soupape K_s avec un équivalent pression 0.5 bar supérieur à K_d soit 1 bar.

[0101] À l'équilibre :

- Température en entrée pompe, et dans le ballon : 20°C soit une pression de saturation de 5.71 bars. Donc $P_c = 5.71$ bars.
- Pression en entrée pompe correspondant à un NPSH de 0.5 bar, donc $P_r = 5.71 + 0.5 = 6.21$ bars
- Température dans le réservoir (saturation) = 22.7°C

[0102] Cas d'une augmentation de température en sortie condenseur 102 de 20°C à 22°C :

- Température en entrée 41 de pompe 104 et dans le ballon 210 : 22°C, soit une pression de saturation de 6.08 bars. Donc $P_c = 6.08$ bars.
 - Comme $P_r (6.21 \text{ bars}) < P_c (6.08 \text{ bars}) + K_d (0.5 \text{ bar})$, le détendeur 201 s'ouvre et permet l'injection de fluide haute température dans le réservoir 105.
 - Du fluide est injecté dans le circuit fluidique de l'ORC, la pression dans la conduite d'entrée pompe 113 et dans le réservoir augmente jusqu'à $P_r = P_c + K_d = 6.58$ bars.
 - Les conditions en entrée 41 de pompe 104 donnent un NPSH de 0.5 bar.
 - Température dans le réservoir 105 (saturation) = 24.7°C
- [0103]** Cas d'une baisse de température en sortie condenseur 102 de 22°C à 18°C :
- Température en entrée 41 de pompe 104 et dans le ballon 210 : 18°C, soit une pression de saturation de 5.37 bars. Donc $P_c = 5.37$ bars.
 - Comme $P_r (6.58 \text{ bars}) < P_c (5.37 \text{ bars}) + K_s (1 \text{ bar})$, la soupape 203 s'ouvre et permet la réjection de vapeur du réservoir 105 vers le condenseur 102.
 - Du fluide est aspiré à la sortie du condenseur 102 et entre dans le réservoir 105. La pression dans la conduite entrée 41 de pompe 104 et dans le réservoir 105 baisse jusqu'à $P_r = P_c + K_s = 6.37$ bars.
 - Les conditions en entrée 41 de pompe 104 donnent un NPSH de 1 bar.
 - Température dans le réservoir 105 (saturation) = 23.7°C

REFERENCES

[0104]

1. Première source de chaleur
2. Deuxième source de chaleur plus froide que la première
3. Fluide de travail à l'état liquide
4. Fluide de travail à l'état gazeux
5. Cannes chauffantes
6. Injecteur de fluide haute température
7. By pass de la première source de chaleur
8. Injecteur de fluide basse température
9. Ejecteur de fluide à l'état gazeux
10. By pass de la deuxième source de chaleur
11. Entrée premier échangeur
12. Sortie premier échangeur

21. Entrée deuxième échangeur
22. Sortie deuxième échangeur
31. Entrée expenseur
32. Sortie expenseur
41. Entrée pompe
42. Sortie pompe
100. Cycle Rankine
101. Premier échangeur
102. Deuxième échangeur
103. Expenseur
104. Pompe
105. Réservoir
110. Conduite premier échangeur
111. Conduite expenseur
112. Conduite deuxième échangeur
113. Conduite pompe
114. Conduite piquage réservoir
115. Conduite réjection fluide à l'état gazeux
116. Conduite injection fluide haute température
117. Conduite injection fluide basse température
120. Aspiration fluide
121. Injection fluide
200. Module d'autorégulation
201. Détendeur
202. Ressort de détendeur
203. Soupape
204. Ressort de soupape
205. Boitier
206. Première ouverture
207. Deuxième ouverture
208. Troisième ouverture
209. Quatrième ouverture
210. Ballon
300. Pression réservoir
301. Pression réservoir supérieure à la somme de la pression de contrôle et de la raideur du ressort de soupape
302. Pression réservoir supérieure à la somme de la pression de contrôle et la raideur du ressort de détendeur, mais inférieure à la somme de la pression de contrôle et de la raideur du ressort de soupape.
303. Pression réservoir inférieure à la somme de la pression de contrôle et de la raideur du ressort de détendeur
304. Ouverture soupape
305. Fermeture soupape et détendeur
306. Ouverture détendeur
307. Pression réservoir diminue
308. Pression réservoir constante
309. Pression réservoir augmente

Pr. Pression réservoir
 Pc. Pression contrôle
 Kd. Raideur ressort détenteur
 Ks. Raideur ressort soupape

du réservoir (105) et comprenant un boîtier (205) recevant un détenteur (201) associé à un ressort (202) de détenteur et une soupape (203) associée à un ressort (204) de soupape.

5

Revendications

1. Système de production d'énergie électrique ou mécanique comprenant un circuit fluide dans lequel circule un fluide de travail et comprenant une pluralité d'organes traversés par le fluide de travail et parmi lesquels :

- au moins un premier échangeur de chaleur (101) configuré pour être couplé thermiquement à au moins une première source de chaleur (1),
- un expanseur (103) dont une entrée (31) est fluidiquement raccordée à une sortie (12) du premier échangeur (101),
- un deuxième échangeur de chaleur (102) configuré pour être couplé thermiquement à une deuxième source de chaleur (2) plus froide que la première source de chaleur (1)
- au moins une pompe (104) configurée pour mettre en mouvement le fluide de travail dans le circuit fluide,
- au moins un réservoir (105) recevant le fluide de travail et agencé entre le deuxième échangeur (102) et la pompe (104) sur une conduite de piquage (114),

le circuit fluide étant configuré de manière à ce que le fluide de travail passe successivement par au moins la pompe (104), le premier échangeur (101), l'expanseur (103) et le deuxième échangeur (102), puis à nouveau la pompe (104)

où le système comprend un dispositif de régulation de la charge fluide en circulation dans le circuit fluide configuré pour fonctionner en circuit fermé avec le circuit fluide et maintenir des conditions de saturation dans le réservoir (105) de sorte que le réservoir (105) contienne le fluide de travail simultanément à l'état liquide (3) et à l'état gazeux (4), le dispositif de régulation comprenant des éléments d'apport d'énergie thermique (5, 6, 7) dans le réservoir (105) destinés à augmenter la pression du réservoir (Pr) et induire l'injection du fluide de travail du réservoir dans le circuit fluide et des éléments de retrait d'énergie (8, 9, 10) du réservoir (105) destinés à diminuer la pression du réservoir (Pr) et induire l'aspiration vers le réservoir (105) du fluide de travail hors du circuit fluide, et où le système comprend un module d'autorégulation à fonctionnement mécanique destiné à réguler la pressurisation et la dépressurisation

2. Système selon la revendication précédente dans lequel le réservoir (105) est directement raccordé à la conduite de piquage (114) qui est elle-même directement raccordée au circuit fluide entre le deuxième échangeur (102) et la pompe (104), avantageusement, le système ne comprend pas de fluide autre que le fluide de travail.

3. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel les éléments d'apport d'énergie thermique comprennent au moins une canne chauffante (5) plongeant dans le réservoir (105), et/ou un module d'injection, dans le réservoir (105), de fluide de travail prélevé à la sortie (12) du premier échangeur (101), et/ou un couplage (7), au moins partiel, du réservoir (105) avec la première source de chaleur (1).

4. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel les éléments de retrait d'énergie comprennent un module d'éjection, hors du réservoir (105), du fluide de travail à l'état gazeux (4) en direction de l'entrée (21) du deuxième échangeur (102) et/ou un module d'injection, dans le réservoir (105), de fluide de travail prélevé à la sortie (42) de la pompe (104), et/ou un couplage (10) au moins partiel du réservoir (105) avec de la deuxième source de chaleur (2).

5. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel le module d'autorégulation comprend un détenteur (201) compensé couplé à une soupape (203) compensée.

6. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel les éléments d'apport d'énergie thermique comprennent un module d'injection, dans le réservoir (105), de fluide de travail prélevé à la sortie (12) du premier échangeur (101) et les éléments de retrait d'énergie comprennent un module d'éjection du fluide à l'état gazeux (4), hors du réservoir (105), en direction de l'entrée (21) du deuxième échangeur (102) ou un module d'injection, dans le réservoir (105), de fluide de travail prélevé à la sortie (42) de la pompe (104).

7. Système selon la revendication précédente dans lequel le boîtier (205) comprend une première ouverture (206) en liaison fluide avec le réservoir (105) de sorte à être soumise à la pression du réservoir Pr, une deuxième ouverture (207) en liaison fluide avec un module de production de pression de contrôle de sorte à être soumise à une pression contrô-

- lée P_c , une troisième ouverture (208) d'injection, dans le réservoir (105), de fluide de travail prélevé à la sortie (12) du premier échangeur (101), une quatrième ouverture (209) d'injection, dans le réservoir (105), de fluide de travail prélevé à la sortie (42) de la pompe (104) ou d'éjection, hors du réservoir (105), de fluide de travail à l'état gazeux (4) vers l'entrée (21) du deuxième échangeur (102).
8. Système selon la revendication précédente dans lequel la pression de contrôle P_c est égale à la pression de saturation du fluide en entrée (41) de pompe (104), pendant l'opération du système.
 9. Système selon l'une quelconque des trois revendications précédentes dans lequel le ressort de soupape (204) présente une raideur K_s supérieure à celle du ressort de détendeur (202).
 10. Système selon la revendication précédente dans lequel le module d'autorégulation (200) est configuré pour être à l'équilibre, avec le détendeur (201) fermé et la soupape (203) fermée, lorsque la pression du réservoir P_r est à la fois supérieure à la somme de la pression de contrôle P_c et de la raideur K_d du ressort du détendeur (202), et inférieure à la somme de la pression de contrôle P_c et de la raideur K_s du ressort de la soupape (204).
 11. Système selon l'une quelconque des deux revendications précédentes dans lequel le module d'autorégulation (200) est configuré pour que l'ouverture de la soupape (203) mette en connexion fluidique le réservoir (105) et l'entrée (21) du deuxième échangeur (102) ou la sortie (42) de la pompe (104) par la quatrième ouverture (209).
 12. Système selon l'une quelconque des trois revendications précédentes dans lequel le module d'autorégulation (200) est configuré pour que l'ouverture du détendeur (201) mette en connexion fluidique le réservoir (105) et la sortie (12) du premier échangeur (101) par la troisième ouverture (208).
 13. Système selon l'une quelconque des six revendications précédentes dans lequel le module de production de pression de contrôle comprend un ballon (210) rempli de fluide de travail connecté fluidiquement à la deuxième ouverture (207) du boîtier (205), le ballon (210) étant agencé pour plonger dans le fluide de travail du circuit fluidique en sortie (22) du deuxième échangeur (102) de sorte que la température du fluide contenu dans le ballon (210) soit identique à celle du fluide de travail du circuit fluidique en entrée (41) de pompe (104).
 14. Système selon l'une quelconque des revendications 7 à 12 dans lequel le module de production de pression de contrôle comprend une source de gaz à pression régulée en connexion fluidique avec la deuxième ouverture (207) du boîtier (205), des capteurs de pression et/ou de température en entrée (41) de pompe (104) et des moyens de régulations de la pression de la source de gaz de sorte à définir une pression de contrôle P_c .
 15. Procédé de régulation de la charge fluidique en circulation dans le circuit fluidique d'un système de production d'énergie selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant les étapes suivantes :
 - une étape de montée en pression du fluide de travail au travers de la pompe (104),
 - une étape de chauffage du fluide de travail au travers du premier échangeur de chaleur (101),
 - une étape de détente du fluide de travail issu du premier échangeur (101) au travers de l'expandeur (103),
 - une étape de refroidissement du fluide de travail au travers du deuxième échangeur de chaleur (102),
 où il comprend
 - une étape de maintien de conditions saturantes dans le réservoir (105) pour maintenir le fluide de travail simultanément sous deux états gazeux (4) et liquide (3) dans le réservoir (105) par
 - une étape d'apport d'énergie thermique dans le réservoir (105) comprenant l'augmentation de la pression dans le réservoir (105) et l'ajout de fluide de travail dans le circuit fluidique par injection depuis le réservoir (105),
 - ou alternativement une étape de retrait d'énergie hors du réservoir (105) comprenant la diminution de la pression dans le réservoir (105) et le retrait de fluide de travail du circuit fluidique par aspiration vers le réservoir (105),
 - et où il comprend une étape d'autorégulation destinée à réguler la pressurisation et la dépressurisation du réservoir (105) de sorte qu'à l'équilibre le détendeur (201) et la soupape (203) soient fermés lorsque la pression du réservoir P_r est à la fois supérieure à la somme de la pression de contrôle P_c et de la raideur K_d du ressort du détendeur (202) et inférieure à la somme de la pression de contrôle P_c et de la raideur K_s du ressort de la soupape (204).
 16. Procédé selon la revendication précédente en combinaison avec les revendications 7 et 9 comprenant lorsque la pression du réservoir P_r est supérieure à la somme de la pression de contrôle P_c et de la raideur K_s du ressort (204) de la soupape (203), l'ouverture de la soupape (203) mettant en connexion fluidique

dique le réservoir (105) et l'entrée (21) du deuxième échangeur (102) ou la sortie (42) de la pompe (104) par la quatrième ouverture (209) de sorte à diminuer la pression du réservoir Pr.

17. Procédé selon l'une quelconque des deux revendications précédentes en combinaison avec les revendications 7 et 9 comprenant lorsque la pression du réservoir Pr est inférieure à la pression de contrôle Pc additionnée à la raideur Kd du ressort de détenteur (202), l'ouverture du détenteur mettant en connexion fluide le réservoir (105) et la sortie (12) du premier échangeur (101) par la troisième ouverture (208) de sorte à augmenter la pression du réservoir Pr.

Patentansprüche

1. System zur Produktion elektrischer oder mechanischer Energie, das einen Fluidkreislauf umfasst, in dem ein Arbeitsfluid zirkuliert, und das eine Vielzahl von Organen umfasst, die von dem Arbeitsfluid durchquert werden, und darunter:

- mindestens ein erster Wärmetauscher (101), der dazu konfiguriert ist, thermisch mit mindestens einer ersten Wärmequelle (1) gekoppelt zu sein,
- ein Expander (103), von dem ein Eingang (31) fluidisch an einen Ausgang (12) des ersten Wärmetauschers (101) angeschlossen ist,
- ein zweiter Wärmetauscher (102), der dazu konfiguriert ist, thermisch mit einer zweiten Wärmequelle (2), die kälter ist als die erste Wärmequelle (1), gekoppelt zu sein,
- mindestens eine Pumpe (104), die dazu konfiguriert ist, das Arbeitsfluid in dem Fluidkreislauf in Bewegung zu versetzen,
- mindestens ein Behälter (105), der das Arbeitsfluid aufnimmt und zwischen dem zweiten Wärmetauscher (102) und der Pumpe (104) auf einer Abzweigung (114) eingerichtet ist,

wobei der Fluidkreislauf derart konfiguriert ist, dass das Arbeitsfluid nacheinander durch mindestens die Pumpe (104), den ersten Wärmetauscher (101), den Expander (103) und den zweiten Wärmetauscher (102) und dann erneut durch die Pumpe (104) durchgeht,

wobei das System eine Regulierungsvorrichtung der Fluidlast in Zirkulation in dem Fluidkreislauf umfasst, die dazu konfiguriert ist, im geschlossenen Kreislauf mit dem Fluidkreislauf zu arbeiten und Sättigungsbedingungen in dem Behälter (105) derart aufrechtzuerhalten, dass der Behälter (105) das Arbeitsfluid gleichzeitig in dem flüssigen Zustand (3) und in dem gasförmigen Zustand (4) enthält, wobei die Regulie-

rungsvorrichtung Wärmeenergiezufuhrelemente (5, 6, 7) in den Behälter (105) umfasst, die dazu bestimmt sind, den Druck (Pr) des Behälters zu erhöhen und das Einspritzen des Arbeitsfluids des Behälters in den Fluidkreislauf einzuleiten, und Energieabzapfelemente (8, 9, 10) aus dem Behälter (105), die dazu bestimmt sind, den Druck (Pr) des Behälters zu verringern und die Ansaugung des Arbeitsfluids zu dem Behälter (105) außerhalb des Fluidkreislauf einzuleiten, und wobei das System ein Selbstregulierungsmodul mit mechanischer Funktionsweise umfasst, das dazu bestimmt ist, die Druckbeaufschlagung und die Druckentlastung des Behälters (105) zu regulieren, und das ein Gehäuse (205) umfasst, das einen Druckminderer (201), der einer Druckmindererfeder (202) zugeordnet ist, und ein Ventil (203) das einer Ventilfeeder (204) zugeordnet ist, umfasst.

2. System nach dem vorstehenden Anspruch, wobei der Behälter (105) direkt an die Abzweigung (114) angeschlossen ist, die selbst direkt an den Fluidkreislauf zwischen dem zweiten Wärmetauscher (102) und der Pumpe (104) angeschlossen ist, wobei das System vorteilhafterweise kein anderes Fluid als das Arbeitsfluid umfasst.

3. System nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Wärmeenergiezufuhrelemente mindestens einen Heizstab (5), der in den Behälter (105) eintaucht, und/oder ein Modul zum Einspritzen von Arbeitsfluid, das an dem Ausgang (12) des ersten Wärmetauschers (101) entnommen wird, in den Behälter (105), und/oder eine mindestens teilweise Kopplung (7) des Behälters (105) mit der ersten Wärmequelle (1) umfassen.

4. System nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Energieabzapfelemente ein Modul zum Ausstoßen außerhalb des Behälters (105) des Arbeitsfluids in dem gasförmigen Zustand (4) in Richtung des Eingangs (21) des zweiten Wärmetauschers (102) und/oder ein Modul zum Einspritzen in den Behälter (105) von Arbeitsfluid, das an dem Ausgang (42) der Pumpe (104) entnommen wird, und/oder eine mindestens teilweise Kopplung (10) des Behälters (105) mit der zweiten Wärmequelle (2) umfassen.

5. System nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Selbstregulierungsmodul einen kompensierten Druckminderer (201), der mit einem kompensierten Ventil (203) gekoppelt ist, umfasst.

6. System nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Wärmeenergiezufuhrelemente ein Einspritzmodul in den Behälter (105) von Arbeitsfluid, das an dem Ausgang (12) des ersten Wärmetau-

- schers (101) entnommen wird, umfassen, und die Energieabzapfelemente ein Modul zum Ausstoßen des Fluids in dem gasförmigen Zustand (4) außerhalb des Behälters (105) in Richtung des Eingangs (21) des zweiten Wärmetauschers (102) oder ein Einspritzmodul in den Behälter (105) von Arbeitsfluid, das an dem Ausgang (42) der Pumpe (104) entnommen wird, umfassen.
7. System nach dem vorstehenden Anspruch, wobei das Gehäuse (205) eine erste Öffnung (206) in Fluidverbindung mit dem Behälter (105) derart umfasst, dass sie dem Druck P_r des Behälters ausgesetzt ist, eine zweite Öffnung (207) in Fluidverbindung mit einem Steuerdruck-Produktionsmodul derart, dass sie einem gesteuerten Druck P_c ausgesetzt ist, eine dritte Öffnung (208) zum Einspritzen in den Behälter (105) von Arbeitsfluid, das an dem Ausgang (12) des ersten Wärmetauschers (101) entnommen wird, eine vierte Öffnung (209) zum Einspritzen in den Behälter (105) von Arbeitsfluid, das an dem Ausgang (42) der Pumpe (104) entnommen wird, oder zum Ausstoßen aus dem Behälter (105) von Arbeitsfluid in dem gasförmigen Zustand (4) zu dem Eingang (21) des zweiten Wärmetauschers (102).
8. System nach dem vorstehenden Anspruch, wobei der Steuerdruck P_c gleich dem Sättigungsdruck des Fluids am Eingang (41) der Pumpe (104) während des Betriebs des Systems ist.
9. System nach einem der drei vorstehenden Ansprüche, wobei die Ventiltfeder (204) eine Steifigkeit K_s größer als diejenige der Druckmindererfeder (202) aufweist.
10. System nach dem vorstehenden Anspruch, wobei das Regulierungsmodul (200) dazu konfiguriert ist, bei dem geschlossenen Druckminderer (201) und dem geschlossenen Ventil (203) im Gleichgewicht zu sein, wenn der Druck P_r des Behälters gleichzeitig größer als die Summe des Steuerdrucks P_c und der Steifigkeit K_d der Druckmindererfeder (202) und kleiner als die Summe des Steuerdrucks P_c und der Steifigkeit K_s der Ventiltfeder (204) ist.
11. System nach einem der zwei vorstehenden Ansprüche, wobei das Selbstregulierungsmodul (200) dazu konfiguriert ist, dass die Öffnung des Ventils (203) den Behälter (105) und den Eingang (21) des zweiten Wärmetauschers (102) oder den Ausgang (42) der Pumpe (104) durch die vierte Öffnung (209) in Fluidverbindung versetzt.
12. System nach einem der drei vorstehenden Ansprüche, wobei das Selbstregulierungsmodul (200) dazu konfiguriert ist, dass die Öffnung des Druckminderers (201) den Behälter (105) und den Ausgang (12)
- des ersten Wärmetauschers (101) durch die dritte Öffnung (208) in Fluidverbindung versetzt.
13. System nach einem der sechs vorstehenden Ansprüche, wobei das Steuerdruck-Produktionsmodul einen Ballon (210) umfasst, der mit Arbeitsfluid gefüllt ist, der fluidisch mit der zweiten Öffnung (207) des Gehäuses (205) verbunden ist, wobei der Ballon (210) dazu eingerichtet ist, in das Arbeitsfluid des Fluidkreislaufs am Ausgang (22) des zweiten Wärmetauschers (102) derart einzutauchen, dass die Temperatur des Fluids, das in dem Ballon (210) enthalten ist, gleich derjenigen des Arbeitsfluids des Fluidkreislaufs am Eingang (41) der Pumpe (104) ist.
14. System nach einem der Ansprüche 7 bis 12, wobei das Steuerdruck-Erzeugungsmodul eine Gasquelle mit reguliertem Druck in Fluidverbindung mit der zweiten Öffnung (207) des Gehäuses (205), Drucksensoren und/oder Temperatursensoren am Eingang (41) der Pumpe (104) und Druckregulierungsmittel der Gasquelle derart umfasst, dass ein Steuerdruck P_c definiert wird.
15. Regulierungsverfahren der Fluidlast in Zirkulation in dem Fluidkreislauf eines Energieproduktionssystems nach einem der vorstehenden Ansprüche, das die folgenden Schritte umfasst:
- einen Druckanstiegsschritt des Arbeitsfluids durch die Pumpe (104) hindurch,
 - einen Heizschritt des Arbeitsfluids durch den ersten Wärmetauscher (101) hindurch,
 - einen Entspannungsschritt des Arbeitsfluids, der aus dem ersten Wärmetauscher (101) stammt, durch den Expander (103) hindurch,
 - einen Kühlschritt des Arbeitsfluids durch den zweiten Wärmetauscher (102) hindurch, wobei es Folgendes umfasst
 - einen Halteschritt von Sättigungsbedingungen in dem Behälter (105), um das Arbeitsfluid gleichzeitig in einem gasförmigen (4) und einem flüssigen (3) Zustand in dem Behälter (105) zu erhalten, durch
 - einen Wärmeenergiezufuhrschritt in den Behälter (105), der das Erhöhen des Drucks in dem Behälter (105) und das Hinzufügen von Arbeitsfluid in den Fluidkreislauf durch Einspritzen aus dem Behälter (105) umfasst,
 - oder alternativ einen Energieabzapfschritt aus dem Behälter (105), der die Verringerung des Drucks in dem Behälter (105) und das Abzapfen von Arbeitsfluid des Fluidkreislaufs durch Ansaugung zu dem Behälter (105) umfasst,
 - und wobei es einen Selbstregulierungsschritt umfasst, der dazu bestimmt ist, die Druckbeaufschlagung und die Druckentlastung des Behälters (105) derart zu regulieren, dass bei Gleich-

gewicht der Druckminderer (201) und das Ventil (203) geschlossen sind, wenn der Druck P_r des Behälters gleichzeitig größer als die Summe des Steuerdrucks P_c und der Steifigkeit K_d der Druckmindererfeder (202) und kleiner als die Summe des Steuerdrucks P_c und der Steifigkeit K_s der Ventulfeder (204) ist.

16. Verfahren nach dem vorstehenden Anspruch, kombiniert mit den Ansprüchen 7 und 9, das, wenn der Druck P_r des Behälters größer als die Summe des Steuerdrucks P_c und der Steifigkeit K_s der Feder (204) des Ventils (203) ist, die Öffnung des Ventils (203) den Behälter (105) und den Eingang (21) des zweiten Wärmetauschers (102) oder den Eingang (42) der Pumpe (104) durch die vierte Öffnung (209) derart in Fluidverbindung versetzt, dass der Druck P_r des Behälters verringert wird.
17. Verfahren nach einem der zwei vorstehenden Ansprüche, kombiniert mit den Ansprüchen 7 und 9, das, wenn der Druck P_r des Behälters kleiner als der Steuerdruck P_c hinzugefügt zur Steifigkeit K_d der Druckmindererfeder (202) ist, das Öffnen des Druckminderers den Behälter (105) und den Ausgang (12) des ersten Wärmetauschers (101) durch die dritte Öffnung (208) derart in Fluidverbindung versetzt, dass der Druck P_r des Behälters erhöht wird.

Claims

1. System for producing electrical or mechanical energy comprising a fluid circuit, wherein a working fluid circulates, comprising a plurality of members passed through by the working fluid and among which:
- at least one heat exchanger (101) configured to be thermally coupled to at least one first heat source (1),
 - an expander (103), an inlet (31) of which is fluidically connected to an outlet (12) of the first exchanger (101),
 - a second heat exchanger (102) configured to be thermally coupled to a second heat source (2), colder than the first heat source (1),
 - at least one pump (104) configured to move the working fluid in the fluid circuit,
 - at least one reservoir (105) receiving the working fluid and arranged between the second exchanger (102) and the pump (104) on a tapping duct (114),
- the fluid circuit being configured such that the working fluid passes successively through at least the pump (104), the first exchanger (101), the expander (103) and the second exchanger (102), then the pump (104) again, where the system comprises a device for regu-

lating the fluid load circulating in the fluid circuit configured to operate in a closed circuit with the fluid circuit and for maintaining saturation conditions in the reservoir (105), such that the reservoir (105) contains the working fluid simultaneously to the liquid state (3) and to the gaseous state (4), the regulation device comprising thermal energy input elements (5, 6, 7) in the reservoir (105) intended to increase the pressure of the reservoir (P_r) and to induce the injection of the working fluid of the reservoir in the fluid circuit and energy removal elements (8, 9, 10) of the reservoir (105) intended to decrease the pressure of the reservoir (P_r) and to induce the suctioning towards the reservoir (105) of the working fluid outside of the fluid circuit, and where the system comprises a mechanically operating self-regulation module intended to regulate the pressurising and the depressurising of the reservoir (105) and comprising a casing (205) receiving a regulator (201) associated with a regulator spring (202) and a valve (203) associated with a valve spring (204).

2. System according to the preceding claim, wherein the reservoir (105) is directly connected to the tapping duct (114) which is itself directly connected to the fluid circuit between the second exchanger (102) and the pump (104), advantageously, the system does not comprise fluid other than the working fluid.
3. System according to any one of the preceding claims, wherein the thermal energy input elements comprise at least one heating rod (5) immersing into the reservoir (105), and/or a module for injecting, into the reservoir (105), working fluid removed at the outlet (12) of the first exchanger (101), and/or a coupling (7), at least partial, of the reservoir (105) with the first heat source (1).
4. System according to any one of the preceding claims, wherein the energy removal elements comprise a module for ejecting, outside of the reservoir (105), the working fluid in the gaseous state (4) in the direction of the inlet (21) of the second exchanger (102) and/or a module for injecting, into the reservoir (105), working fluid removed at the outlet (42) of the pump (104), and/or an at least partial coupling (10) of the reservoir (105) with the second heat source (2).
5. System according to any one of the preceding claims, wherein the self-regulation module comprises a compensated regulator (201) coupled to a compensated valve (203).
6. System according to any one of the preceding claims, wherein the thermal energy input elements comprise a module for injecting, into the reservoir

- (105), working fluid removed at the outlet (12) of the first exchanger (101) and the energy removal elements comprise a module for ejecting fluid in the gaseous state (4), outside of the reservoir (105), in the direction of the inlet (21) of the second exchanger (102) or a module for injecting, into the reservoir (105), working fluid removed at the outlet (42) of the pump (104).
7. System according to the preceding claim, wherein the casing (205) comprises a first opening (206) fluidically connected to the reservoir (105) so as to be subjected to the pressure of the reservoir P_r , a second opening (207) fluidically connected to a control pressure production module, so as to be subjected to a controlled pressure P_c , a third opening (208) for injecting, into the reservoir (105), working fluid removed at the outlet (12) of the first exchanger (101), a fourth opening (209) for injecting, into the reservoir (105), working fluid removed at the outlet (42) of the pump (104) or ejecting, outside of the reservoir (105), working fluid in the gaseous state (4) to the inlet (21) of the second exchanger (102).
 8. System according to the preceding claim, wherein the control pressure P_c is equal to the saturation pressure of the fluid at the pump (104) inlet (41), during the operation of the system.
 9. System according to any one of the three preceding claims, wherein the valve spring (204) has a stiffness K_s greater than that of the regulator spring (202).
 10. System according to the preceding claim, wherein the self-regulation module (200) is configured to be balanced, with the regulator (201) closed and the valve (203) closed, when the pressure of the reservoir P_r is both greater than the sum of the control pressure P_c and of the stiffness K_d of the spring of the regulator (202), and less than the sum of the control pressure P_c and of the stiffness K_s of the spring of the valve (204).
 11. System according to any one of the two preceding claims, wherein the self-regulation module (200) is configured such that the opening of the valve (203) fluidically connects the reservoir (105) and the inlet (21) of the second exchanger (102) or the outlet (42) of the pump (104) by the fourth opening (209).
 12. System according to any one of the three preceding claims, wherein the self-regulation module (200) is configured such that the opening of the regulator (201) fluidically connects the reservoir (105) and the outlet (12) of the first exchanger (101) by the third opening (208).
 13. System according to any one of the six preceding claims, wherein the control pressure production module comprises a ball (210) filled with working fluid fluidically connected to the second opening (207) of the casing (205), the ball (210) being arranged to immerse in the working fluid of the fluid circuit at the outlet (22) of the second exchanger (102), such that the temperature of the fluid contained in the ball (210) is identical to that of the working fluid of the fluid circuit at the pump (104) inlet (41).
 14. System according to any one of claims 7 to 12, wherein the control pressure production module comprises a regulated pressure gas source fluidically connected to the second opening (207) of the casing (205), pressure sensors and/or temperature at the pump (104) inlet (41) and gas source pressure regulation means so as to define a control pressure P_c .
 15. Method for regulating the fluid load circulating in the fluid circuit of an energy production system according to any one of the preceding claims, comprising the following steps:
 - a step of increasing pressure of the working fluid through the pump (104),
 - a step of heating the working fluid through the first heat exchanger (101),
 - a step of regulating the working fluid coming from the first exchanger (101) through the expander (103),
 - a step of cooling the working fluid through the second heat exchanger (102),
 where it comprises:
 - a step of maintaining saturating conditions in the reservoir (105) to maintain the working fluid simultaneously in two gaseous (4) and liquid (3) states in the reservoir (105) by:
 - a step of inputting thermal energy in the reservoir (105) comprising the increase of pressure in the reservoir (105) and the addition of working fluid in the fluid circuit by injecting from the reservoir (105),
 - or alternatively a step of removing energy outside of the reservoir (105) comprising the decrease of pressure in the reservoir (105) and the removal of working fluid from the fluid circuit by suctioning to the reservoir (105),
 - and where it comprises a self-regulation step intended to regulate the pressurising and the depressurising of the reservoir (105), such that when balanced, the regulator (201) and the valve (203) are closed when the pressure of the reservoir P_r is both greater than the sum of the control pressure P_c and of the stiffness K_d of the spring of the regulator (202) and less than

the sum of the control pressure P_c and of the stiffness K_s of the spring of the valve (204).

16. Method according to the preceding claim, combined with claims 7 and 9 comprising, when the pressure of the reservoir P_r is greater than the sum of the control pressure P_c and of the stiffness K_s of the spring (204) of the valve (203), the opening of the valve (203) fluidically connecting the reservoir (105) and the inlet (21) of the second exchanger (102) or the outlet (42) of the pump (104) by the fourth opening (209) so as to decrease the pressure of the reservoir P_r .
17. Method according to any one of the two preceding claims, combined with claims 7 and 9, comprising when the pressure of the reservoir P_r is less than the control pressure P_c added to the stiffness K_d of the regulator spring (202), the opening of the regulator fluidically connecting the reservoir (105) and the outlet (12) of the first exchanger (101) by the third opening (208) so as to increase the pressure of the reservoir P_r .

25

30

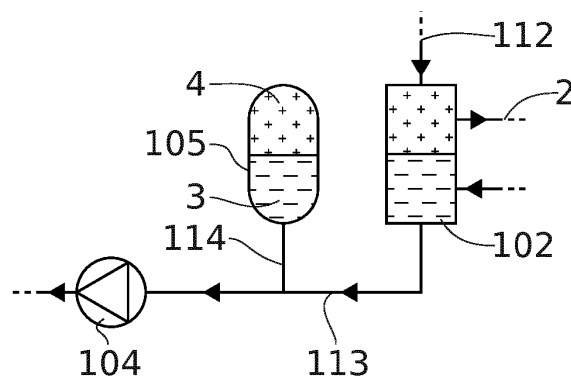
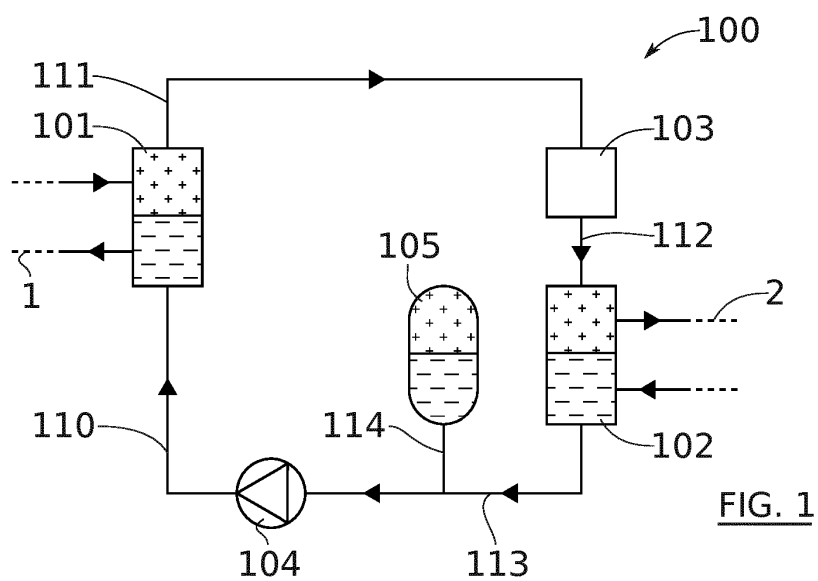
35

40

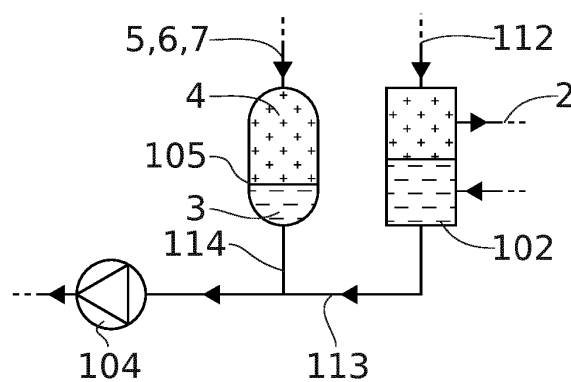
45

50

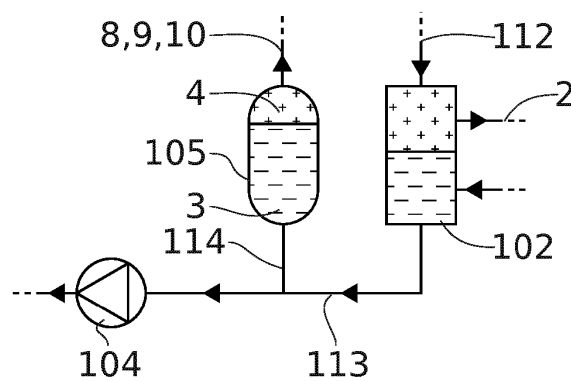
55

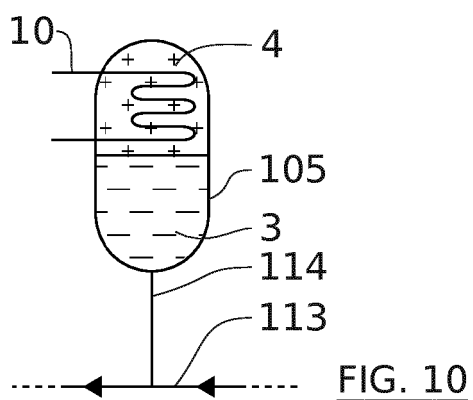
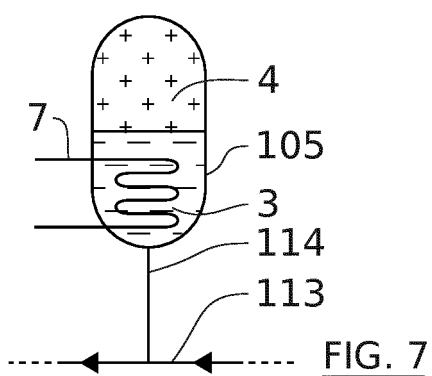
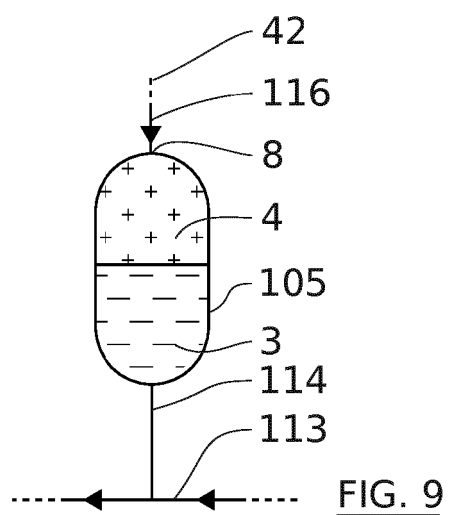
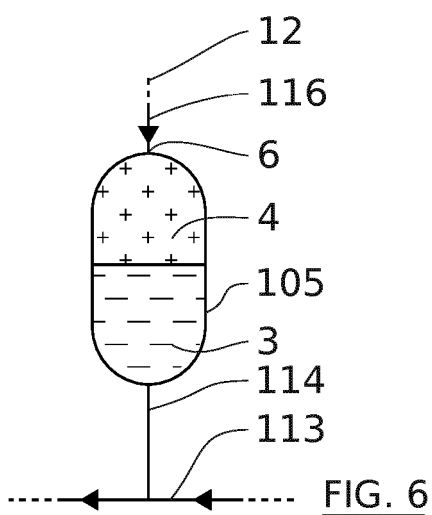
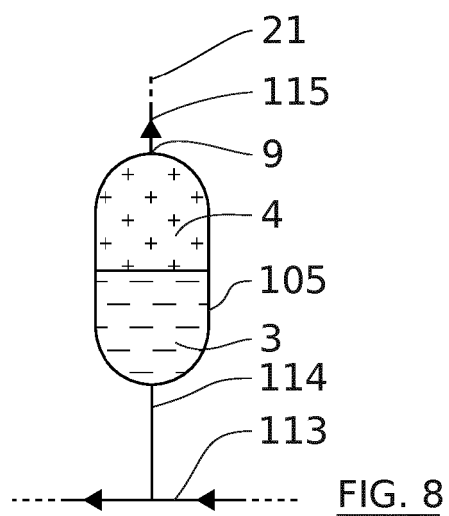
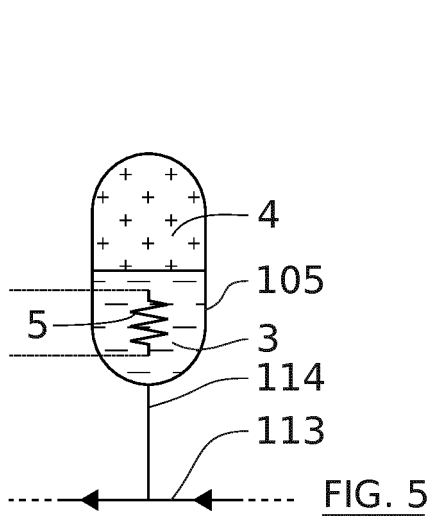


FIG



FIG





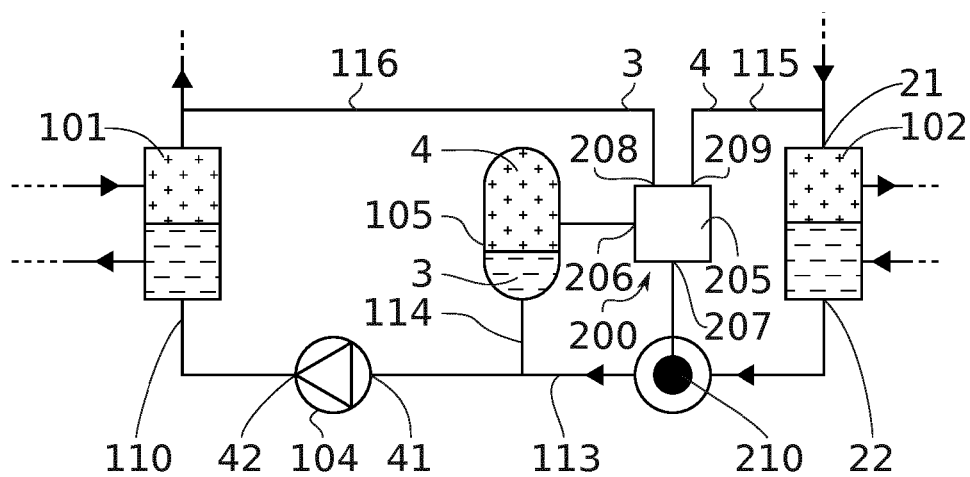


FIG. 11

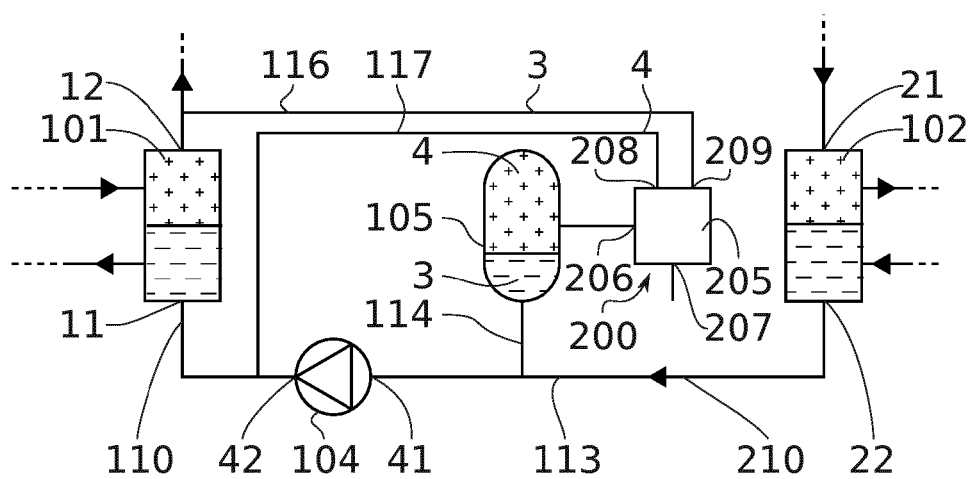


FIG. 12

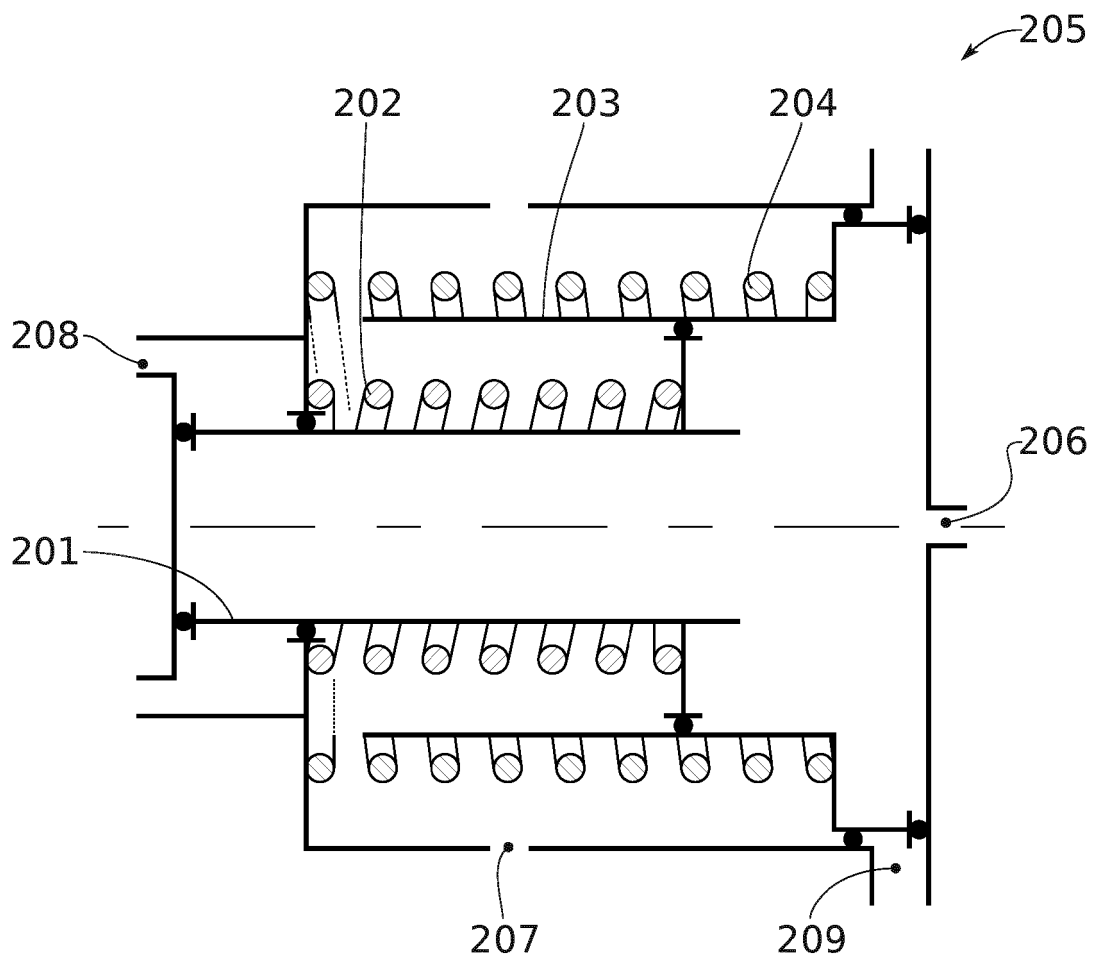


FIG. 13

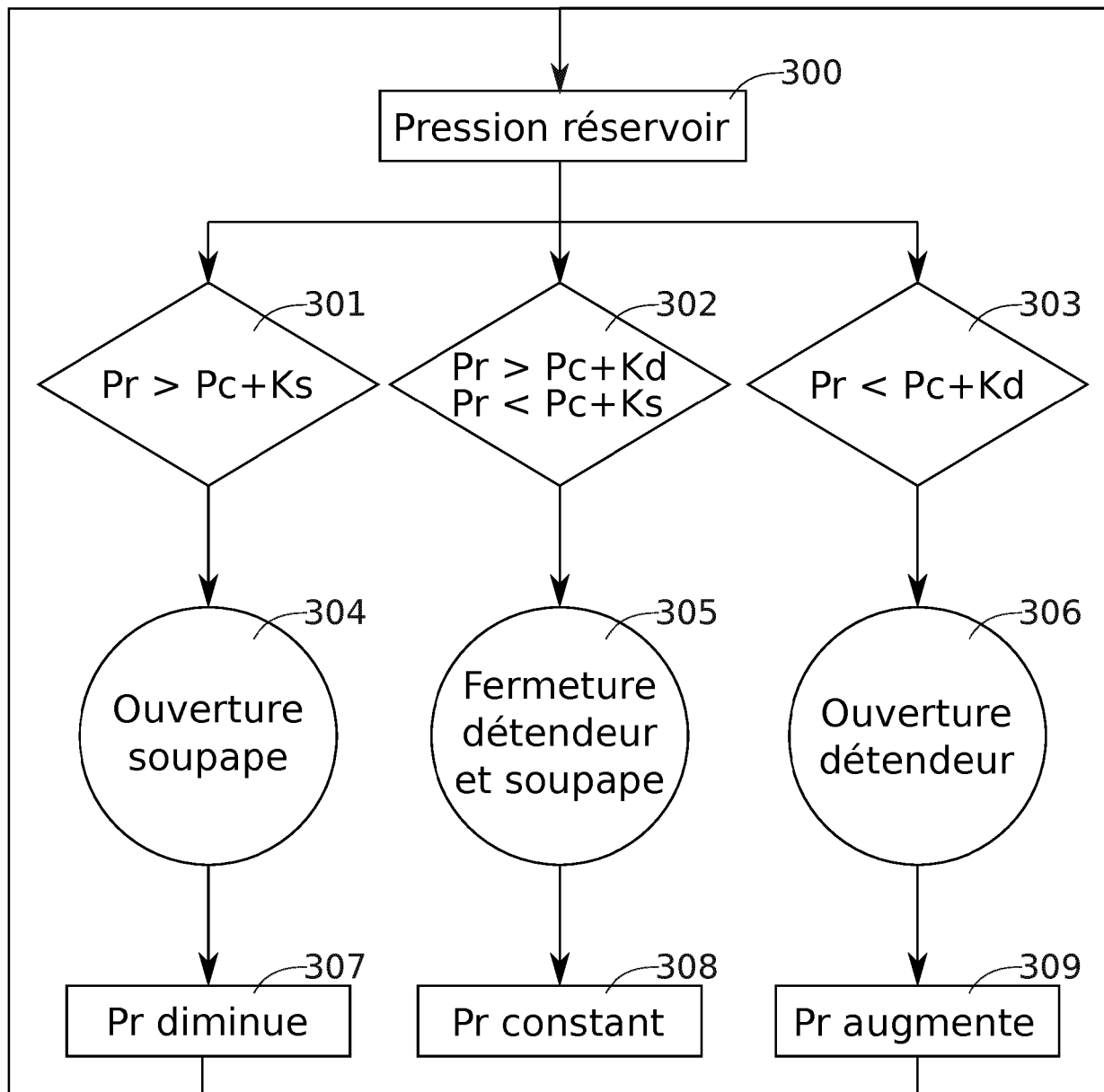


FIG. 14

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

- EP 2933444 A1 [0015]
- EP 2927438 A1 [0017]