

(19)



(11)

EP 2 283 210 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

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

14.08.2019 Bulletin 2019/33

(51) Int Cl.:

F01K 27/00 (2006.01) **F01K 25/04** (2006.01)
F01K 25/08 (2006.01) **F25B 29/00** (2006.01)
F01K 7/00 (2006.01) **F25B 1/00** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **09754052.0**

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/FR2009/000365

(22) Date de dépôt: **30.03.2009**

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2009/144402 (03.12.2009 Gazette 2009/49)

(54) **INSTALLATION POUR LA PRODUCTION DE FROID, DE CHALEUR ET/OU DE TRAVAIL**

ANLAGE ZUR ERZEUGUNG VON KÄLTE, WÄRME UND/ODER ARBEIT

PLANT FOR PRODUCING COLD, HEAT AND/OR WORK

(84) Etats contractants désignés:

**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 SE SI SK TR**

- **NEVEU, Pierre**
F-66130 St Michel De Llotès (FR)
- **STITOU, Driss**
F-66570 St Nazaire (FR)

(30) Priorité: **01.04.2008 FR 0801786**

(74) Mandataire: **Lavoix et al**
2, place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(43) Date de publication de la demande:
16.02.2011 Bulletin 2011/07

(73) Titulaire: **Centre National de la Recherche Scientifique**
75016 Paris (FR)

(56) Documents cités:
WO-A-97/16629 **WO-A-2005/071232**
GB-A- 2 251 639 **NL-A- 7 012 571**
US-A1- 2007 101 989

(72) Inventeurs:

- **MAURAN, Sylvain**
F-66170 Millas (FR)
- **MAZET, Nathalie**
F-66100 Perpignan (FR)

Remarques:

Le dossier contient des informations techniques présentées postérieurement au dépôt de la demande et ne figurant pas dans le présent fascicule.

EP 2 283 210 B1

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

Description

[0001] La présente invention concerne une installation pour la production de froid, de chaleur et/ou de travail.

5 **ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE**

[0002] Les machines thermodynamiques utilisées pour la production de froid, de chaleur ou d'énergie font toutes référence à une machine idéale désignée par "machine de Carnot". Une machine de Carnot idéale requiert une source de chaleur et un puits de chaleur à deux niveaux différents de température. Il s'agit donc d'une machine "ditherme". Elle est dite machine de Carnot motrice lorsqu'elle fonctionne en fournissant du travail, et machine de Carnot réceptrice (aussi appelée pompe à chaleur de Carnot) lorsqu'elle fonctionne en consommant du travail. En mode moteur, la chaleur Q_h est fournie à un fluide de travail G_T à partir d'une source chaude à la température T_h , la chaleur Q_b est cédée par le fluide de travail G_T à un puits froid à la température T_b et le travail net W est délivré par la machine. À l'inverse, en mode pompe à chaleur, la chaleur Q_b est prélevée par le fluide de travail G_T à la source froide T_b , la chaleur Q_h est cédée par le fluide de travail au puits chaud à la température T_h et le travail net W est consommé par la machine.

[0003] D'après le 2^{ème} principe de la thermodynamique, l'efficacité d'une machine ditherme (motrice ou réceptrice), c'est-à-dire une machine réelle fonctionnant ou non selon le cycle de Carnot, est au plus égale à celle de la machine de Carnot idéale et ne dépend que des températures de la source et du puits. Toutefois la réalisation pratique du cycle de Carnot, constitué de deux étapes isothermes (aux températures T_h et T_b) et deux étapes adiabatiques réversibles se heurte à plusieurs difficultés qui n'ont pas été complètement résolues jusqu'à présent. Au cours du cycle, le fluide de travail peut rester toujours à l'état gazeux ou subir un changement d'état liquide/vapeur pendant les transformations isothermes à T_h et T_b . Lorsqu'il se produit un changement d'état liquide/vapeur, les transferts de chaleur entre la machine et l'environnement s'effectuent avec une efficacité plus grande que lorsque le fluide de travail reste à l'état gazeux. Dans le premier cas et pour de mêmes puissances thermiques échangées au niveau de la source et du puits de chaleur, les surfaces d'échanges sont plus faibles (donc moins coûteuses). Toutefois, lorsqu'il y a un changement d'état liquide/vapeur, les étapes adiabatiques réversibles consistent à comprimer et à détendre un mélange biphasique liquide/vapeur. Les techniques de l'art antérieur ne permettent pas d'effectuer des compressions ou des détente de mélanges biphasiques. Selon l'art antérieur actuel, on ne sait pas réaliser correctement ces transformations.

[0004] Pour remédier à ce problème, il a été envisagé de se rapprocher du cycle de Carnot en comprimant isentropiquement un liquide et en détendant isentropiquement une vapeur surchauffée (pour un cycle moteur) et en comprimant la vapeur surchauffée et en détendant isenthalpiquement le liquide (pour un cycle récepteur). Toutefois, de telles modifications induisent des irréversibilités dans le cycle et diminuent de façon très significative son efficacité, c'est-à-dire le rendement du moteur ou le coefficient de performance ou d'amplification de la pompe à chaleur.

[0005] Le document WO97/16629 décrit par exemple un dispositif de production électrique par le déplacement d'un liquide à travers un moteur hydraulique. Le déplacement du liquide est obtenu en pressurant une chambre vers une autre chambre dépressurisée à plus basse pression.

DEFINITION GENERALE DE L'INVENTION

[0006] Le but de la présente invention est de fournir une machine thermodynamique fonctionnant selon un cycle proche du cycle de Carnot, améliorée par rapport aux machines de l'art antérieur, c'est-à-dire une machine qui fonctionne avec un changement d'état liquide/vapeur du fluide de travail pour conserver l'avantage des faibles surfaces de contact requises, tout en limitant de façon substantielle les irréversibilités dans le cycle au cours des étapes adiabatiques.

[0007] Un objet de la présente invention est constitué par une installation pour la production de froid, de chaleur et/ou de travail, comprenant au moins une machine de Carnot modifiée. Un autre objet de l'invention est constitué par un procédé de production de froid, de chaleur et/ou de travail, à l'aide d'une installation comprenant au moins une machine de Carnot modifiée.

[0008] Une installation pour la production de froid, de chaleur ou de travail, selon la présente invention comprend au moins une machine de Carnot modifiée constituée par :

- a) Un 1^{er} ensemble qui comprend un évaporateur Evap associé à une source de chaleur, un condenseur Cond associé à un puits de chaleur, un dispositif DPD de pressurisation ou de détente d'un fluide de travail G_T , des moyens de transfert du fluide de travail G_T entre le condenseur Cond et DPD, et entre l'évaporateur Evap et DPD ;
- b) Un 2^{ème} ensemble qui comprend deux enceintes de transfert CT et CT' qui contiennent un liquide de transfert L_T et le fluide de travail G_T sous forme de liquide et/ou de vapeur, le liquide de transfert L_T et le fluide de travail étant deux fluides différents ;
- c) des moyens de transfert sélectif du fluide de travail G_T entre le condenseur Cond et chacune des enceintes de transfert CT et CT' d'une part, entre l'évaporateur Evap et chacune de enceintes de transfert CT et CT' d'autre part ;

EP 2 283 210 B1

d) des moyens de transfert sélectif du liquide L_T entre les enceintes de transfert CT et CT' et le dispositif de compression ou de détente DPD, lesdits moyens comprenant au moins un convertisseur hydraulique.

[0009] Dans le présent texte :

5 "cycle de Carnot modifié" signifie un cycle thermodynamique comprenant les étapes du cycle de Carnot théorique ou des étapes similaires avec un degré de réversibilité inférieur à 100% ;

- "machine de Carnot modifiée" désigne une machine qui présentent les caractéristiques a), b), c) et d) ci-dessus ;
- "convertisseur hydraulique" désigne soit une pompe hydraulique, soit un moteur hydraulique ;
- 10 - "pompe hydraulique" désigne un dispositif qui utilise de l'énergie mécanique fournie par l'environnement à la "machine de Carnot modifiée" pour pomper un fluide hydraulique de transfert L_T à basse pression et le restituer à plus haute pression ;
- "pompe hydraulique auxiliaire" désigne un dispositif qui utilise de l'énergie mécanique fournie par l'environnement à la "machine de Carnot modifiée" ou prélevée sur le travail délivré à l'environnement par la "machine de Carnot modifiée" pour pressuriser soit le liquide de transfert L_T soit le fluide de travail G_T à l'état liquide ;
- 15 - "moteur hydraulique" désigne un dispositif qui délivre à l'environnement de l'énergie mécanique générée par la machine de Carnot modifiée en dépressurant le liquide de transfert L_T à haute pression et en le restituant à plus basse pression ;
- "environnement" désigne tout élément extérieur à la machine de Carnot modifiée, incluant les sources et puits de chaleur et tout élément de l'installation auquel la machine de Carnot modifiée serait raccordée ;
- "transformation réversible" signifie une transformation réversible au sens strict, ainsi qu'une transformation quasi réversible. La somme des variations d'entropie du fluide qui subit la transformation et de l'environnement est nulle lors d'une transformation strictement réversible correspondant au cas idéal, et légèrement positive lors d'une transformation réelle, quasi-réversible. Le degré de réversibilité d'un cycle peut se quantifier par le rapport entre le rendement (ou le coefficient de performance COP) du cycle et celui du cycle de Carnot fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes. Plus la réversibilité du cycle est grande, plus ce rapport est proche (par valeur inférieure) de 1.
- 25 - "transformation isotherme" signifie une transformation strictement isotherme ou dans des conditions proches de la nature isotherme théorique, sachant que, dans des conditions de mise en oeuvre réelles, lors d'une transformation considérée comme isotherme effectuée de manière cyclique, la température T subit de légères variations, telles que $\Delta T/T$ de $\pm 10\%$;
- 30 - "transformation adiabatique" signifie une transformation sans aucun échange de chaleur avec l'environnement ou avec des échanges de chaleur que l'on cherche à minimiser en isolant thermiquement le fluide qui subit la transformation et l'environnement.

35 **[0010]** Le procédé de production de froid, de chaleur et/ou de travail selon l'invention consiste à faire subir à un fluide de travail G_T une succession de cycles de Carnot modifiés dans une installation selon l'invention comprenant au moins une machine de Carnot modifiée. Un cycle de Carnot modifié comprend les transformations suivantes:

- une transformation isotherme avec échange de chaleur entre G_T et la source, respectivement le puits de chaleur ;
- 40 - une transformation adiabatique avec diminution de la pression du fluide de travail G_T ;
- une transformation isotherme avec échange de chaleur entre G_T et le puits, respectivement la source de chaleur ;
- une transformation adiabatique avec augmentation de la pression du fluide de travail G_T .

45 **[0011]** Le procédé est caractérisé en ce que :

- le fluide de travail est sous forme biphasique liquide-gaz au moins pendant les deux transformations isothermes d'un cycle,
- les deux transformations isothermes produisent ou sont produites par un changement de volume de G_T concomitant avec le déplacement d'un liquide de transfert L_T qui entraîne ou est entraîné par un convertisseur hydraulique, et en conséquence, du travail est fourni ou reçu par l'installation par l'intermédiaire d'un fluide hydraulique qui traverse un convertisseur hydraulique pendant au moins les deux transformations isothermes.
- 50

55 **[0012]** Dans un mode de réalisation, le travail est reçu ou fourni par l'installation par l'intermédiaire d'un fluide hydraulique qui traverse un convertisseur hydraulique pendant une seule des transformations adiabatiques. Dans ce mode de réalisation, le cycle de Carnot modifié et la machine de Carnot modifiée sont dits "du 1^{er} type".

[0013] Dans un mode de réalisation, le travail est reçu ou fourni par l'installation par l'intermédiaire d'un fluide hydraulique qui traverse un convertisseur hydraulique pendant les deux transformations adiabatiques. Dans ce mode de réa-

lisation, le cycle de Carnot modifié et la machine de Carnot modifiée sont dits "du 2^{ème} type".

DESCRIPTION DES FIGURES

5 [0014]

La figure 1 représente les courbes d'équilibre liquide/ vapeur pour divers fluides utilisables comme fluide de travail G_T . La pression de vapeur saturante P (en bar) est donnée en ordonnée, en échelle logarithmique, en fonction de la température T (en °C) donnée en abscisse.

10

La figure 2 représente une vue schématique d'une machine de Carnot modifiée motrice de 2^{ème} type.

La figure 3 représente dans le diagramme de Mollier des frigoristes un cycle de Carnot modifié moteur suivi par un fluide de travail G_T . La pression P est donnée en échelle logarithmique, en fonction de l'enthalpie massique h du fluide de travail.

15

La figure 4 représente dans un diagramme de Mollier trois cycles de Carnot modifiés moteurs du 2^{ème} type qui ont une même température T_b du fluide de travail au cours de l'échange de chaleur avec le puits froid et des températures croissantes T'_h , T_h et T_h du fluide de travail au cours de l'échange de chaleur avec la source chaude.

20

La figure 5 est une représentation schématique d'une machine de Carnot modifiée motrice de 1^{er} type.

La figure 6 représente dans le diagramme de Mollier un cycle de Carnot modifié moteur du 1^{er} type suivi par un fluide de travail G_T . La pression P est donnée en échelle logarithmique, en fonction de l'enthalpie massique h du fluide de travail

25

La figure 7 représente une vue schématique d'une machine de Carnot modifiée réceptrice de 2^{ème} type.

La figure 8 représente dans le diagramme de Mollier un cycle de Carnot modifié récepteur du 2^{ème} type suivi par un fluide de travail G_T . La pression P est donnée en échelle logarithmique, en fonction de l'enthalpie massique h du fluide de travail.

30

La figure 9 représente une vue schématique d'une machine de Carnot modifiée réceptrice de 1^{er} type.

La figure 10 représente dans le diagramme de Mollier un cycle de Carnot modifié récepteur du 1^{er} type suivi par un fluide de travail G_T . La pression P est donnée en échelle logarithmique, en fonction de l'enthalpie massique h du fluide de travail.

35

La figure 11 représente une vue schématique d'une machine de Carnot modifiée pouvant fonctionner selon le choix de l'utilisateur selon le mode moteur 1^{er} type ou récepteur de 1^{er} type.

40

Les figures 12a et 12b illustrent schématiquement deux modes de réalisation de machines de Carnot modifiées motrices fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes T_h et T_b et en indiquant le sens des échanges de chaleur et de travail entre ces machines et l'environnement. La figure 12a représente un mode de réalisation d'un couplage thermique à un niveau de température intermédiaire entre deux machines de Carnot modifiées motrices. La figure 12b représente un autre mode de réalisation avec une seule machine de Carnot modifiée motrice.

45

La figure 13 représente schématiquement les niveaux de température des sources et puits de chaleur et le sens des échanges de chaleur et de travail, dans une installation comprenant une machine de Carnot modifiée motrice haute température couplée mécaniquement à une machine de Carnot modifiée réceptrice basse température.

50

La figure 14 représente schématiquement les niveaux de température des sources et puits de chaleur et le sens des échanges de chaleur et de travail, dans une installation comprenant une machine de Carnot modifiée motrice basse température couplée mécaniquement à une machine de Carnot modifiée réceptrice haute température.

55

Les figures 15a à 15h représentent schématiquement les échanges de chaleur et de travail entre une machine (ou des associations de machines) de Carnot modifiée(s) et l'environnement, ainsi que les températures des sources et puits de chaleur, pour 8 exemples impliquant différents fluides de travail.

Les figures 16, 17 et 18 représentent respectivement dans les diagrammes de Mollier de l'eau, du n-butane et du 1,1,1,2-tétrafluoroéthane les différents cycles de Carnot modifiés qui sont impliqués dans les 8 exemples de la figure 15.

5 DESCRIPTION DETAILLÉE DE L'INVENTION

[0015] Dans une installation selon la présente invention, une machine de Carnot modifiée peut avoir une configuration de machine motrice ou de machine réceptrice. Dans les deux cas, la machine peut être du 1^{er} type (échange de travail entre le liquide de transfert et l'environnement pendant l'une des transformations adiabatiques) ou du 2^{ème} type (échange de travail entre le liquide de transfert et l'environnement pendant les deux transformations adiabatiques). Une machine de Carnot modifiée peut en outre avoir une configuration qui permet, selon le choix de l'utilisateur, un fonctionnement en mode moteur (1^{er} ou 2^{ème} type) ou en mode récepteur (1^{er} ou 2^{ème} type).

[0016] Le procédé de gestion d'une machine motrice comprend au moins une étape au cours de laquelle on apporte de la chaleur à l'installation, en vue de récupérer du travail au cours d'au moins l'une des transformations du cycle de Carnot modifié. Le procédé de gestion d'une machine réceptrice comprend au moins une étape au cours de laquelle on apporte du travail à l'installation, en vue de récupérer de la chaleur au puits chaud à T_h ou de prélever de la chaleur à la source froide à T_b au cours d'au moins l'une des transformations isothermes du cycle de Carnot modifié.

[0017] Le procédé selon la présente invention consiste à soumettre un fluide de travail G_T à une succession de cycles entre une source de chaleur et un puits de chaleur. Dans la suite, par souci de simplification et parce que cela n'affecte pas le principe de fonctionnement de la machine de Carnot modifiée, on ne distingue pas la température de la source ou du puits chaud de celle du fluide de travail qui échange avec cette source ou ce puits, ces températures étant désignées par T_h . De même, on ne distingue pas la température de la source ou du puits froid de celle du fluide de travail qui échange avec cette source ou ce puits, ces températures étant désignées par T_b . On considère ainsi que les échangeurs de chaleur sont parfaits.

[0018] Le fluide de travail G_T et le liquide de transfert L_T sont choisis de préférence de telle sorte que G_T soit faiblement soluble, de préférence insoluble dans L_T , que G_T ne réagisse pas avec L_T et que G_T à l'état liquide soit moins dense que L_T . Lorsque la solubilité de G_T dans L_T est trop importante ou si G_T à l'état liquide est plus dense que L_T , il est nécessaire de les isoler l'un de l'autre par un moyen qui n'empêche pas l'échange de travail. Ledit moyen peut consister par exemple à interposer entre G_T et L_T une membrane souple qui crée une barrière imperméable entre les deux fluides mais qui n'oppose qu'une très faible résistance au déplacement du liquide de transfert ainsi qu'une faible résistance au transfert thermique. Une autre solution est constituée par un flotteur qui a une densité intermédiaire entre celle du fluide de travail G_T à l'état liquide et celle du liquide de transfert L_T . Un flotteur peut constituer une barrière matérielle grande, mais il est difficile de la rendre parfaitement efficace si l'on ne veut pas de frottements sur la paroi latérale des enceintes CT et CT'. En revanche le flotteur peut constituer une résistance thermique très efficace. Les deux solutions (membrane et flotteur) peuvent être combinées.

[0019] Le liquide de transfert L_T est choisi parmi les liquides qui ont une faible pression de vapeur saturante à la température de fonctionnement de l'installation, afin d'éviter, en absence de membrane séparatrice telle que décrite ci-dessus, les limitations dues à la diffusion des vapeurs de G_T à travers la vapeur de L_T au niveau du condenseur ou de l'évaporateur. Sous réserve des compatibilités avec G_T mentionnées précédemment et à titre d'exemples non exhaustifs, L_T peut être l'eau, ou une huile minérale ou de synthèse, ayant de préférence une faible viscosité.

[0020] Le fluide de travail G_T subit des transformations dans le domaine thermodynamique de température et pression de préférence compatible avec l'équilibre liquide - vapeur, c'est-à-dire entre la température de fusion et la température critique. Toutefois au cours du cycle de Carnot modifié, certaines de ces transformations peuvent intervenir en totalité ou en partie dans le domaine du liquide sous-refroidi ou de la vapeur surchauffée, ou le domaine supercritique. Un fluide de travail est choisi de préférence parmi les corps purs et les mélanges azéotropiques, pour avoir une relation mono-variante entre la température et la pression à l'équilibre liquide - vapeur. Toutefois, une machine de Carnot modifiée selon l'invention peut également fonctionner avec une solution non azéotropique en tant que fluide de travail.

[0021] Le fluide de travail G_T peut être par exemple l'eau, CO_2 , ou NH_3 . Le fluide de travail peut en outre être choisi parmi les alcools ayant 1 à 6 atomes de carbone, les alcanes ayant de 1 à 18 (plus particulièrement de 1 à 8) atomes de carbone, les chlorofluoroalcanes ayant de préférence de 1 à 15 (plus particulièrement de 1 à 10) atomes de carbone, et les alcanes partiellement ou totalement fluorés ou chlorés ayant de préférence de 1 à 15 (plus particulièrement de 1 à 10) atomes de carbone. On peut citer en particulier le 1,1,1,2-tétrafluoroéthane, le propane, l'isobutane, le n-butane, le cyclobutane, ou le n-pentane. La figure 1 représente les courbes d'équilibre liquide/vapeur pour quelques uns des fluides G_T précités. La pression de vapeur saturante P (en bar) est donnée en ordonnée, en échelle logarithmique, en fonction de la température T (en °C) donnée en abscisse.

[0022] Un fluide utilisable comme fluide de travail peut intervenir en tant que fluide moteur ou en tant que fluide récepteur, en fonction de l'installation dans laquelle il est utilisé, des sources de chaleur disponibles, et du but recherché.

[0023] De manière générale, les fluides de travail et les liquides de transfert sont choisis d'abord en fonction des

températures des sources de chaleur et des puits de chaleur disponibles, ainsi que des pressions de vapeur saturantes maximales ou minimales souhaitées dans la machine, ensuite en fonction d'autres critères tels que notamment la toxicité, l'influence pour l'environnement, la stabilité chimique, et le coût.

[0024] Le fluide G_T peut être dans les enceintes CT ou CT' à l'état de mélange biphasique liquide/vapeur à l'issue de l'étape de détente adiabatique pour le cycle moteur ou de compression adiabatique pour le cycle récepteur. Dans ce cas la phase liquide de G_T s'accumule à l'interface entre G_T et L_T . Lorsque la teneur en vapeur de G_T est grande (typiquement compris entre 0,95 et 1) dans les enceintes CT ou CT' avant la connexion desdites enceintes avec le condenseur, on peut envisager d'éliminer totalement la phase liquide de G_T dans ces enceintes. Cette élimination peut être effectuée en maintenant la température du fluide de travail G_T dans les enceintes CT ou CT' à la fin des étapes de mise en communication des enceintes CT ou CT' et du condenseur, à une valeur supérieure à celle du fluide de travail G_T , à l'état liquide dans le condenseur, de sorte que il n'y ait pas de G_T liquide dans CT ou CT' à cet instant.

[0025] Dans un mode de réalisation, l'installation comprend des moyens d'échange de chaleur entre d'une part la source et le puits de chaleur qui sont à des températures différentes, et d'autre part l'évaporateur Evap, le condenseur Cond et éventuellement le fluide de travail G_T dans les enceintes de transfert CT et CT'.

[0026] Lorsque le convertisseur hydraulique de la machine de Carnot modifiée est un moteur hydraulique et la température de la source est supérieure à la température du puits, la machine de Carnot modifiée est motrice. Une installation selon la présente invention peut comprendre une machine de Carnot modifiée motrice seule, ou couplée à un dispositif complémentaire, en fonction du but recherché. Le couplage peut être effectué par voie thermique ou par voie mécanique.

[0027] Dans une machine de Carnot modifiée motrice de 1^{er} type, le dispositif DPD consiste en un dispositif qui pressurise le fluide de travail G_T à l'état de liquide saturé ou de liquide sous-refroidi, par exemple une pompe hydraulique auxiliaire PHA₁.

[0028] Dans une machine de Carnot modifiée motrice de 2^{ème} type, le dispositif DPD de pressurisation ou de détente comprend d'une part une enceinte de compression/détente ABCD et les moyens de transfert qui y sont associés et d'autre part une pompe hydraulique auxiliaire PHA₂ qui pressurise le fluide hydraulique de transfert L_T .

[0029] Dans un procédé selon l'invention mis en oeuvre selon un cycle de Carnot modifié moteur, le cycle comprend les transformations suivantes :

- une transformation isotherme au cours de laquelle on fournit de la chaleur à G_T à partir de la source de chaleur à la température T_h ;
- une transformation adiabatique avec diminution de la pression du fluide de travail G_T ;
- une transformation isotherme au cours de laquelle de la chaleur est fournie par G_T au puits de chaleur à la température T_b inférieure à la température T_h ;
- une transformation adiabatique avec augmentation de la pression du fluide de travail G_T .

[0030] Lorsque le procédé de l'invention est une succession de cycles de Carnot modifiés moteurs, la source de chaleur est à une température supérieure à la température du puits de chaleur. Chaque cycle est constitué par une succession d'étapes au cours desquelles il y a un changement de volume du fluide de travail G_T . Cette variation de volume provoque un déplacement du liquide L_T qui entraîne un moteur hydraulique ou est provoquée par un déplacement du liquide L_T qui est entraîné par une pompe hydraulique auxiliaire. Ainsi l'installation consomme du travail durant certaines étapes et en restitue durant d'autres étapes, tandis que sur le cycle complet il y a une production nette de travail vers l'environnement. L'environnement peut être un dispositif annexe qui transforme le travail fourni par l'installation en électricité, en chaleur ou en froid. Un procédé de fonctionnement d'une machine de Carnot modifiée motrice est décrit plus en détail à partir d'une machine représentée de manière schématique sur la figure 2.

[0031] La figure 2 représente une vue schématique d'une machine de Carnot modifiée motrice de 2^{ème} type, qui comprend un évaporateur Evap, un condenseur Cond, une enceinte de compression/détente isentropique ABCD, un moteur hydraulique MH, une pompe hydraulique auxiliaire PHA₂ et deux enceintes de transfert CT et CT'. Ces différents éléments sont reliés entre eux par un premier circuit contenant exclusivement le fluide de travail G_T , et un second circuit contenant exclusivement le liquide de transfert L_T . Lesdits circuits comprennent différentes ramifications obturables par des vannes commandées.

[0032] L'évaporateur Evap et le condenseur Cond contiennent exclusivement le fluide G_T en général à l'état de mélange liquide/ vapeur. Toutefois, selon le fluide de travail G_T et la température de la source chaude T_h , ledit fluide de travail G_T peut se trouver dans le domaine supercritique à ladite température T_h et dans ces conditions l'évaporateur Evap ne contient que G_T à l'état gazeux. Le moteur MH et la pompe PHA₂ sont traversés exclusivement par du liquide L_T . Les éléments ABCD, CT et CT' constituent les interfaces entre les deux circuits (G_T et L_T) et ils contiennent le fluide hydraulique de transfert L_T dans la partie inférieure et/ou le fluide de travail G_T à l'état liquide, vapeur ou mélange liquide-vapeur

dans la partie supérieure.

[0033] ABCD est relié à Cond et à Evap par des circuits contenant G_T et obturables respectivement par les électrovannes EV_3 et EV_4 . Evap est relié à CT et CT' par des circuits contenant G_T et obturables respectivement par les électrovannes EV_1 et EV_1' . Cond est relié à CT et CT' par des circuits contenant G_T et obturables respectivement par les électrovannes EV_2 et EV_2' . Sur le mode de réalisation représenté sur la figure 2, les moyens d'obturation sont des électrovannes deux voies. D'autres types de vannes commandées ou pas peuvent cependant être utilisées, notamment des vannes pneumatiques, des vannes à tiroir, ou des clapets anti-retour. Certaines paires de vannes deux voies (c'est-à-dire ayant une entrée et une sortie) peuvent être remplacées par des vannes trois voies (une entrée, deux sorties ou deux entrées et une sortie). D'autres associations de vannes possibles sont à la portée de l'homme de métier.

[0034] Sur le mode de réalisation représenté sur la figure 2, le liquide traversant le moteur hydraulique circule toujours dans le même sens. Dans ce mode de réalisation, qui est le plus fréquent pour un moteur hydraulique, le liquide de transfert L_T à haute pression est toujours raccordé sur le moteur MH à la même entrée (à droite dans la figure 2) et le liquide de transfert L_T à basse pression est toujours raccordé sur le moteur MH à la même sortie (à gauche dans la figure 2). Comme les enceintes CT et CT' sont alternativement à haute pression et à basse pression, un jeu d'électrovannes permet de les connecter aux entrée/sortie adéquates du moteur MH. Ainsi, le moteur hydraulique MH est relié en entrée (ou amont) à CT et CT' par un circuit contenant L_T à haute pression et obturable respectivement par les électrovannes EV_h et EV_h' , en sortie (ou aval) à CT et CT' par un circuit contenant L_T à basse pression et obturable respectivement par les électrovannes EV_b et EV_b' . Par exemple dans l'étape du cycle représentée à la figure 2, la haute pression se trouve dans l'enceinte CT' et la basse pression dans CT; les électrovannes EV_h et EV_b sont ouvertes et les électrovannes EV_h' et EV_b' sont fermées; le liquide de transfert s'écoule à travers MH de la droite vers la gauche. Durant l'autre moitié du cycle, la haute pression est dans CT et la basse pression est dans CT', les électrovannes EV_h et EV_b sont fermées et les électrovannes EV_h' et EV_b' sont ouvertes, mais le liquide de transfert traverse le moteur hydraulique dans le même sens (de droite à gauche).

[0035] ABCD est relié dans sa partie inférieure à l'aval de MH par un circuit contenant le liquide de transfert L_T et comprenant dans deux branches en parallèle la pompe hydraulique auxiliaire PHA_2 et l'électrovanne EV_r . Quand L_T circule de MH vers ABCD, il est pressurisé par PHA_2 et EV_r est fermée. Quand L_T circule de ABCD vers MH, il s'écoule par gravité, EV_r est ouverte et PHA_2 est arrêtée. Le liquide de transfert L_T étant finalement transvasé vers CT ou CT', il est nécessaire que ABCD se trouve au dessus des enceintes CT et CT'.

[0036] Sur la figure 2, l'axe AX du moteur hydraulique MH est raccordé à un récepteur (c'est-à-dire un élément consommant du travail), soit directement soit par l'intermédiaire d'un couplage classique. Le récepteur est un alternateur ALT, couplé directement à l'axe du moteur hydraulique, et la pompe hydraulique auxiliaire PHA_2 est raccordée par l'intermédiaire d'un embrayage magnétique EM. D'autres modes de couplages, tels qu'un cardan, une courroie, un embrayage magnétique ou mécanique peuvent être utilisés. De même, d'autres récepteurs peuvent être raccordés sur le même axe, par exemple une pompe à eau, une machine de Carnot modifiée réceptrice, une pompe à chaleur classique (à compression mécanique de vapeur). Si nécessaire, un volant d'inertie peut aussi être monté sur cet axe pour favoriser l'enchaînement des étapes réceptrices et motrices du cycle.

[0037] Un cycle de Carnot modifié peut être décrit dans le diagramme de Mollier des frigoristes, qui donne la pression P, en échelle logarithmique, en fonction de l'enthalpie massique h du fluide de travail. La figure 3 représente le diagramme de Mollier du cycle de Carnot modifié moteur suivi par le fluide de travail G_T .

[0038] Selon le fluide G_T retenu, l'étape de détente isentropique de la vapeur saturée en sortie de l'évaporateur peut conduire à un mélange biphasique ou à de la vapeur surchauffée. Dans la figure 3, le cas du mélange biphasique est représenté par la trajectoire entre les points "c" et "d" en pointillé et le cas de la vapeur surchauffée est représenté par la trajectoire entre les points "c" et "d_{vs}" en trait continu. En outre, quel que soit G_T , la vapeur en sortie de l'évaporateur peut être surchauffée de telle sorte qu'après la détente isentropique il n'y ait que de la vapeur surchauffée ou à la limite saturée. Ce 3^{ème} cas est représenté dans la figure 3 par la trajectoire entre les points "c_{vs}" et "d_{vs}" en trait mixte. Toute incursion en début ou en fin de détente isentropique dans le domaine de la vapeur surchauffée génère des irréversibilités et induit donc une diminution du rendement du cycle. Toutefois lorsque la position du point "d" est très proche de l'état de vapeur saturée, il est préférable d'éliminer toute présence de G_T liquide dans les enceintes CT ou CT' en réalisant une surchauffe de G_T en sortie de la détente isentropique. Le choix du moyen pour apporter de la chaleur à G_T dans CT et CT' est à la portée de l'homme de métier. L'apport de chaleur peut être fait par exemple par une résistance électrique ou par échange avec la source chaude à T_h . L'échange de chaleur peut être fait dans un échangeur intégré au circuit de L_T , ledit L_T échangeant à son tour avec G_T à leur interface dans CT et CT'. L'échange peut en outre est effectué au niveau de la paroi latérale de CT et CT'. C'est cette dernière possibilité qui est représentée dans la figure 2, sur laquelle de la chaleur à la température T_i est apportée à G_T .

[0039] Le cycle de Carnot modifié moteur est constitué par 4 phases successives débutant respectivement aux instants t_α , t_γ , t_δ et t_λ . Il est décrit ci-après par référence au cycle a-b-c-d_{vs}-e-a du diagramme de Mollier représenté sur la figure 3. Le principe est identique pour le cycle a-b-c_{vs}-d_{vs}-e-a.

Phase $\alpha\beta\gamma$ (entre les instants t_α et t_γ) :

[0040] À l'instant précédant immédiatement t_α , le niveau de L_T est bas (noté B) dans ABCD et le cylindre CT, et haut (noté H) dans le cylindre CT'. Au même instant, la pression de vapeur saturante de G_T a une valeur basse P_b dans ABCD et CT, et une valeur haute P_h dans Evap et CT'. C'est à cet instant du cycle que correspond la configuration de l'installation représentée schématiquement à la figure 2.

[0041] À l'instant t_α , l'ouverture des électrovannes EV_1 , EV_2 , $EV_{h'}$ et EV_b et l'embrayage de PHA_2 provoquent les phénomènes suivants :

- La vapeur saturée de G_T sortant de l'évaporateur à P_h , pénètre dans CT' et refoule le liquide de transfert L_T à un niveau intermédiaire (noté J). L_T passe à travers le moteur MH en se détendant, ce qui produit du travail dont une partie est récupérée par la pompe PHA_2 .
- Après avoir été détendu par MH, une partie du liquide de transfert L_T est transférée vers CT et l'autre partie du liquide L_T est transférée vers ABCD. Dans CT, L_T passe du niveau bas au niveau intermédiaire (noté I), refoule les vapeurs de G_T vers le condenseur où elles se condensent et s'accumulent en partie inférieure (les vannes EV_2 étant ouverte et EV_3 fermée). L'autre partie de L_T est aspirée par la pompe PHA_2 et refoulée à plus haute pression vers ABCD ce qui permet de comprimer de façon isentropique le mélange liquide/vapeur de G_T contenu dans cette enceinte.

[0042] Sur le diagramme de Mollier (figure 3), cette étape correspond aux transformations simultanées suivantes:

- * a \rightarrow b dans l'enceinte ABCD;
- * b \rightarrow c dans l'ensemble Evap-CT';
- * $d_{vs} \rightarrow$ e dans l'ensemble CT-Cond.

[0043] La pressurisation de G_T à partir de la basse pression P_b jusqu'à la haute pression P_h dans ABCD doit être réalisée avant son introduction dans l'évaporateur qui est toujours à la pression haute P_h . C'est donc seulement à l'instant t_β que l'électrovanne EV_4 (qui peut être remplacée par un clapet anti-retour) entre ABCD et Evap est ouverte. Ceci nécessite d'avoir un stock de G_T à l'état liquide dans l'évaporateur au début de cette phase, stock qui est reconstitué à la fin de cette étape.

[0044] D'un point de vue énergétique, durant cette phase $\alpha\beta\gamma$, de la chaleur Q_h a été consommée au niveau de l'évaporateur à T_h , de la chaleur Q_{de} a été relâchée au niveau du condenseur à T_b ($T_b < T_h$) et un travail $W_{\alpha\beta\gamma}$ net a également été délivré à l'extérieur.

Phase $\gamma\delta$ (entre les instants t_γ et t_δ)

[0045] À l'instant t_γ , c'est-à-dire lorsque le niveau de L_T a atteint les valeurs prédéfinies (I dans CT, J dans CT' et H dans ABCD), on laisse EV_2 , EV_b et $EV_{h'}$ ouvertes et on ouvre les électrovannes EV_3 et EV_r . Il en résulte que :

- La vapeur de G_T contenue dans CT' continue à s'expanser, mais de manière quasi-adiabatique (transformation c \rightarrow d \rightarrow d_{vs} sur le diagramme de Mollier, figure 3) et refoule toujours le liquide de transfert L_T à travers le moteur MH dans le cylindre CT.
En fait cette transformation peut être décomposée en une détente strictement adiabatique (c \rightarrow d) qui aboutit selon le fluide G_T dans le domaine biphasique ou dans la vapeur surchauffée, suivie d'une légère surchauffe (d \rightarrow d_{vs}) par les parois de CT' maintenues à une température suffisante pour le permettre (comprise entre T_b et T_h). La transformation d \rightarrow d_{vs} n'est pas obligatoire ; si à l'issue de la détente strictement adiabatique (c \rightarrow d) le fluide G_T se trouve dans le domaine biphasique, le liquide G_T sera partiellement refoulé à la fin de cette phase $\gamma\delta$ dans le condenseur.
- L'enceinte ABCD en communication avec le condenseur est ramenée à la pression basse et le liquide de transfert L_T qu'elle contient dans sa partie inférieure s'écoule par gravité vers CT qui doit donc se trouver préférentiellement au dessous de ABCD. Toutefois si l'électrovanne EV_r est ouverte un peu avant l'électrovanne EV_3 et s'il reste un peu de G_T à l'état de liquide saturé dans la partie supérieure de ABCD, alors la dépressurisation de L_T lors de la mise en communication avec CT induit une vaporisation partielle ou totale dudit reste de G_T liquide initialement à la pression haute P_h . Dans ces conditions la pression en amont de EV_r peut être suffisante durant toute la durée du transfert de L_T pour compenser la hauteur de colonne de liquide et l'enceinte ABCD n'est alors pas obligatoirement au dessus des enceintes CT et CT'.
- En raison de la montée du niveau de L_T (de I à H) dans CT, le reste des vapeurs de G_T dans CT se condense dans Cond (transformation e \rightarrow a).

EP 2 283 210 B1

- Tous les condensats (ceux accumulés à la phase précédente et ceux de la présente phase) se retrouvent dans ABCD.

[0046] D'un point de vu énergétique, durant cette phase $\gamma\delta$, de la chaleur Q_{ea} est relâchée au niveau du condenseur à T_b , un peu de chaleur (prélevée sur la source chaude à T_h) est éventuellement consommée au niveau de CT' pour assurer la surchauffe $d \rightarrow d_{vs}$ et un travail $W_{\beta\gamma}$ est également délivré à l'extérieur.

[0047] La deuxième partie du cycle est symétrique : l'évaporateur, le condenseur et ABCD sont le siège des mêmes transformations successives, tandis que les rôles des enceintes CT et CT' sont intervertis.

Phase $\delta\varepsilon\lambda$ (entre les instants t_δ et t_λ) :

[0048] Elle est équivalente à la phase $\alpha\beta\gamma$ mais avec intervention des enceintes de transfert CT et CT'.

Phase $\lambda\alpha$ (entre les instants t_λ et t_α):

[0049] Elle est équivalente à la phase $\gamma\delta$ mais avec intervention des enceintes de transfert CT et CT'.

[0050] À l'issue de la phase $\lambda\alpha$, la machine de Carnot modifiée motrice de 2^{ème} type se retrouve à l'état α du cycle décrit ci-dessus. Les diverses transformations thermodynamiques suivies par le fluide G_T (avec la transformation $d \rightarrow d_{vs}$ considérée comme optionnelle) et les niveaux du liquide de transfert L_T sont résumés dans le tableau 1. L'état des actionneurs (électrovannes et embrayage de la pompe PHA₂) est résumé dans le tableau 2, dans lequel x signifie que l'électrovanne correspondante est ouverte ou que la pompe PHA₂ est embrayée.

Tableau 1

Étape	Transformation	Lieu	Niveau de LT		
			CT	CT'	ABCD
$\alpha\beta\gamma$	$a \rightarrow b$	ABCD	B→I	H→J	B→H
	$b \rightarrow c$	Evap + CT'			
	d ou $d_{vs} \rightarrow e$	CT + Cond			
$\gamma\delta$	$c \rightarrow d$ ou d_{vs}	CT'	I→H	J→B	H→B
	$e \rightarrow a$	CT + Cond + ABCD			
$\delta\varepsilon\lambda$	$a \rightarrow b$	ABCD	H→J	B→I	B→H
	$b \rightarrow c$	Évap + CT			
	d ou $d_{vs} \rightarrow e$	CT' + Cond			
$\lambda\alpha$	$c \rightarrow d$ ou d_{vs}	CT	J→B	I→H	H→B
	$e \rightarrow a$	CT' + Cond + ABCD			

Tableau 2

Étape	EV ₁	EV _{1'}	EV ₂	EV _{2'}	EV ₃	EV ₄	EV _b	EV _h	EV _{b'}	EV _{h'}	EV _r	PHA ₂
$\alpha\beta\gamma$		x	x			x (à t_β)	x			x		x
$\gamma\delta$			x		x		x			x	x	
$\delta\varepsilon\lambda$	X			x	x	x (à t_ε)		x	x			x
$\lambda\alpha$				x	x			x	x		x	

[0051] La production de travail est continue pendant toute la durée du cycle, mais pas à puissance constante soit parce que la différence de pression aux bornes du moteur hydraulique varie, soit parce qu'une partie, variable dans le temps, de ce travail est récupérée par la pompe hydraulique auxiliaire PHA₂. Ceci n'est pas gênant si le travail fourni à l'extérieur sert directement pour une machine réceptrice qui n'a pas besoin d'être constante à l'intérieur du cycle, telle qu'une pompe à eau ou une machine de Carnot modifiée réceptrice. Bien entendu, la puissance moyenne sur un cycle reste constante d'un cycle à l'autre, lorsqu'un régime permanent de fonctionnement est atteint et si les températures T_h

et T_b restent constantes.

[0052] Par ailleurs, l'évaporateur est isolé du reste du circuit pendant les phases $\gamma\delta$ et $\lambda\alpha$ alors que l'apport de chaleur par la source chaude à T_h est *a priori* continu. Dans ces conditions il y aura durant ces phases d'isolement une montée en température et donc en pression dans l'évaporateur puis une brusque chute aux instants t_α et t_δ de réouverture des vannes EV_1 ou EV_1' .

[0053] Dans un mode de mise en oeuvre préféré du procédé de l'invention, il est tenu compte du fait que le liquide de transfert L_T est incompressible, et que les variations de niveau qui interviennent simultanément dans les trois enceintes ABCD, CT et CT' ne sont donc pas indépendantes. Par ailleurs ces variations de niveau de L_T résultent ou impliquent des variations concomitantes de volume du fluide G_T . Cela se traduit par l'équation suivante entre les volumes massiques de G_T à différents stades du cycle:

$$V_e - V_a = V_{dvs} - V_c \quad (\text{eq. 1})$$

v_i étant le volume massique de G_T à l'état thermodynamique du point "i", "i" étant respectivement e, a, d_{vs} et c.

[0054] La figure 4 représente les diagrammes de Mollier pour trois cycles de Carnot modifiés moteurs du 2^{ème} type, à savoir les cycles $a''-b''-c''-d_{vs}-e''-a''$, $a'-b'-c'-d_{vs}-e'-a'$ et $a-b-c-d_{vs}-a$. Ces trois cycles ont une même température T_b de G_T dans le condenseur et des températures croissantes de G_T dans l'évaporateur, respectivement à T''_h , T'_h et T_h . Sur cette figure, les courbes en trait mixte sont des courbes à volume massique constant.

[0055] Lorsque les températures du condenseur et de l'évaporateur sont très proches (voire confondues), le point -e- dans le diagramme de Mollier est proche du point -a- (voire confondu avec) comme représenté schématiquement avec le cycle $a''-b''-c''-d_{vs}-e''-a''$. Au fur et à mesure que l'écart de température entre le puits et la source de chaleur augmente, le point -e- s'éloigne du point -a- et se rapproche du point - d_{vs} -. Le cycle $a'-b'-c'-d_{vs}-e'-a'$ représente un cas intermédiaire et le cycle $a-b-c-d_{vs}-a$ représente le cas extrême dans lequel les points -e- et - d_{vs} - sont confondus. Comme le rendement du cycle de Carnot modifié moteur augmente avec l'écart de température entre le puits et la source de chaleur, le cycle $a-b-c-d_{vs}-a$ est préférable sous réserve de disposer d'une source de chaleur à la température T_h suffisante pour une température du puits T_b fixée.

[0056] Dans ce cas préféré (où $v_e = v_{dvs}$), l'équation (eq. 1) se réduit à $v_c = v_a$ tel que cela est représenté à la figure 4. En outre, les étapes décrites dans la configuration générale du procédé de mise en oeuvre de la machine de Carnot modifiée motrice du 2^{ème} type sont simplifiées puisque la transformation d_{vs} (ou d) \rightarrow e n'a plus lieu d'être.

[0057] Ainsi, la différence de température ($T_h - T_b$) entre les deux transformations isothermes du cycle de Carnot modifié moteur ne peut pas dépasser une certaine valeur ΔT_{max} , fonction d'une des températures (T_h ou T_b) et du fluide de travail choisi G_T . Or les performances de la machine de Carnot modifiée dépendent notamment de cette valeur ΔT_{max} . Pour obtenir la performance maximale avec un fluide G_T donné et une température T_h ou T_b donnée, il est nécessaire de choisir les autres conditions de fonctionnement telles que le rapport v_a/v_c soit le plus proche possible de 1 (par valeur inférieure), soit de préférence $0,9 \leq v_a/v_c \leq 1$ et plus particulièrement $0,95 \leq v_a/v_c \leq 1$.

[0058] Les diverses transformations thermodynamiques de ce mode de réalisation préféré sont résumées dans le tableau 3, et l'état des actionneurs (électrovannes et embrayage de la pompe PHA_2) est résumé dans le tableau 4 dans lequel x signifie que l'électrovanne correspondante est ouverte ou que la pompe PHA_2 est embrayée.

Tableau 3

Étape	Transformation	Lieu	Niveau de LT		
			CT	CT'	ABCD
$\alpha\beta\gamma$	$a \rightarrow b$	ABCD	B	H→J	B→H
	$b \rightarrow c$	Evap + CT'			
$\gamma\delta$	$c \rightarrow d$ ou d_{vs}	CT'	B→H	J→B	H→B
	d ou $d_{vs} \rightarrow a$	CT + Cond + ABCD			
$\delta\varepsilon\lambda$	$a \rightarrow b$	ABCD	H→J	B	B→H
	$b \rightarrow c$	Évap + CT			
$\lambda\alpha$	$c \rightarrow d$ ou d_{vs}	CT	J→B	B→H	H→B
	d ou $d_{vs} \rightarrow a$	CT' + Cond + ABCD			

Tableau 4

Étape	EV ₁	EV _{1'}	EV ₂	EV _{2'}	EV ₃	EV ₄	EV _b	EV _h	EV _{b'}	EV _{h'}	EV _r	PHA2
αβγ		x				x (à t _β)				x		x
γδ			x		x		x			x	x	
δελ	x					x (à t _ε)		x				x
λα				x	x			x	x		x	

[0059] Les étapes du cycle de Carnot modifié moteur du 2^{ème} type dans la configuration préférée sont détaillées ci-dessous dans la mesure où elles diffèrent de celles décrites ci-dessus pour la configuration générale.

[0060] A partir d'un état initial dans lequel d'une part le fluide de travail G_T est maintenu dans l'évaporateur Evap à haute température et dans le condenseur Cond à basse température par échange de chaleur respectivement avec la source chaude à T_h et le puits froid à T_b < T_h, et d'autre part tous les circuits de communication de G_T et du liquide de transfert L_T sont obturés, on soumet le fluide de travail G_T à une succession de cycles comprenant les étapes suivantes :

Phase αβγ (entre les instants t_α et t_γ) :

[0061] À l'instant t_α, l'ouverture des électrovannes EV_{1'}, et EV_{h'}, et l'embrayage de PHA₂ provoquent les phénomènes suivants :

- La vapeur saturée de G_T sortant de l'évaporateur à P_h, pénètre dans CT' et refoule le liquide de transfert L_T à un niveau intermédiaire (noté J). L_T passe à travers le moteur MH en se détendant, ce qui produit du travail dont une partie est récupérée par la pompe PHA₂.
- Après avoir été détendu par MH, le liquide de transfert L_T est aspiré par la pompe PHA₂ et refoulé à plus haute pression vers ABCD ce qui permet de comprimer de façon isentropique le mélange liquide/vapeur de G_T contenu dans cette enceinte.

[0062] Sur le diagramme de Mollier (figure 4), cette étape correspond aux transformations simultanées suivantes:

- a → b dans l'enceinte ABCD;
- b → c dans l'ensemble Evap-CT'.

[0063] La pressurisation de P_b à P_h de G_T dans ABCD doit être réalisée avant son introduction dans l'évaporateur qui est toujours à la pression haute P_h. C'est donc seulement à l'instant t_β que l'électrovanne EV₄ (qui peut être remplacée par un clapet anti-retour) entre ABCD et Evap est ouverte.

[0064] D'un point de vu énergétique, durant cette phase αβγ, de la chaleur Q_h a été consommée au niveau de l'évaporateur à T_h et un travail W_{αβγ} net a également été délivré à l'extérieur.

Phase γδ (entre les instants t_γ et t_δ) :

[0065] À l'instant t_γ, c'est-à-dire lorsque le niveau de L_T a atteint les valeurs prédéfinies (J dans CT' et H dans ABCD), on ferme EV_{1'} et EV₄, on laisse EV_{h'} ouverte et on ouvre les électrovannes EV₂, EV₃, EV_b et EV_r. Il en résulte que :

- La vapeur de G_T contenue dans CT' continue à s'expanser, mais de manière adiabatique ou quasi-adiabatique c'est-à-dire selon la transformation c → d (suivi éventuellement de d → d_{vs}) et refoule le liquide de transfert L_T à travers le moteur MH dans le cylindre CT. Cette transformation peut être décomposée en une détente strictement adiabatique (c → d) qui aboutit selon le fluide G_T dans le domaine biphasique ou dans la vapeur surchauffée, suivie d'une légère surchauffe (d → d_{vs}) par les parois de CT' maintenues à une température suffisante pour le permettre (comprise entre T_b et T_h).
- L'enceinte ABCD en communication avec le condenseur est ramenée à la pression basse et le liquide de transfert L_T qu'elle contient dans sa partie inférieure s'écoule par gravité vers CT qui doit donc se trouver préférentiellement au dessous de ABCD. Toutefois si l'électrovanne EV_r est ouverte un peu avant l'électrovanne EV₃ et s'il reste un peu de G_T à l'état de liquide saturé dans la partie supérieure de ABCD, alors la dépressurisation de L_T lors de la mise en communication avec CT induit une vaporisation partielle ou totale dudit reste de G_T liquide initialement à la pression haute P_h. Dans ces conditions la pression en amont de EV_r peut être suffisante durant toute la durée

EP 2 283 210 B1

du transfert de L_T pour compenser la hauteur de colonne de liquide et l'enceinte ABCD n'est alors pas obligatoirement au dessus des enceintes CT et CT'.

- En raison de la montée du niveau de L_T (de B à H) dans CT, les vapeurs de G_T contenues dans CT se condensent dans le condenseur Cond (transformation d ou $d_{vs} \rightarrow a$).
- Les condensats ne s'accumulent pas dans Cond car ils s'écoulent par gravité vers l'enceinte ABCD.

[0066] D'un point de vu énergétique, durant cette phase $\gamma\delta$, de la chaleur Q_{da} est relâchée au niveau du condenseur à T_b , un peu de chaleur (prélevée sur la source chaude à T_h) est éventuellement consommée au niveau de CT' pour assurer la surchauffe $d \rightarrow d_{vs}$ et un travail $W_{\gamma\delta}$ est également délivré à l'extérieur.

[0067] Comme dans le cas général du mode de mise en oeuvre du procédé de l'invention dans une machine de Carnot modifiée motrice du 2^{ème} type, l'autre moitié du cycle est symétrique :

- la phase $\delta\epsilon\lambda$ (entre les instants t_δ et t_λ) est équivalente à la phase $\alpha\beta\gamma$ mais avec interversion des enceintes de transfert CT et CT'.
- la phase $\lambda\alpha$ (entre les instants t_λ et t_α) est équivalente à la phase $\gamma\delta$ mais avec interversion des enceintes de transfert CT et CT'.

[0068] Plus particulièrement :

- à l'instant t_δ , on ferme tous les circuits ouverts à l'instant t_γ , on ouvre le circuit de G_T entre Evap et CT (par EV_1), on ouvre le circuit de L_T entre CT et l'amont du moteur hydraulique MH (par EV_h), et on actionne la pompe auxiliaire PHA_2 , de sorte que :

- * la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression élevée P_h , pénètre dans CT et refoule L_T à un niveau intermédiaire J ;
- * L_T passe à travers MH en se détendant, puis L_T est aspiré par PHA_2 et refoulé vers ABCD.

- à l'instant t_ϵ , on ouvre le circuit de G_T entre ABCD et Evap (par EV_4) de sorte que le fluide de travail G_T est introduit à l'état liquide dans l'évaporateur ;
- à l'instant t_λ , on ferme le circuit de G_T entre Evap et CT d'une part, entre ABCD et Evap d'autre part, on arrête la pompe auxiliaire PHA_2 , on ouvre le circuit de G_T entre Cond et ABCD (par EV_3) d'une part, entre CT' et Cond (par EV_2) d'autre part, et on ouvre le circuit de L_T entre CT' et ABCD (par EV_r et EV_b), de sorte que :

- * La vapeur de G_T contenue dans CT continue à s'expanser, de manière adiabatique, et refoule L_T jusqu'au niveau bas dans CT puis à travers MH vers CT'.
- * l'enceinte ABCD en communication avec Cond est ramenée à la pression basse et L_T , qu'elle contient dans sa partie inférieure, s'écoule vers CT' ;
- * les vapeurs de G_T contenues dans CT' se condensent dans Cond.

[0069] Après plusieurs cycles, l'installation fonctionne à un régime permanent dans lequel la source chaude fournit en continu de la chaleur à la température T_h au niveau de l'évaporateur Evap, de la chaleur est délivrée en continu par le condenseur Cond au puits froid à la température T_b , et du travail est délivré en continu par la machine.

[0070] Dans ce cas préféré du cycle de Carnot modifié moteur de 2^{ème} type, il existe, pour un fluide de travail donné et pour n'importe quelle température du condenseur T_b , une valeur maximale de la température T_{h-max} de l'évaporateur telle que l'on vérifie l'égalité des volumes massiques v_c et v_a . Toutefois, si l'on dispose d'une source de chaleur à une température T_h bien supérieure à T_{h-max} , il est possible a priori d'avoir un meilleur rendement de la machine, soit en associant en cascade deux machines de Carnot modifiées motrices dans l'installation de l'invention, soit en utilisant dans l'installation, une machine de Carnot modifiée motrice du 1^{er} type.

[0071] Dans une machine de Carnot modifiée motrice de 1^{er} type, le dispositif de pressurisation/détente placé entre le condenseur Cond et l'évaporateur Evap comprend une pompe hydraulique auxiliaire PHA_1 et une électrovanne EV_3 en série. La figure 5 est une représentation schématique du dispositif. Les éléments identiques à ceux de la machine motrice de 2^{ème} type sont désignés par la même référence. L'électrovanne EV_3 peut être remplacée par un simple clapet anti-retour, lui-même pouvant être intégré dans la pompe PHA_1 . Le fluide de travail G_T à l'état de liquide saturé en sortie du condenseur Cond est directement pressurisé par la pompe PHA_1 et introduit dans l'évaporateur Evap.

[0072] Sur la figure 5 la possibilité d'apport de chaleur à la température T_i aux niveaux des enceintes CT et CT' n'est pas représentée, mais elle reste possible comme sur la figure 2.

[0073] Les différentes étapes du cycle et l'état des actionneurs (électrovannes et pompe PHA_1) sont détaillés ci-dessous et résumés dans les tableaux 5 et 6.

Tableau 5

Étape	Transformation	Lieu	Niveau de LT	
			CT	CT'
$\alpha\beta$	$a \rightarrow b$	Entre Cond et Evap	B→I	H→J
	$b \rightarrow b_1 \rightarrow c$	Evap + CT'		
	$d_{vs} \rightarrow e$	CT + Cond		
$\beta\gamma$	$c \rightarrow d_{vs}$	CT'	I→H	J→B
	$e \rightarrow a$	CT + Cond		
$\gamma\delta$	$a \rightarrow b$	Entre Cond et Evap	H→J	B→I
	$b \rightarrow b_1 \rightarrow c$	Évap + CT		
	$d_{vs} \rightarrow e$	CT' + Cond		
$\delta\alpha$	$c \rightarrow d_{vs}$	CT	J→B	I→H
	$e \rightarrow a$	CT' + Cond		

Tableau 6

Électrovannes ouvertes ou pompe PHA ₁ en marche										
Étape	EV ₁	EV _{1'}	EV ₂	EV _{2'}	EV ₃	EV _b	EV _h	EV _{b'}	EV _{h'}	PHA ₁
$\alpha\beta$		x	x		x	x			x	x
$\beta\gamma$			x		x	x			x	x
$\gamma\delta$	x			X	x		x	x		x
$\delta\alpha$				X	x		x	x		x

[0074] Les étapes du cycle de Carnot modifié moteur du 1^{er} type sont décrites ci-dessous pour les points qui diffèrent de ce qui a été décrit ci-dessus pour le cycle de Carnot modifié moteur du 2^{ème} type dans sa configuration générale. Le premier cycle est effectué à partir d'un état initial dans lequel le fluide de travail G_T est maintenu dans l'évaporateur Evap à haute température et dans le condenseur Cond à basse température par échange de chaleur respectivement avec la source chaude à T_h et le puits froid à T_b, et tous les circuits de communication du fluide de travail G_T et du liquide de transfert L_T sont obturés. À l'instant t₀ on actionne la pompe hydraulique auxiliaire PHA₁ et on ouvre (par EV₃) le circuit de G_T entre Cond et Evap de sorte qu'une partie de G_T, à l'état de liquide saturé ou sous-refroidi est aspiré par PHA₁ dans la partie inférieure du condenseur Cond, et refoulé à l'état de liquide sous-refroidi dans Evap où il se réchauffe, puis on soumet G_T à une succession de cycles de Carnot modifiés, chacun desquels comprenant les étapes suivantes :

Phase $\alpha\beta$ (entre les instants t _{α} et t _{β}) :

[0075] À l'instant précédant immédiatement t _{α} , le niveau de L_T est bas (noté B) dans le cylindre CT, et haut (noté H) dans le cylindre CT'. Au même instant, la pression de vapeur saturante de G_T a une valeur basse P_b dans CT, et une valeur haute P_h dans Evap et CT'. C'est cet instant du cycle qui est représenté schématiquement à la figure 5.

[0076] À l'instant t _{α} , l'ouverture des électrovannes EV_{1'}, EV₂, EV₃ EV_{h'} et EV_b et la mise en marche de PHA₁ provoquent les phénomènes suivants :

- La vapeur saturée de G_T sortant de l'évaporateur à P_h, pénètre dans CT' et refoule le liquide de transfert L_T à un niveau intermédiaire (noté J). L_T passe à travers le moteur MH en se détendant, ce qui produit du travail. Le travail nécessaire à PHA₁ est fourni par un moteur électrique indépendant, non représenté.

[0077] Dans une variante, la pompe PHA₁ peut être raccordée à l'axe du moteur hydraulique par l'intermédiaire de l'embrayage magnétique EM, de sorte que, durant cette étape, une partie du travail délivré par le moteur hydraulique est récupérée par la pompe PHA₁.

- Après avoir été détendu par MH, le liquide de transfert L_T est refoulé dans CT. Dans CT, L_T passe du niveau bas au niveau intermédiaire (noté I), refoule les vapeurs de G_T vers le condenseur où elles se condensent. Le fluide de travail G_T à l'état de liquide saturé est aspiré par la pompe PHA₁ et refoulé à plus haute pression vers Evap où il entre à l'état de liquide sous-refroidi.

5
[0078] Sur le diagramme de Mollier (figure 6), cette étape correspond aux transformations simultanées suivantes:

- a → b entre le condenseur et l'évaporateur;
- b → b_l → c dans l'ensemble Evap-CT';
- d_{vs} → e dans l'ensemble CT-Cond.

10
[0079] Il est préférable que la pompe hydraulique auxiliaire PHA₁ ne soit pas en marche et que l'électrovanne EV₃ ne soit pas être ouverte s'il n'y a pas de liquide G_T en amont de cette pompe. Un détecteur de niveau de liquide peut être disposé comme élément de sécurité pour arrêter la pompe et fermer l'électrovanne si nécessaire. L'évaporation de G_T dans Evap est compensée en continu par les apports de G_T liquide venant du condenseur de sorte que le niveau de G_T liquide dans l'évaporateur est à peu près constant.

15
[0080] D'un point de vue énergétique, durant cette phase $\alpha\beta$, de la chaleur Q_h a été consommée au niveau de l'évaporateur à T_h , de la chaleur Q_{de} a été relâchée au niveau du condenseur à T_b ($T_b < T_h$) et un travail $W_{\alpha\beta}$ net a également été délivré à l'extérieur, ledit travail $W_{\alpha\beta}$ étant la différence entre le travail fourni par le moteur hydraulique MH et celui consommé par la pompe hydraulique auxiliaire PHA₁.

20
Phase $\beta\gamma$ (entre les instants t_β et t_γ) :

25
[0081] À l'instant t_β , c'est-à-dire lorsque le niveau de L_T a atteint les valeurs prédéfinies (I dans CT, J dans CT'), on ferme l'électrovanne EV₁, on laisse EV₂, EV₃, EV_b et EV_h ouvertes et la pompe PHA₁ en marche (si présence de G_T liquide en amont). Il en résulte que :

- La vapeur de G_T contenue dans CT' continue à s'expanser, mais de manière adiabatique (transformation c → d_{vs} sur le diagramme de Mollier, figure 6) et refoule toujours le liquide de transfert L_T à travers le moteur MH dans le cylindre CT. Comme pour le mode de réalisation illustré par la figure 3, cette transformation peut être décomposée en une détente strictement adiabatique (c → d) qui aboutit, selon le fluide G_T utilisé, dans le domaine biphasique ou dans la vapeur surchauffée, suivie d'une légère surchauffe (d → d_{vs}) par les parois de CT' maintenues à une température suffisante pour le permettre (comprise entre T_b et T_h).
- En raison de la montée du niveau de L_T (de I à H) dans CT, le reste des vapeurs de G_T dans CT se condense dans Cond (transformation e → a).
- Comme pour l'étape précédente les condensats sont aspirés par PHA₁ au fur et à mesure qu'ils s'accumulent au fond du condenseur.

30
[0082] D'un point de vue énergétique, durant cette phase $\beta\gamma$, de la chaleur Q_{ea} est relâchée au niveau du condenseur à T_b , un peu de chaleur (prélevée sur la source chaude à T_h) est consommée au niveau de CT' pour assurer la surchauffe d → d_{vs} et un travail net $W_{\beta\gamma}$ est également délivré à l'extérieur.

35
[0083] L'autre moitié est symétrique : l'évaporateur et le condenseur sont le siège des mêmes transformations successives, tandis que les rôles des enceintes CT et CT' sont intervertis

40
Phases $\gamma\delta$ (entre les instants t_γ et t_δ) et $\delta\alpha$ (entre les instants t_δ et t_α) :

45
[0084] Elles sont équivalentes respectivement à la phase $\alpha\beta$ et la phase $\beta\gamma$, mais avec interversion des enceintes de transfert CT et CT'.

50
[0085] Plus particulièrement :

- à l'instant t_γ , on ferme les circuits ouverts à l'instant t_β , excepté celui permettant le transfert de G_T entre Cond et Evap (par EV₃), on ouvre le circuit de G_T entre Evap et CT (par EV₁) d'une part, entre CT' et Cond (par EV₂) d'autre part, et on ouvre le circuit permettant le transfert de L_T de CT vers CT' en passant par le moteur hydraulique MH (par EV_h et EV_b), de sorte que :

- * G_T se réchauffe et s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression élevée P_h , pénètre dans CT et refoule L_T à un niveau intermédiaire J ;
- * L_T passe à travers MH en se détendant, puis L_T est refoulé vers CT' jusqu'au niveau intermédiaire I ;

EP 2 283 210 B1

- * les vapeurs de G_T contenues dans CT' et refoulées par le liquide L_T se condensent dans Cond ;
- * G_T à l'état de liquide saturé ou sous-refroidi arrive dans la partie inférieure du condenseur Cond où il est aspiré au fur et à mesure par PHA₁, puis refoulé à l'état de liquide sous-refroidi dans Evap ;

5 - à l'instant t_3 , on ferme le circuit de G_T entre Evap et CT (i.e. fermeture de EV₁) de sorte que :

- * La vapeur de G_T contenue dans CT continue à s'expanser, de manière adiabatique, et refoule L_T jusqu'au niveau bas dans CT puis à travers MH vers CT' où il atteint le niveau haut ;
- * le reste des vapeurs de G_T contenues dans CT' et refoulées par le liquide L_T se condensent dans Cond ;
- * G_T à l'état de liquide saturé ou sous-refroidi arrive dans la partie inférieure du condenseur Cond où il est aspiré au fur et à mesure par PHA₁ et enfin refoulé à l'état de liquide sous-refroidi dans Evap.

15 **[0086]** Après plusieurs cycles, l'installation fonctionne à un régime permanent dans lequel la source chaude fournit en continu de la chaleur à haute température T_h au niveau de l'évaporateur Evap, de la chaleur est délivrée en continu par le condenseur Cond au puits froid à T_b et du travail est délivré en continu par la machine.

[0087] Dans cette configuration (dite de 1^{er} type), l'équation (1) liant les volumes massiques de G_T dans les différentes étapes du cycle est toujours valable, soit :

$$20 \quad V_e - V_a = V_{dvs} - V_c \quad (\text{eq. 1})$$

25 **[0088]** Toutefois le volume massique de G_T en sortie du condenseur, c-à-d à l'état de liquide saturé (point "a" dans le diagramme de Mollier) est toujours très inférieur à celui de G_T en sortie de l'évaporateur, c-à-d à l'état de vapeur saturée ou surchauffée (point "c" ou "c_{vs}" dans le diagramme de Mollier) quelque soit l'écart en température entre T_h et T_b . Ainsi la double inégalité suivante est toujours vérifiée :

$$V_a < V_e < V_{dvs} \quad (\text{inéq. 1})$$

30 **[0089]** Le point "e" est toujours compris entre les points "a" et "d_{vs}" dans le diagramme de Mollier et les températures T_b et T_h peuvent être fixées de façon totalement indépendantes sans que cela affecte le fonctionnement de la machine de Carnot modifiée motrice de 1^{er} type.

35 **[0090]** La machine de Carnot modifiée motrice de 1^{er} type est plus simple dans son fonctionnement et comprend moins d'éléments constitutifs. Toutefois, comme pour le cycle de Rankine, la transformation $b \rightarrow b_1$ génère des irréversibilités notables ce qui a un effet défavorable sur le rendement du cycle. Toutefois comme l'augmentation de l'écart $(T_h - T_b)$ a, à l'inverse, un effet positif sur ce rendement, il est possible, selon les conditions thermodynamiques et le fluide G_T choisis, que le rendement de la machine de Carnot modifiée motrice de 1^{er} type soit finalement supérieur à celui de la machine de Carnot modifiée motrice de 2^{ème} type, y compris dans sa configuration préférée.

40 **[0091]** Lorsque le procédé de l'invention est une succession de cycles de Carnot modifiés récepteurs, la source de chaleur est à une température T_b inférieure à la température T_h du puits de chaleur. Chaque cycle est constitué par une succession d'étapes au cours desquelles il y a un changement de volume du fluide de travail G_T . Cette variation de volume provoque ou est provoquée par un déplacement du liquide L_T . Ainsi durant certaines étapes, l'installation consomme du travail et en restitue durant d'autres étapes, mais sur le cycle complet, il y a une consommation nette de travail fourni par l'environnement par l'intermédiaire d'une pompe hydraulique PH.

45 **[0092]** Dans une machine de Carnot modifiée réceptrice du 1^{er} type, l'étape de détente adiabatique est isenthalpique plutôt qu'isentropique. En effet le travail susceptible d'être récupéré durant la détente isentropique est faible en comparaison des travaux mis en jeu durant les autres étapes du cycle. La détente isenthalpique ne nécessite qu'un simple dispositif de détente adiabatique irréversible, le dispositif de pressurisation ou détente peut être un capillaire ou une vanne de détente. Dans un machine de Carnot modifiée réceptrice du 2^{ème} type, il est nécessaire que le dispositif de pressurisation et de détente soit une bouteille de compression/ détente adiabatique ABCD et les moyens de transfert associés. Ainsi dans cette configuration préférée du 1^{er} type, le coefficient de performance ou d'amplification de la machine de Carnot modifiée réceptrice sera légèrement diminué (tout en restant supérieur aux machines équivalentes de l'art antérieur) mais avec une simplification significative du procédé et un coût moindre.

50 **[0093]** Lorsque le procédé de l'invention est une succession de cycles de Carnot modifiés récepteurs, la source de chaleur est à une température T_b inférieure à la température T_h du puits de chaleur. Chaque cycle est constitué par une succession d'étapes au cours desquelles il y a un changement de volume du fluide de travail G_T . Cette variation de volume provoque ou est provoquée par un déplacement du liquide L_T . Ainsi durant certaines étapes l'installation consomme du travail et en restitue durant d'autres étapes, mais sur le cycle complet, il y a une consommation nette de

travail fourni par l'environnement par l'intermédiaire d'une pompe hydraulique PH.

[0094] La figure 7 représente une vue schématique d'une machine de Carnot modifiée réceptrice de 2^{ème} type qui comprend un évaporateur Evap, un condenseur Cond, une enceinte de compression/détente isentropique ABCD, une pompe hydraulique PH et deux enceintes de transfert CT et CT'. Ces différents éléments sont reliés entre eux par un premier circuit contenant exclusivement le fluide de travail G_T , et un second circuit contenant exclusivement le liquide de transfert L_T . Lesdits circuits comprennent différentes ramifications obturables par des moyens commandés ou pas. Sur le mode de réalisation représenté sur la figure 7, les vannes commandées sont des électrovannes deux voies. D'autres types de vannes commandées peuvent cependant être utilisées, notamment des vannes pneumatiques, des vannes à tiroir, ou des clapets anti-retour. Certaines paires de vannes deux voies (c-à-d ayant une entrée et une sortie) peuvent être remplacées par des vannes trois voies (une entrée, deux sorties ou deux entrées et une sortie). D'autres associations de vannes possibles sont à la portée de l'homme de métier.

[0095] L'évaporateur Evap et le condenseur Cond contiennent exclusivement le fluide G_T en général à l'état de mélange liquide/ vapeur. Toutefois, selon le fluide de travail G_T et la température T_h du puits chaud, ledit fluide de travail G_T peut se trouver dans le domaine supercritique à T_h et dans ces conditions le condenseur Cond ne contient que G_T à l'état gazeux.

[0096] La pompe PH est traversée exclusivement par du liquide L_T . Les éléments ABCD, CT et CT' constituent les interfaces entre les deux circuits (G_T et L_T). Ils contiennent le fluide hydraulique de transfert L_T dans la partie inférieure et/ou le fluide de travail G_T à l'état liquide, vapeur ou mélange liquide-vapeur dans la partie supérieure. ABCD est relié à Cond et à Evap par des circuits contenant G_T et obturables respectivement par les électrovannes EV_3 et EV_4 . Evap est relié à CT et CT' par des circuits contenant G_T et obturables respectivement par les électrovannes EV_1 et EV_1' . Cond est relié à CT et CT' par des circuits contenant G_T et obturables respectivement par les électrovannes EV_2 et EV_2' .

[0097] Généralement le liquide traversant une pompe hydraulique circule toujours dans le même sens. C'est cette option la plus courante qui est représentée dans la figure 7. Cela implique que le liquide de transfert L_T à basse pression soit toujours raccordé sur la pompe PH à la même entrée (à gauche dans la figure 7) et que le liquide de transfert L_T à haute pression soit toujours raccordé sur la pompe PH à la même sortie (à droite dans la figure 7). Comme les enceintes CT et CT' sont alternativement à haute pression et à basse pression, un jeu d'électrovannes permet de les connecter aux entrée/sortie adéquates de la pompe PH. Ainsi, la pompe PH est reliée en entrée (ou amont) à CT et CT' par un circuit contenant L_T à basse pression et obturable respectivement par les électrovannes EV_b et EV_b' , en sortie (ou aval) à CT et CT' par un circuit contenant L_T à haute pression et obturable respectivement par les électrovannes EV_h et EV_h' . Par exemple si la haute pression se trouve dans l'enceinte CT' et la basse dans CT, les électrovannes EV_h' et EV_b sont ouvertes et les électrovannes EV_h et EV_b' fermées, le liquide de transfert s'écoule à travers PH de la gauche vers la droite. Durant l'autre moitié du cycle, la haute pression est alors dans CT et la basse pression dans CT', et les électrovannes EV_h' et EV_b sont fermées et les électrovannes EV_h et EV_b' sont ouvertes mais le liquide de transfert traverse la pompe hydraulique dans le même sens (de gauche à droite).

[0098] ABCD est relié dans sa partie inférieure par deux branches en parallèle du circuit contenant le liquide de transfert L_T . La branche obturable par l'électrovanne EV_i est raccordée au circuit haute pression de L_T , et la branche obturable par l'électrovanne EV_r est raccordée au circuit basse pression. Quand L_T circule de ABCD vers l'enceinte de transfert CT ou CT', il s'écoule par gravité et il est donc nécessaire que ABCD se trouve au dessus des enceintes CT et CT'.

[0099] L'axe de la pompe hydraulique PH doit être raccordé à un ou plusieurs dispositifs moteurs (c'est-à-dire fournissant du travail) soit directement soit par l'intermédiaire d'un couplage classique, tel qu'un cardan, une courroie, un embrayage (magnétique ou mécanique). Par exemple dans la figure 7, l'axe AX est raccordé à un moteur électrique ME par l'intermédiaire d'un embrayage magnétique EM_1 , tandis qu'un autre embrayage magnétique EM_2 permet le couplage à d'autres moteurs tels qu'une turbine hydraulique, un moteur à essence ou diesel, un moteur à gaz, ou une machine de Carnot modifiée motrice. Enfin, si nécessaire, un volant d'inertie peut aussi être monté sur cet axe pour favoriser l'enchaînement des étapes réceptrices et motrices du cycle.

[0100] Le cycle de Carnot modifié récepteur suivi par le fluide moteur G_T est décrit dans le diagramme de Mollier représenté sur la Figure 8.

[0101] Selon le fluide G_T retenu, l'étape de compression isentropique de la vapeur saturée en sortie de l'évaporateur peut conduire à un mélange biphasique ou à de la vapeur surchauffée. Dans la figure 8, le 1^{er} cas (mélange biphasique, assez rare) est représenté par la trajectoire entre les points "1" et "2" en pointillé et le 2^{ème} cas (vapeur surchauffée) par la trajectoire entre les points "1" et "2_{vs}" en trait continu. Par ailleurs, quelque soit G_T , la vapeur en sortie de l'évaporateur peut être légèrement surchauffée de telle sorte qu'après la compression isentropique il n'y ait que de la vapeur surchauffée ou à la limite saturée. Ce 3^{ème} cas est représenté dans la figure 8 par la trajectoire entre les points "1_{vs}" et "2_{vs}" en trait mixte. Toute incursion en début ou en fin de compression isentropique dans le domaine de la vapeur surchauffée génère des irréversibilités et induit donc une légère diminution des coefficients de performance ou d'amplification du cycle. Comme pour la machine de Carnot modifiée motrice, il est possible de réaliser une surchauffe de G_T en entrée de la compression isentropique, mais cela ne présente qu'un intérêt faible (éviter toute présence de G_T liquide dans les enceintes CT ou CT') et seulement dans le cas où ladite compression isentropique aboutirait dans le

domaine biphasique. Les solutions techniques pour réaliser cette surchauffe sont les mêmes que pour la machine motrice (résistance électrique, échange avec la source chaude à T_h, \dots) et ne sont pas représentées dans la figure 7.

[0102] Le dispositif d'introduction du fluide de travail G_T dans l'évaporateur est adapté pour que G_T soit introduit à l'état liquide dans l'évaporateur mais après que le liquide saturé (point 3 du diagramme de Mollier, figure 8) se soit détendu, et donc en occupant plus de volume et avec un ciel gazeux au dessus du liquide restant (point 4 du diagramme de Mollier, figure 8). Une solution, parmi d'autres envisageables, consiste à introduire un tube d'aspiration flexible avec son extrémité aspirante fixée sur un flotteur dans ABCD et juste sous la ligne de flottaison. L'enceinte ABCD doit être placée au dessus du niveau de liquide de G_T dans l'évaporateur (comme représenté sur la figure 7) et au dessus de CT et CT' de façon à ce que l'évacuation, soit de G_T liquide, soit de L_T dans un réservoir ou l'autre puisse se faire par gravité.

[0103] Le cycle de Carnot modifié récepteur est constitué par 4 phases successives débutant respectivement aux instants $t_\alpha, t_\gamma, t_\delta$ et t_λ . Seul le cycle 1-2_{vs}-3-4-5-1 est décrit ci-dessous car la variante avec le point "1_{vs}" n'apporte aucune modification de principe.

[0104] À partir d'un état initial dans lequel tous les circuits de communication du fluide de travail G_T et du liquide de transfert L_T sont obturés, à l'instant t_0 , on actionne la pompe hydraulique PH, puis on soumet G_T à une succession de cycles de Carnot modifiés, chacun desquels comprenant les étapes suivantes :

Phase $\alpha\beta\gamma$

[0105] À l'instant précédant immédiatement t_α , le niveau de L_T est haut (noté H) dans ABCD et le cylindre CT, et bas (noté B) dans le cylindre CT'. Au même instant, la pression de vapeur saturante de G_T a une valeur haute P_h dans ABCD, Cond et CT, et une valeur basse P_b dans Evap et CT'. C'est cet instant du cycle qui est représenté schématiquement dans la configuration de la figure 7.

[0106] À l'instant t_α , on ouvre les électrovannes EV_r, EV_b et EV_h . La détente isentropique de G_T à l'état de mélange liquide/vapeur (mais avec une teneur massique de vapeur quasi nul) dans ABCD refoule L_T à travers PH. Simultanément la très faible quantité de vapeur saturée et le liquide de transfert L_T contenus dans CT suivent la même évolution de pression ce qui, compte tenu de la faible quantité de vapeur, ne s'accompagne pas d'une variation significative de niveau de L_T dans CT. Le liquide de transfert L_T en aval de PH comprime isentropiquement les vapeurs de G_T contenues dans CT'. Les pressions à l'amont et l'aval de la pompe PH s'équilibrent à l'instant t_β . Entre t_α et t_β il n'y a théoriquement aucune consommation nette de travail fourni par la pompe PH. La durée $t_\beta - t_\alpha$ est courte car il n'y a durant cette étape aucun transfert de chaleur.

[0107] À l'instant t_β , on ouvre les électrovannes EV_1 et EV_4 . Les conséquences sont:

- suite à l'ouverture de EV_1 , la vapeur saturée de G_T sortant de l'évaporateur à P_h , pénètre dans CT et refoule le liquide de transfert L_T à un niveau intermédiaire (noté J). Ce liquide est aspiré et pressurisé par la pompe PH, ce qui consomme du travail net fourni par l'extérieur. En sortie de la pompe, L_T est refoulé vers le cylindre CT' (jusqu'au niveau I) ce qui permet de finir la compression isentropique de G_T jusqu'à la pression P_h .
- suite à l'ouverture de EV_4 , le fluide de travail G_T à l'état de liquide saturé et à basse pression P_b s'écoule par gravité dans l'évaporateur Evap, ce qui fait plus que compenser en masse la sortie de G_T gazeux vers CT.

[0108] Durant cette phase $\alpha\beta\gamma$ les transformations suivantes ont été réalisées :

- la transformation 3 \rightarrow 4 dans ABCD;
- la transformation 4 \rightarrow 5 dans l'ensemble Evap-CT;
- la transformation 1 \rightarrow 2_{vs} dans CT'. La compression est isentropique et on suppose qu'avec le fluide G_T utilisé elle aboutit dans le domaine de la vapeur surchauffée.

[0109] D'un point de vue énergétique, durant cette phase $\alpha\beta\gamma$, de la chaleur Q_{45} a été pompée au niveau de l'évaporateur à T_b et un travail $W_{\alpha\beta\gamma}$ a également été consommé par la pompe PH. Ce travail a été fourni par l'extérieur à puissance croissante à partir de t_β puisque la pression en amont de la pompe reste quasi constante ($=P_b$) à partir de cet instant tandis que la pression en aval augmente de jusqu'à P_h .

Phase $\gamma\delta$

[0110] À l'instant t_γ , c'est-à-dire lorsque le niveau de L_T a atteint les valeurs prédéfinies (B dans ABCD, J dans CT et I dans CT'), on laisse EV_1, EV_b et EV_h ouvertes et simultanément on ouvre les électrovannes EV_2, EV_3 et EV_i . Il en résulte que la vapeur de G_T continue à être produite dans l'évaporateur, à s'expanser dans CT (transformation 5 \rightarrow 1), ce qui refoule toujours le liquide de transfert aspiré par la pompe dans le cylindre CT' cette fois connecté au condenseur. Les vapeurs de G_T contenues dans CT' se désurchauffent (en partie dans CT') et se condensent totalement dans le

EP 2 283 210 B1

condenseur (transformation $2_{vs} \rightarrow 3$) où elles ne s'accumulent pas car elles sont évacuées par gravité vers ABCD. Parallèlement, une partie du liquide de transfert L_T en sortie de la pompe est refoulée vers ABCD pour y rétablir le niveau haut de L_T .

5 **[0111]** D'un point de vue énergétique, durant cette phase $\alpha\beta$, de la chaleur Q_{51} est pompée au niveau de l'évaporateur à T_b , de la chaleur Q_{23} est relâchée au niveau du condenseur à T_h (avec $T_h > T_b$) ce qui nécessite un travail $W_{\gamma\delta}$ fourni par l'extérieur. Ce travail est à puissance quasi constante puisque les pressions en amont et aval de la pompe sont également pratiquement constantes (avec des échangeurs de chaleur non limitants au niveau du condenseur et de l'évaporateur).

10 **[0112]** À l'instant t_δ on se trouve à la moitié du cycle. L'autre moitié est symétrique : l'évaporateur, le condenseur et l'enceinte ABCD sont le siège des mêmes transformations successives, tandis que les rôles des enceintes CT et CT' sont intervertis.

Phase $\delta\varepsilon\lambda$ (entre les instants t_δ et t_λ) et phase $\lambda\alpha$ (entre les instants t_λ et t_α)

15 **[0113]** Elles sont équivalentes respectivement à la phase $\alpha\beta\gamma$ et à la phase $\gamma\delta$, mais avec interversion des enceintes de transfert CT et CT'.

[0114] Plus particulièrement :

20 - à l'instant t_δ , on ferme tous les circuits ouverts à l'instant t_γ , on ouvre les circuits de L_T permettant le transfert de L_T (par EV_r) d'une part depuis l'enceinte ABCD vers l'amont de la pompe hydraulique PH, et d'autre part depuis CT' vers CT en passant par la pompe hydraulique PH (par EV_b et EV_h), de sorte que :

25 * G_T à l'état d'équilibre liquide/vapeur dans ABCD et dans CT' se détend de la pression haute P_h à la pression basse P_b et refoule L_T à travers PH dans CT;

* les vapeurs de G_T contenues dans CT sont comprimées adiabatiquement.

- à l'instant t_ε , on ouvre le circuit de G_T entre Evap et CT' (par $EV_{1'}$), d'une part, entre ABCD et Evap (par EV_4) d'autre part, de sorte que :

30 * L_T est aspiré par la pompe PH qui le pressurise et le refoule dans CT ;

* les niveaux de L_T dans ABCD, CT et CT' passent respectivement de haut à bas, bas à un niveau intermédiaire I, et haut à un niveau intermédiaire J;

* du fait que le volume occupé par les vapeurs de G_T dans CT' augmente, G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression faible P_b pénètre dans CT' ;

35 * les vapeurs de G_T contenues dans CT continuent à être comprimées adiabatiquement jusqu'à la pression haute P_h ;

* G_T à l'état de liquide saturé à la pression basse P_b s'écoule par gravité de ABCD vers Evap ;

40 - à l'instant t_λ , on ferme le circuit de G_T entre ABCD et Evap (par EV_4), on ferme le circuit de L_T entre ABCD et l'amont de la pompe PH (par EV_r), on ouvre le circuit de G_T entre CT et Cond (par EV_2) d'une part, entre Cond et ABCD (par EV_3) d'autre part, et on ouvre le circuit de L_T entre l'aval de la pompe PH et ABCD par (EV_l), de sorte que :

* L_T est encore aspiré par la pompe PH qui le pressurise et le refoule dans CT;

45 * les niveaux de L_T dans ABCD, CT et CT' passent respectivement de bas à haut, du niveau intermédiaire I à haut, et du niveau intermédiaire J à bas;

* du fait que le volume occupé par les vapeurs de G_T dans CT' continue à augmenter, G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression faible P_b pénètre dans CT' ;

* les vapeurs de G_T contenues dans CT, à haute pression P_h , sont refoulées par L_T et se condensent dans Cond;

* G_T à l'état de liquide saturé s'écoule par gravité de Cond vers ABCD.

50 **[0115]** Après plusieurs cycles, l'installation fonctionne à un régime permanent.

55 **[0116]** Pour la production de froid, à l'état initial, G_T est maintenu dans le condenseur Cond à haute température par échange de chaleur avec le puits chaud à T_h , et dans l'évaporateur Evap à une température inférieure ou égale à T_h par échange de chaleur avec un milieu externe à la machine, ledit milieu ayant initialement une température T_h . En régime permanent, un travail net est consommé par la pompe hydraulique PH, le condenseur Cond évacue en continu de la chaleur vers le puits chaud à haute température T_h , et de la chaleur est consommée en continu par l'évaporateur Evap, avec production de froid vers le milieu extérieur en contact avec ledit évaporateur Evap, la température T_b dudit milieu extérieur étant inférieure strictement à T_h .

EP 2 283 210 B1

[0117] Pour la production de chaleur, à l'état initial, G_T est maintenu dans l'évaporateur Evap à basse température par échange de chaleur avec la source froide à T_b , G_T est maintenu dans le condenseur Cond à une température $T_h \geq T_b$ par échange de chaleur avec un milieu externe à la machine, ledit milieu ayant initialement une température $\geq T_h$. En régime permanent, un travail net est consommé par la pompe hydraulique PH, la source froide à T_b apporte de la chaleur en continu à l'évaporateur Evap, le condenseur Cond évacue en continu de la chaleur vers le puits chaud, l'installation produisant de la chaleur vers le milieu extérieur en contact avec ledit condenseur Cond, le milieu extérieur ayant une température $T_h > T_b$.

[0118] À l'issue de la phase $\lambda\alpha$, la machine de Carnot modifiée réceptrice du 2^{ème} type se retrouve à l'état α du cycle. Les diverses transformations thermodynamiques suivies par le fluide G_T , et les niveaux du liquide de transfert L_T sont résumés dans le tableau 7. L'état des électrovannes est résumé dans le tableau 8, dans lequel "x" signifie que la vanne correspondante est ouverte.

Tableau 7

Étape	Transformation	Lieu	Niveau de L_T		
			CT	CT'	ABCD
$\alpha\beta\gamma$	$3 \rightarrow 4$	ABCD	$H \rightarrow J$	$B \rightarrow I$	$H \rightarrow B$
	$4 \rightarrow 5$	Evap + CT			
	$1 \rightarrow 2_{vs}$	CT'			
$\gamma\delta$	$5 \rightarrow 1$	Evap + CT	$J \rightarrow B$	$I \rightarrow H$	$B \rightarrow H$
	$2_{vs} \rightarrow 3$	CT' + Cond + ABCD			
$\delta\varepsilon\lambda$	$3 \rightarrow 4$	ABCD	$B \rightarrow I$	$H \rightarrow J$	$H \rightarrow B$
	$4 \rightarrow 5$	Evap + CT'			
	$1 \rightarrow 2_{vs}$	CT			
$\lambda\alpha$	$5 \rightarrow 1$	Evap + CT'	$I \rightarrow H$	$J \rightarrow B$	$B \rightarrow H$
	$2_{vs} \rightarrow 3$	CT + Cond + ABCD			

Tableau 8

Étape	Électrovannes ouvertes											
	EV ₁	EV _{1'}	EV ₂	EV _{2'}	EV ₃	EV ₄	EV _b	EV _h	EV _{b'}	EV _{h'}	EV _r	EV _i
$\alpha\beta\gamma$	x (à t_β)					x (à t_β)	x			x	x	
$\gamma\delta$	x			x	x		x			x		x
$\delta\varepsilon\lambda$		x (à t_ε)				x (à t_ε)		x	x		x	
$\lambda\alpha$		x	x		x			x	x			x

[0119] La consommation de travail est continue pendant la durée du cycle (hormis entre les instants t_α et t_β d'une part, t_δ et t_ε d'autre part), mais pas toujours à puissance constante dans la mesure où la différence de pression aux bornes de la pompe hydraulique peut varier. Bien entendu, la puissance moyenne sur un cycle reste constante d'un cycle à l'autre, lorsqu'un régime permanent de fonctionnement est atteint et si les températures T_h et T_b restent constantes. Par ailleurs, le condenseur est isolé du reste du circuit pendant les phases $\alpha\beta\gamma$ et $\delta\varepsilon\lambda$ alors que l'évacuation de chaleur au niveau du puits chaud à T_h est *a priori* continue. Dans ces conditions il y aura durant ces phases d'isolement une chute en température et donc en pression dans le condenseur puis une brusque remontée aux instants t_γ et t_λ de réouverture des vannes EV₂ ou EV_{2'}.

[0120] Le liquide de transfert L_T étant incompressible, les variations de niveau qui interviennent simultanément dans les trois enceintes ABCD, CT et CT' ne sont pas indépendantes. Par ailleurs ces variations de niveau de L_T résultent ou impliquent des variations concomitantes de volume du fluide G_T . Cela se traduit par l'équation suivante entre les volumes massiques de G_T à différents stades du cycle représenté sur la Figure 8 :

$$v_5 - v_3 = v_1 - v_{2vs} \quad (\text{eq. 2})$$

v_i étant le volume massique de G_T à l'état thermodynamique du point "i", "i" étant respectivement les points 5, 3, 1 et 2_{vs} . Des exemples de courbe à volume massique constant sont représentés en trait mixte dans la figure 8.

[0121] À la différence du cycle de Carnot modifié moteur de 2^{ème} type, il n'existe pas ici de limite à l'écart en température entre la source froide à T_b et le puits chaud à T_h . Comme le volume massique au point "3" est toujours le plus faible du cycle, on a toujours, quelque soit T_h et T_b , la double inégalité suivante :

$$v_4 < v_5 < v_1 \quad (\text{inég. 2})$$

[0122] Dans une machine de Carnot modifiée réceptrice du 1^{er} type, le dispositif de pressurisation/détente est intercalé en série entre le condenseur Cond et l'évaporateur Evap, il comprend un simple dispositif de détente comme par exemple une vanne de détente VD, ou un capillaire et éventuellement en série une électrovanne EV_3 . Un tel dispositif est représenté sur la figure 9, sur laquelle les légendes ont la même signification que les autres figures, et l'association VD et EV_3 constitue le dispositif de détente. Le fluide de travail G_T à l'état de liquide saturé en sortie du condenseur Cond est directement détendu et introduit dans l'évaporateur Evap. Un exemple d'un tel cycle de Carnot modifié récepteur de 1^{er} type est représenté schématiquement par le cycle 1- 2_{vs} - 2_g -3-4-5-1 dans le diagramme de Mollier de la figure 10.

[0123] Les différentes étapes du cycle et l'état des électrovannes sont détaillés ci-dessous et résumés dans les tableaux 9 et 10. L'électrovanne EV_3 n'est pas indispensable puisque lorsque la machine est en fonctionnement elle est toujours ouverte. Son seul intérêt est de pouvoir isoler le condenseur de l'évaporateur à l'arrêt de la machine.

Tableau 9

Étape	Transformation	Lieu	Niveau de LT	
			CT	CT'
$\alpha\beta$	3 → 4	Entre Cond et Evap	H→J	B→I
	4 → 5	Evap + CT		
	1 → 2_{vs}	CT'		
$\beta\gamma$	5 → 1	Evap + CT	J→B	I→H
	2_{vs} → 2_g → 3	CT' + Cond		
$\gamma\delta$	3 → 4	Entre Cond et Evap	B→I	H→J
	4 → 5	Évap + CT'		
	1 → 2_{vs}	CT		
$\delta\alpha$	5 → 1	Evap + CT'	I→H	J→B
	2_{vs} → 2_g → 3	CT + Cond		

Tableau 10

Électrovannes ouvertes									
Étape	EV_1	$EV_{1'}$	EV_2	$EV_{2'}$	EV_3	EV_b	EV_h	$EV_{b'}$	$EV_{h'}$
$\alpha\beta$	x				x	x			x
$\beta\gamma$	x			x	x	x			x
$\gamma\delta$		x			x		x	x	
$\delta\alpha$		x	x		x		x	x	

[0124] Les étapes du cycle de Carnot modifié récepteur du 1^{er} type sont détaillées ci-dessous dans la mesure où elles diffèrent de celles décrites ci-dessus pour le cycle de Carnot modifié récepteur du 2^{ème} type.

[0125] A partir d'un état initial dans lequel tous les circuits de communication du fluide de travail G_T et du liquide de

EP 2 283 210 B1

transfert L_T sont obturés, l'instant t_0 , on actionne la pompe hydraulique PH et ouvre le circuit de G_T entre Cond et Evap (par EV_3), et l'on soumet G_T à une succession de cycles de Carnot modifiés, chacun desquels comprenant les étapes suivantes :

5 Phase $\alpha\beta$ (entre les instants t_α et t_β) :

[0126] À l'instant précédant immédiatement t_α , le niveau de L_T est haut (noté H) dans le cylindre CT, et bas (noté B) dans le cylindre CT'. Au même instant, la pression de vapeur saturante de G_T a une valeur haute P_h dans Cond et CT, et une valeur basse P_b dans Evap et CT'. C'est cet instant du cycle qui est représenté schématiquement à la figure 9.

10 **[0127]** À l'instant t_α , l'ouverture des électrovannes EV_1 , EV_3 , EV_b et EV_h , a pour conséquences:

- La vapeur saturée de G_T sortant de l'évaporateur à P_b , pénètre dans CT et refoule le liquide de transfert L_T à un niveau intermédiaire (noté J). L_T est aspiré par la pompe PH qui le pressurise ce qui consomme du travail.
- Après avoir été pressurisé par PH, le liquide de transfert L_T est refoulé dans CT'. Dans CT', L_T passe du niveau bas au niveau intermédiaire (noté I) et comprime de façon isentropique les vapeurs de G_T contenues dans cette enceinte.
- suite à l'ouverture de EV_3 , le fluide de travail G_T à l'état de liquide saturé et à haute pression P_h est détendu par la vanne V_D puis introduit à l'état de mélange biphasique dans l'évaporateur Evap, ce qui compense en masse la sortie de G_T gazeux vers CT.

20

[0128] Sur le diagramme de Mollier (figure 10), cette étape correspond aux transformations simultanées suivantes:

- la transformation 3 \rightarrow 4 entre Cond et Evap;
- la transformation 4 \rightarrow 5 dans l'ensemble Evap-CT;
- la transformation 1 \rightarrow 2_{vs} dans CT'.

25

[0129] Comme précédemment, le fluide de travail G_T retenu est supposé aboutir à l'issue de cette transformation isentropique dans le domaine de vapeur surchauffée.

[0130] D'un point de vu énergétique, durant cette phase $\alpha\beta$, de la chaleur Q_{45} a été pompée au niveau de l'évaporateur à T_b et un travail $W_{\alpha\beta}$ a également été consommé par la pompe PH. Ce travail a été fourni par l'extérieur à puissance croissante puisque la pression en amont de la pompe reste quasi constante ($=P_b$) tandis que la pression en aval augmente de jusqu'à P_h .

30

Phase $\beta\gamma$ (entre les instants t_β et t_γ) :

35

[0131] À l'instant t_β , c'est-à-dire lorsque le niveau de L_T a atteint les valeurs prédéfinies (J dans CT et I dans CT'), on laisse EV_1 , EV_3 , EV_b et EV_h ouvertes et on ouvre l'électrovanne EV_2 . Il en résulte que la vapeur de G_T continue à être produite dans l'évaporateur, à s'expanser dans CT (transformation 5 \rightarrow 1), ce qui refoule toujours le liquide de transfert aspiré par la pompe dans le cylindre CT' cette fois connecté au condenseur. Les vapeurs de G_T contenues dans CT' se désurchauffent (soit la transformation 2_{vs} \rightarrow 2_g en partie dans CT') et se condensent totalement dans le condenseur (transformation 2_{vs} \rightarrow 2_g \rightarrow 3). Le fluide G_T à l'état de liquide saturé est détendu par V_D et introduit dans l'évaporateur.

40

[0132] D'un point de vu énergétique, durant cette phase $\beta\gamma$, de la chaleur Q_{51} est pompée au niveau de l'évaporateur à T_b , de la chaleur Q_{23} est relâchée au niveau du condenseur à T_h (avec $T_h > T_b$) ce qui nécessite un travail $W_{\gamma\delta}$ fourni par l'extérieur. Ce travail est à puissance quasi constante puisque les pressions en amont et aval de la pompe sont également pratiquement constantes (avec des échangeurs de chaleur non limitants au niveau du condenseur et de l'évaporateur).

45

[0133] À l'instant t_γ on se trouve à la moitié du cycle. L'autre moitié est symétrique : l'évaporateur, le condenseur sont le siège des mêmes transformations successives, tandis que les rôles des enceintes CT et CT' sont intervertis.

50 Phase $\gamma\delta$ (entre les instants t_γ et t_δ) et phase $\delta\alpha$ (entre les instants t_δ et t_α) :

[0134] Elles sont équivalentes respectivement à la phase $\alpha\beta$ et à la phase $\beta\gamma$, mais avec interversion des enceintes de transfert CT et CT'.

[0135] Plus particulièrement :

55

- à l'instant t_γ , on ferme tous les circuits ouverts à l'instant t_β , excepté le circuit de G_T entre Cond et Evap, on ouvre (par EV_h et EV_b) le circuit de L_T permettant le transfert de L_T depuis CT' vers CT en passant par la pompe hydraulique PH, et on ouvre (par EV_1) le circuit de G_T entre Evap et CT', de sorte que :

EP 2 283 210 B1

- * L_T est aspiré par la pompe PH qui le pressurise et le refoule dans CT ;
- * le niveau de L_T dans CT passe de bas à un niveau intermédiaire I, et dans CT' de haut à un niveau intermédiaire J ;
- * le volume occupé par les vapeurs de G_T dans CT' augmentant, le fluide de travail G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression faible P_b pénètre dans CT' ;
- * les vapeurs de G_T contenues dans CT sont comprimées adiabatiquement jusqu'à la pression haute P_h ;
- * G_T à l'état de liquide saturé ou sous-refroidi dans Cond et à la pression haute P_h se détend de façon isenthalpique et est introduit à l'état de mélange biphasique liquide/vapeur et à la pression basse P_b dans l'évaporateur Evap ;

- à l'instant t_0 , on ouvre le circuit de G_T entre CT et Cond (par EV_2), de sorte que :

- * L_T est encore aspiré par la pompe PH qui le pressurise et le refoule dans CT;
- * le niveau de L_T dans CT passe du niveau intermédiaire I à haut, et dans CT' du niveau intermédiaire J à bas ;
- * du fait que le volume occupé par les vapeurs de G_T dans CT' continue à augmenter, G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression faible P_b pénètre dans CT' ;
- * les vapeurs de G_T contenues dans CT, à haute pression P_h , sont refoulées par L_T et se condensent dans Cond ;

[0136] Après plusieurs cycles, l'installation fonctionne à un régime permanent.

[0137] Pour la production de froid : à l'état initial, G_T est maintenu dans le condenseur Cond à haute température par échange de chaleur avec le puits chaud à T_h , et dans l'évaporateur Evap à une température inférieure ou égale à T_h par échange de chaleur avec un milieu externe à la machine, ledit milieu ayant initialement une température inférieure ou égale à T_h ; et en régime permanent, un travail net est consommé par la pompe hydraulique PH, le condenseur Cond évacue en continu de la chaleur vers le puits chaud à haute température T_h , et de la chaleur est consommée en continu par l'évaporateur Evap, c'est-à-dire qu'il y a une production de froid vers le milieu extérieur en contact avec ledit évaporateur Evap, la température T_b dudit milieu extérieur étant inférieure strictement à T_h .

[0138] Pour la production de chaleur : à l'état initial, G_T est maintenu dans l'évaporateur Evap à basse température par échange de chaleur avec la source froide à T_b , dans le condenseur Cond à une température supérieure ou égale à T_h par échange de chaleur avec un milieu externe à l'installation à une température supérieure ou égale à T_h ; et en régime permanent, un travail net est consommé par la pompe hydraulique PH, la source froide à T_b apporte de la chaleur en continu à Evap, et Cond évacue en continu de la chaleur vers le puits chaud, c'est-à-dire qu'il y a une production de chaleur vers le milieu extérieur en contact avec Cond, la température T_h dudit milieu extérieur étant supérieure strictement à T_b .

[0139] Dans cette configuration (dite réceptrice de 1^{er} type), l'équation (2) et l'inéquation (2) lient les volumes massiques de G_T dans les différentes étapes du cycle sont toujours valables.

[0140] La machine de Carnot modifiée réceptrice de 1^{er} type est plus simple dans son fonctionnement et comprend moins d'éléments constitutifs. Toutefois, comme pour un cycle classique à compression mécanique de vapeur, les transformations $3 \rightarrow 4$ et $2_{vs} \rightarrow 2_g$ génèrent quelques irréversibilités, ce qui a un effet défavorable sur les coefficients de performance ou d'amplification du cycle. Néanmoins comme cette dégradation est modérée, cette configuration de 1^{er} type est préférée pour la machine de Carnot modifiée réceptrice. En effet bien que cette machine de Carnot modifiée réceptrice de 1^{er} type se rapproche des machines classiques à compression mécanique de vapeur, elle garde encore deux avantages décisifs:

- l'étape de compression adiabatique ($1 \rightarrow 2_{vs}$) a un rendement de compression isentropique supérieur, elle est moins bruyante et plus fiable ;
- la même machine, moyennant des adaptations légères pourra fonctionner en mode moteur ce qui n'est pas possible avec les machines de l'art antérieur.

[0141] Le choix de l'un ou l'autre type de machine réceptrice sera effectué en fonction des moyens dont on dispose, notamment de la température de la source et du puits de chaleur, et du fluide de travail G_T , et du résultat visé.

[0142] Une même machine de Carnot modifiée peut assurer alternativement, selon le choix de l'utilisateur, soit la fonction de moteur, soit la fonction de récepteur. Dans ce cas, ladite machine de Carnot modifiée sera qualifiée "polyvalente". Cette possibilité implique que la machine possède les éléments constitutifs nécessaires pour satisfaire chacun des deux modes de fonctionnement (moteur ou récepteur) comme décrit précédemment et des éléments supplémentaires permettant de commuter d'un mode sur l'autre, les deux modes ne pouvant fonctionner simultanément. De nombreux éléments constitutifs nécessaires à chaque mode peuvent être identiques; il s'agit des éléments Cond, Evap, CT, CT', la plupart des vannes commandées et certaines parties des circuits de G_T et L_T . Il est donc inutile de dupliquer ces éléments dans la machine de Carnot modifiée polyvalente. D'autres éléments sont spécifiques d'un mode. Par exemple

le dispositif DPD associant l'enceinte ABCD et les électrovannes EV_3 et EV_4 , tel que décrit dans la figure 2, permet le fonctionnement en mode moteur de 2^{ème} type mais pas le fonctionnement en mode récepteur de 2^{ème} type, tel que décrit dans la figure 7. La réciproque n'est pas vraie: le dispositif DPD associant l'enceinte ABCD et les électrovannes EV_3 et EV_4 , tel que décrit dans la figure 7, permet le fonctionnement en mode récepteur de 2^{ème} type ou moteur de 2^{ème} type. Un deuxième exemple d'incompatibilité d'usage dans les deux modes concerne encore les dispositifs DPD mais pour les machines de Carnot modifiées de 1^{er} type: la pompe hydraulique auxiliaire PHA_1 (figure 5) ne peut pas assurer la fonction de détente du fluide de travail comme la vanne de détente VD ou le capillaire C (figure 9) et vice-versa. De la même façon le convertisseur hydraulique est soit une pompe soit un moteur. Il existe toutefois des convertisseurs qui peuvent assurer les deux fonctions selon le sens de circulation du fluide.

[0143] La figure 11 représente schématiquement une machine de Carnot modifiée polyvalente pouvant assurer au choix de l'utilisateur soit la fonction de machine de Carnot modifiée motrice de 1^{er} type, soit la fonction de machine de Carnot modifiée réceptrice de 1^{er} type. Les trois autres combinaisons des deux types sont également possibles : motrice et réceptrice de 2^{ème} type, motrice de 1^{er} type et réceptrice de 2^{ème} type, motrice de 2^{ème} type et réceptrice de 1^{er} type. La sélection du mode de fonctionnement (moteur ou récepteur) ne nécessite pas de moyens sophistiqués. Par exemple, dans la figure 11, les électrovannes EV_{3M} et EV_{3R} sont ouverte et fermée (respectivement fermée et ouverte) si le mode moteur est sélectionné (respectivement le mode récepteur). Ces deux électrovannes EV_{3M} et EV_{3R} peuvent être remplacées par une vanne trois voies. Enfin, toujours sur cet exemple de la figure 11, la pompe hydraulique et le moteur hydraulique sont considérés comme deux convertisseurs hydrauliques distincts; selon le mode sélectionné de fonctionnement, moteur ou récepteur, l'un ou l'autre des convertisseurs est actif en fonction de l'ouverture de l'électrovanne trois voies EV_{RM} , la dite EV_{RM} pouvant être remplacée par deux électrovannes deux voies ou tout autre actionneur sur le circuit du liquide de transfert.

[0144] Dans un mode de réalisation particulier, une machine de Carnot modifiée peut être couplée avec un dispositif complémentaire, par un couplage thermique ou par un couplage mécanique.

[0145] Une machine de Carnot modifiée motrice ou réceptrice selon l'invention peut être couplée thermiquement au niveau de son condenseur et/ou de son évaporateur à un dispositif complémentaire. Le couplage thermique peut être effectué par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur ou d'un caloduc, ou par contact direct ou par rayonnement.

[0146] Le dispositif complémentaire peut être une machine thermodynamique motrice ou réceptrice. Les deux cas les plus intéressants concernent le couplage d'une machine de Carnot modifiée motrice et d'une machine thermodynamique motrice ou le couplage d'une machine de Carnot modifiée réceptrice et d'une machine thermodynamique réceptrice. Dans les deux cas la machine thermodynamique (motrice ou réceptrice) reçoit de la chaleur du condenseur de la machine de Carnot modifiée (respectivement motrice ou réceptrice) ou donne de la chaleur à l'évaporateur de la machine de Carnot modifiée (respectivement motrice ou réceptrice). Lesdites machines thermodynamiques motrice ou réceptrice peuvent être une 2^{ème} machine de Carnot modifiée motrice (du 1^{er} type ou du 2^{ème} type) ou réceptrice différente de la première (du 1^{er} type ou du 2^{ème} type).

[0147] Un mode de réalisation d'un couplage thermique entre deux machines de Carnot modifiées motrices est illustré schématiquement sur les figures 12a et 12b. La figure 12a représente les niveaux de température des sources et puits de chaleur et le sens des échanges de chaleur et de travail entre les machines ou avec l'environnement. Une première machine dite haute température (HT) fonctionne entre une source de chaleur à la température T_h et un puits de chaleur à la température intermédiaire T_{m1} , et elle contient un fluide de travail G_{T1} . Une seconde machine, dite basse température (BT) fonctionne entre une source de chaleur à T_{m2} et un puits de chaleur à la température T_b , et elle contient un fluide de travail G_{T2} . Les températures sont telles que $T_h > T_{m1} > T_{m2} > T_b > T_{\text{ambiante}}$. Si les transferts de chaleur au niveau du condenseur de la machine HT et de l'évaporateur de la machine BT sont infiniment efficaces (en raison d'une surface d'échange et/ou de coefficients d'échange infinis) les températures T_{m1} et T_{m2} sont pratiquement égales. Dans tous les cas, dans cette association dite "en cascade thermique", la quantité de chaleur Q_h est fournie à la machine HT à la température T_h pour l'évaporation du fluide G_{T1} , la quantité de chaleur Q_{m1} libérée par la condensation de G_{T1} dans le condenseur de la machine HT à la température T_{m1} est transférée entièrement ($Q_{m1} = Q_{m2}$) ou partiellement ($Q_{m1} > Q_{m2}$) à l'évaporateur de la machine BT pour l'évaporation du fluide G_{T2} à la température T_{m2} et la chaleur Q_b produite à la température T_b par la condensation du fluide G_{T2} est transmise à l'environnement. Lorsque seule la production de travail est recherchée, le transfert de chaleur entre la source à T_{m1} et le puits à T_{m2} est intégral, c'est-à-dire qu'il y a égalité de Q_{m1} et Q_{m2} , noté simplement Q_m dans ce cas. Lorsque l'on cherche une cogénération de travail et de chaleur à un niveau de température suffisant tel que T_{m1} , alors le transfert de chaleur entre la source à T_{m1} et le puits à T_{m2} est partiel, c'est-à-dire que Q_{m1} est supérieur à Q_{m2} et que la différence est délivrée à l'utilisateur.

[0148] Éventuellement les fluides de travail G_{T1} et G_{T2} peuvent être identiques. Parallèlement, les quantités de travail W_1 et W_2 sont fournies respectivement par la machine HT et la machine BT. Le rendement global $((W_1+W_2)/Q_h)$ de l'association en cascade des deux machines modifiées motrices n'est pas nécessairement égal, mais plutôt inférieur, en général, à celui d'une machine de Carnot modifiée motrice seule fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes T_h et T_b représentée schématiquement sur la figure 12b. En fait, ces deux rendements sont égaux à la quadruple condition que les deux machines de Carnot modifiées soient de 2^{ème} type, fonctionnent idéalement, c'est-à-dire sans

irréversibilités, que les températures T_{m1} et T_{m2} soient confondues et qu'il y ait récupération intégrale de chaleur ($Q_{m1} = Q_{m2}$) à cette température intermédiaire T_m .

[0149] L'association en cascade thermique de machines de Carnot modifiées motrices peut impliquer des machines de mêmes types (1^{er} ou 2^{ème}) ou de types différents.

[0150] Un 1^{er} avantage de l'association en cascade de deux machines de Carnot modifiées motrices de 2^{ème} type réside dans le fait que l'amplitude de température $T_h - T_b$ n'est plus limitée comme lors de l'utilisation d'une seule machine de Carnot modifiée motrice de 2^{ème} type (dû à la condition sur les volumes massiques exprimée par l'équation (1)). De ce fait le rendement global de l'association en cascade peut toujours devenir supérieur à celui de la machine seule lorsque l'écart ($T_h - T_b$) de ladite association devient supérieur à l'écart maximal permis pour ladite machine seule.

[0151] Un 2^{ème} avantage de l'association en cascade de deux machines de Carnot modifiées motrices, de 1^{er} ou de 2^{ème} type, est que l'amplitude de pression de chacun des fluides de travail G_{T1} et G_{T2} est plus faible que celle du fluide de travail de l'unique machine de Carnot modifiée motrice (de 1^{er} ou de 2^{ème} type) fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes T_h et T_b .

[0152] Un couplage en cascade peut être effectué à l'aide de plus de deux machines de Carnot modifiées motrices, selon le même principe. La 1^{ère} machine est alimentée en chaleur à la température la plus élevée T_h pour l'évaporation d'un fluide de travail, et la dernière machine de la cascade libère vers l'environnement, la chaleur générée par la condensation à la température la plus faible T_b , T_b étant néanmoins supérieure à la température dudit environnement. Entre ces deux machines extrêmes, chaque machine intermédiaire reçoit la chaleur libérée par la condensation du fluide de travail de la machine que la précède, et transfère la chaleur libérée par la condensation de son propre fluide de travail à la machine qui la suit. Chaque machine fournit une quantité de travail à l'environnement.

[0153] Deux machines de Carnot modifiées réceptrices peuvent être couplées en cascade d'une manière analogue à celle décrite ci-dessus pour les machines motrices. Les flux de travail et de chaleur sont en sens inverse de ceux représentés à la figure 12a.

[0154] L'association en cascade de deux machines de Carnot modifiées réceptrices présente l'avantage non négligeable d'une réduction de l'amplitude de pression de chacun des fluides de travail G_{T1} et G_{T2} par rapport à celle du fluide de travail constatée dans une machine de Carnot modifiée réceptrice unique, qu'elle soit de 1^{er} ou de 2^{ème} type, et fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes T_b et T_h .

[0155] Une machine de Carnot modifiée selon l'invention peut être couplée mécaniquement à un dispositif complémentaire au niveau du moteur hydraulique si la machine est motrice ou de la pompe hydraulique si la machine est réceptrice. Le couplage mécanique peut être effectué par l'intermédiaire par exemple d'une courroie, d'un cardan, d'un embrayage magnétique ou pas, ou directement sur l'arbre du moteur hydraulique ou de la pompe hydraulique.

[0156] Le dispositif complémentaire peut être un dispositif moteur, par exemple un moteur électrique, une turbine hydraulique, une éolienne, un moteur à essence, un moteur à gaz, un moteur diesel, ou autre machine de Carnot modifiée motrice.

[0157] Le dispositif complémentaire peut être un dispositif récepteur, par exemple une pompe hydraulique, un véhicule de transport, un alternateur, une pompe à chaleur à compression mécanique de vapeur, un compresseur à air, ou une autre machine de Carnot modifiée réceptrice.

[0158] Le dispositif complémentaire peut en outre être un dispositif moteur-récepteur tel qu'un volant d'inertie par exemple.

[0159] Un mode de réalisation particulièrement préféré de couplage mécanique consiste à coupler une machine de Carnot modifiée motrice et une machine de Carnot modifiée réceptrice.

[0160] Un 1^{er} mode de réalisation d'une installation comprenant une machine de Carnot modifiée motrice couplée mécaniquement à une machine de Carnot modifiée réceptrice, est représenté schématiquement sur la figure 13 avec les niveaux de température des sources et puits de chaleur et le sens des échanges de chaleur et de travail.

[0161] La machine motrice contient un fluide de travail G_{T1} . Elle reçoit une quantité de chaleur Q_h à partir d'une source à la température T_h , elle libère une quantité de chaleur Q_{mM} à une température T_{mM} et un travail W . La température T_h de la source est nécessairement supérieure à la température T_{mM} du puits de chaleur.

[0162] La machine réceptrice contient un fluide de travail G_{T2} . Elle libère une quantité de chaleur Q_{mR} à une température T_{mR} . Elle reçoit une quantité de chaleur Q_b à partir d'une source à la température T_b et le travail W libéré par la machine motrice. La température T_b de la source est nécessairement inférieure à la température T_{mR} du puits de chaleur.

[0163] Les deux applications principales visées par une telle association qui n'utilise comme seule source d'énergie que de la chaleur à T_h , sont :

- la production de froid à T_b . Dans ce cas $T_b < T_{\text{ambient}} \leq T_{mR}$
- la production de chaleur à T_{mR} et T_{mM} . Par exemple pour le chauffage de l'habitat, c'est-à-dire lorsque T_b est la température ambiante à l'extérieur $T_{\text{ambient_extérieur}}$, les deux températures moyennes T_{mM} et T_{mR} sont égales et le coefficient d'amplification $(Q_{mR} + Q_{mM}) / Q_h$ est supérieur à 1.

[0164] Un 2^{ème} mode de réalisation d'une installation comprenant une machine de Carnot modifiée motrice couplée mécaniquement à une machine de Carnot modifiée réceptrice, est représenté schématiquement sur la figure 14 avec les niveaux de température des sources et puits de chaleur et le sens des échanges de chaleur et de travail.

[0165] La machine motrice contient un fluide de travail G_{T2} . Elle reçoit une quantité de chaleur Q_{mM} à partir d'une source à la température T_m , elle libère une quantité de chaleur Q_b à une température T_b et un travail W . La température T_m de la source est nécessairement supérieure à la température T_b du puits de chaleur.

[0166] La machine réceptrice contient un fluide de travail G_{T1} . Elle libère une quantité de chaleur Q_h à une température T_h . Elle reçoit une quantité de chaleur Q_{mR} à partir de la source à la température T_m et le travail W libéré par la machine motrice. La température T_m de la source est nécessairement inférieure à la température T_h du puits de chaleur.

[0167] Une telle installation selon l'invention permet d'obtenir une quantité de chaleur à une température plus élevée que la température de la source de chaleur disponible sans consommer de travail fourni par l'environnement. Cette application est particulièrement intéressante lorsque l'on dispose de rejet de chaleur inutilisée et que l'on en a besoin à plus haute température.

[0168] Une installation selon la présente invention peut être utilisée pour produire, à partir d'une source de chaleur, de l'électricité, de la chaleur ou du froid. Selon l'application considérée, l'installation comprend une machine de Carnot modifiée motrice ou une machine de Carnot modifiée réceptrice, associée à un environnement approprié. Le fluide de travail et le liquide hydraulique de transfert sont choisis en fonction du but recherché, de la température de la source de chaleur disponible et de la température du puits de chaleur disponible.

[0169] Une machine de Carnot modifiée réceptrice peut être utilisée dans tout le domaine des machines frigorifiques et des pompes à chaleur : congélation, réfrigération, climatisation dit "réversible" c'est-à-dire rafraîchissement l'été et chauffage l'hiver.

[0170] Les machines frigorifiques classiques à compression mécanique de vapeur (CMV) sont réputées avoir de bons coefficients de performance COP (= Q_b/W) ou d'amplification COA (= Q_m/W). En réalité ces coefficients sont bien inférieurs (-50% environ) à ceux de la machine de Carnot et donc de la machine de Carnot modifiée réceptrice de la présente invention en particulier du 2^{ème} type et dans une moindre mesure du 1^{er} type. Le remplacement des machines CMV actuelles par des machines de Carnot modifiées réceptrices permettrait une réduction de l'énergie électrique requise pour satisfaire les mêmes besoins.

[0171] Comme pour les pompes à chaleur classiques à compression mécanique de vapeur, le domaine de pression raisonnable pour le fluide de travail G_T d'une machine de Carnot modifiée réceptrice se situe entre 0,7 bar et 10 bars environ. Aux pressions inférieures à 0,7 bar, la taille des canalisations entre le cylindre de transfert et l'évaporateur et surtout le volume du cylindre de transfert lui-même deviendraient trop importants. À l'inverse, aux pressions supérieures à 10 bars se posent des problèmes de sécurité et de résistance des matériaux. L'utilisation des alcanes ou des HFC est bien adaptée pour ces applications. Par exemple l'isobutane est déjà utilisé dans les réfrigérateurs ou congélateurs actuels (car sans effet sur la couche d'ozone). Le liquide de transfert qui peut être associé à ces alcanes dans une machine de Carnot modifiée réceptrice pour les applications frigorifiques est l'eau. Pour le froid négatif, il sera néanmoins nécessaire dans ce cas d'intercaler une membrane entre G_T et L_T pour éviter que du givre ne vienne obstruer l'intérieur de l'évaporateur ou d'envisager des dégivrages réguliers et des dispositifs de retour du L_T vers les enceintes de transfert. À la place de l'eau comme liquide de transfert, on peut également envisager une huile dans laquelle le fluide de travail G_T choisi serait faiblement miscible.

[0172] Les machines de Carnot modifiée motrices peuvent être utilisées pour la production électrique centralisée ou dispersée, la production de travail pour le pompage d'eau, le dessalement d'eau de mer, etc..., la production de travail pour une machine réceptrice ditherme c'est-à-dire à finalité de chauffage ou de production frigorifique et en particulier une machine de Carnot modifiée réceptrice.

[0173] Les avantages d'une machine de Carnot modifiée motrice et ceux d'une machine de Carnot modifiée réceptrice peuvent être cumulés en associant les deux machines. En effet, la conversion mécanique - électrique n'est alors plus nécessaire, ce qui supprime la légère perte de rendement qu'une telle conversion implique.

[0174] Une installation selon l'invention peut être utilisée pour la production centralisée d'électricité à partir d'une source de chaleur centralisée à haute température, produite par exemple par une réaction nucléaire. Une réaction nucléaire produit de la chaleur à 500°C. L'utilisation de cette chaleur implique soit l'utilisation d'un fluide moteur compatible avec cette température élevée, soit la mise en oeuvre d'une étape intermédiaire utilisant une turbine à vapeur surchauffée entre 500 et 300°C, la chaleur à 300°C étant ensuite fournie à une machine de Carnot modifiée motrice qui fonctionnerait entre cette source chaude à 300°C et le puits froid de l'ambiance extérieure. Avec un tel écart de température il est nécessaire d'associer en cascade thermique au moins deux machines de Carnot modifiées motrices impliquant différents fluides de travail. Pour la machine à plus haute température, l'eau est bien adaptée comme fluide de travail. Dans cette configuration l'avantage conféré par l'invention est que le rendement global de production électrique est meilleur que celui des centrales nucléaires actuelles.

[0175] Une installation selon l'invention peut être utilisée pour la production décentralisée d'électricité, en utilisant comme source de chaleur l'énergie solaire qui est renouvelable, disponible partout mais intermittente et assez diluée

(1 kW/m² maximum environ par beau temps). Les capteurs solaires cylindro paraboliques actuels peuvent amener le fluide moteur à 300°C environ. Par rapport à la production centralisée on perd le travail délivré par la turbine entre 500 et 300°C, mais on utilise uniquement une source d'énergie renouvelable.

[0176] On peut aussi utiliser l'énergie solaire thermique délivrée à des températures inférieures, telles que 130°C environ avec des capteurs à tubes sous vide ou 80°C environ avec des capteurs plans. Évidemment plus la température de la source chaude diminue, plus faible est le rendement de la machine de Carnot modifiée motrice. Toutefois pour la plus faible température T_h , celle délivrée par les capteurs solaires plans, une association en cascade thermique n'est plus nécessaire, la machine de Carnot modifiée motrice est alors plus simple et donc moins coûteuse. En cas d'absence de soleil, une chaudière auxiliaire peut apporter la chaleur nécessaire.

[0177] Une installation selon l'invention peut être utilisée pour transformer de la chaleur en travail, sans nécessairement transformer celui-ci en électricité. Le travail mécanique peut être utilisé directement, par exemple pour une pompe hydraulique ou pour une pompe à chaleur dont le compresseur n'est pas entraîné par un moteur électrique. Dans ce dernier cas les finalités sont:

- la production de chaleur à un niveau de température T_m inférieur à celui de la source chaude à T_h mais avec un coefficient d'amplification supérieur à 1 ou à un niveau de température T_h supérieur à celui de la source chaude à T_m mais avec un coefficient d'amplification inférieur à 1, lesdits coefficients d'amplification étant supérieurs à ceux de l'art antérieur par les systèmes à ad- ou absorption.
- la production de froid à un niveau de température T_b (inférieur à l'ambiance) et avec un coefficient de performance supérieur à celui de l'art antérieur par les systèmes à ad- ou absorption.

[0178] La présente invention est illustrée par les huit exemples suivants, auxquels elle n'est cependant pas limitée. Les figures 15a à 15h récapitulent schématiquement, pour chacun des exemples, les échanges de chaleur et de travail entre la machine (ou les associations de machines) de Carnot modifiée(s) et l'environnement, ainsi que les températures des sources et puits de chaleur.

- | | |
|-----------------|--|
| Exemple 1 | (Fig. 15a): trois machines de Carnot modifiées motrices de 2 ^{ème} type en cascade thermique; |
| Exemple 2 | (Fig. 15b): deux machines de Carnot modifiées motrices de 1 ^{er} type en cascade thermique; |
| Exemples 3 et 4 | (Fig. 15c et 15d): machines de Carnot modifiées réceptrices de 2 ^{ème} ou 1 ^{er} type; |
| Exemple 5 | (Fig. 15e): deux machines de Carnot modifiées réceptrices de 1 ^{er} type en cascade thermique; |
| Exemples 6 et 7 | (Fig. 15f et 15g): couplage mécanique d'une machine de Carnot modifiée motrice haute température de 1 ^{er} type et d'une machine de Carnot modifiée réceptrice de 1 ^{er} type basse température; |
| Exemple 8 | (Fig. 15h): couplage mécanique d'une machine de Carnot modifiée motrice basse température de 1 ^{er} type et d'une machine de Carnot modifiée réceptrice de 1 ^{er} type haute température. |

[0179] Dans ces exemples, trois fluides de travail G_T sont utilisés : l'eau (notée R718), le n-butane (noté R600) et le 1,1,1,2-tétrafluoroéthane (noté R134a). Les diagrammes de Mollier pour ces trois fluides sont représentés respectivement par les figures 16, 17 et 18. Dans ces diagrammes sont tracés les différents cycles de Carnot modifiés qui sont impliqués dans les exemples 1 à 8 susmentionnés.

Exemple 1

Association en cascade thermique de trois machines de Carnot modifiées motrices du 2^{ème} type

[0180] L'objectif est de produire du travail (convertible en électricité) avec le meilleur rendement possible. Pour une température de puits froid donnée ($T_b = 40^\circ\text{C}$), le rendement sera d'autant plus élevé que la température T_h de la source chaude est élevée et que le cycle de la machine se rapproche du cycle idéal de Carnot. Le cycle de Carnot modifié moteur de 2^{ème} type est donc retenu dans sa configuration préférée, c'est à dire en respectant la contrainte de l'égalité des volumes massiques du fluide de travail en sortie du condenseur et de l'évaporateur (tel que décrit dans la figure 4).

[0181] Avec une source de chaleur à T_{h3} égale à 85°C, le fluide de travail utilisé est le R600 et il décrit le cycle a-b-c-d-a dans la figure 17. On note qu'avec ce fluide la détente adiabatique c→d aboutit dans le domaine de la vapeur surchauffée mais néanmoins très près de la courbe de saturation. L'irréversibilité est très faible. Le rendement η_3 de ce cycle est de 12,49%, à comparer au 12,56% d'un cycle de Carnot parfait entre les mêmes températures.

[0182] Avec une source de chaleur à T_{h2} égale à 175°C et en association en cascade thermique avec le cycle précédent, le fluide de travail utilisé est le R718 et il décrit le cycle e-f-g-h-e dans la figure 16. On note qu'avec ce fluide la détente adiabatique g→h aboutit dans le domaine biphasique et n'induit donc aucune irréversibilité. Le rendement η_2 de ce

EP 2 283 210 B1

cycle se confond avec celui de Carnot et est donc de 16,7%.

[0183] Enfin avec une source de chaleur à T_{h1} égale à 275°C et en association en cascade thermique avec le cycle précédent, le fluide de travail utilisé est toujours le R718 et il décrit le cycle a-b-c-d-a dans la figure 16. La détente adiabatique c→d aboutit encore dans le domaine biphasique. Le rendement η_1 de ce cycle est de 16,4%.

[0184] L'association en cascade thermique de ces trois machines de Carnot modifiées motrices de 2^{ème} type (figure 15a), avec des écarts de température réalistes au niveau des transferts de chaleur entre les différentes machines, conduit au rendement global :

$$\eta = (W_1+W_2+W_3)/Q_h = \eta_1 + \eta_2 \cdot (1-\eta_1) + \eta_3 \cdot (1-\eta_2)(1-\eta_1)$$

$\eta = 39,10\%$ soit 91% du rendement de la machine de Carnot fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes.

[0185] Ce rendement est meilleur que celui des centrales électriques nucléaires actuelles ($\approx 34\%$) qui travaillent pourtant avec des vapeurs surchauffées à des températures bien supérieures ($\approx 500^\circ\text{C}$). En outre la source de chaleur à T_{h1} ($=275^\circ\text{C}$) pourrait être apportée par des capteurs solaires cylindro-paraboliques.

Exemple 2

Association en cascade thermique de deux machines de Carnot modifiées motrices du 1^{er} type

[0186] Comme pour l'exemple précédent, l'objectif est de produire du travail (convertible en électricité) mais avec une machine plus simple en utilisant des associations de machine de Carnot modifiées motrices de 1^{er} type. Les écarts en température de la source et du puits de chaleur ne sont plus limitées par la contrainte de l'égalité des volumes massiques du fluide de travail en sortie du condenseur et de l'évaporateur. Toutefois les écarts en pression trop importants génèrent d'autres problèmes technologiques; ainsi en reprenant les mêmes source et puits de chaleur extrêmes (275°C et 40°C), il est préférable d'associer deux machines en cascade thermique plutôt que de réaliser une seule machine fonctionnant sur un écart aussi important.

[0187] L'association en cascade thermique (figure 15b) consiste à coupler deux machines de Carnot modifiées motrice de 1^{er} type, la première utilise l'eau (R718) comme fluide travail et décrit le cycle i-j-b-c-k-i de la figure 16, la seconde utilise le n-butane (R600) comme fluide travail et décrit le cycle e-f-b-c-d-e de la figure 17.

[0188] Les étapes j→b et f→b de ces deux cycles induisent des irréversibilités supplémentaires, mais les rendements des deux cycles restent néanmoins très satisfaisants (en comparaison des rendements de Carnot): $\eta_1 = 27,47\%$ pour le cycle avec le R718 et $\eta_2 = 10,82\%$ pour le cycle avec le R600.

[0189] Le rendement global de l'association en cascade thermique (figure 15b) de ces deux machines de Carnot modifiées motrices de 1^{er} type est:

$$\eta = (W_1+W_2)/Q_h = \eta_1 + \eta_2 \cdot (1-\eta_1)$$

soit $\eta = 35,32\%$ (82% du rendement de la machine de Carnot fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes).

[0190] Par rapport à l'exemple précédent, pour une dégradation assez faible du rendement (-3,78%) la simplification de la machine est relativement importante : deux machines en association au lieu de trois et surtout 1^{er} type plus simple que le 2^{ème}.

Exemple 3

Machines de Carnot modifiées réceptrices du 2^{ème} ou 1^{er} type

[0191] L'objectif visé dans l'exemple 3 est le chauffage de l'habitat par des émetteurs (radiateurs ou plancher chauffant) à basse température. Une machine de Carnot modifiée réceptrice fonctionnant entre 5 et 50°C est bien adaptée à cette application (Figure 15c).

[0192] On compare les deux options possibles que constituent les machines du 2^{ème} ou du 1^{er} type en utilisant comme fluide de travail le R600.

[0193] Avec une machine de Carnot modifiée réceptrice de 2^{ème} type le cycle décrit est le cycle 1-2-3-4'-9-1 de la figure 17. Avec ce fluide si l'étape de compression adiabatique avait été réalisée à partir de la vapeur saturée, c'est-à-dire le point "9" de ce cycle, ledit fluide à la fin de cette étape aurait été dans le domaine biphasique, ce qui n'est pas un inconvénient. À titre d'illustration sur cet exemple on choisit de réaliser une légère surchauffe (c'est-à-dire l'étape 9→1) telle qu'il n'y ait que de la vapeur saturée en fin de compression (point "2" du cycle). Cela implique pendant cette

étape un apport de chaleur, par exemple au niveau des cylindres de transfert tel que cela est illustré à la figure 2 pour une machine de Carnot modifiée motrice.

[0194] Le coefficient d'amplification de cette machine de Carnot modifiée réceptrice décrivant ce cycle est :

5

$$COA = Q_h/W = 7,18$$

[0195] Ce COA est quasiment égal à celui de la machine de Carnot fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes car l'irréversibilité engendrée par la surchauffe 9→1 est très faible.

10 [0196] Toutefois la machine de 2^{ème} type nécessite l'enceinte ABCD et les connexions associées, ce qui a un coût et implique une gestion plus complexe du cycle. Avec une machine de Carnot modifiée réceptrice de 1^{er} type le cycle décrit est le cycle 1-2-3-4-9-1 de la figure 17. Le COA de cette machine de 1^{er} type est plus faible : $COA = Q_h/W = 6,06$, soit 84% du COA de la machine de Carnot mais reste tout de même bien meilleur que les COA des machines actuelles à compression mécanique de vapeur fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes.

15

Exemple 4

Machine de Carnot modifiée réceptrice du 1^{er} type

20 [0197] L'objectif visé dans l'exemple 4 est le rafraîchissement de l'habitat en été.

[0198] Une machine de Carnot modifiée réceptrice du 1^{er} type fonctionnant entre 15 et 40°C est bien adaptée à cette application (Figure 15d). Le fluide de travail utilisé (R600) décrit le cycle 5-6-7-8-5 de la figure 17. Par rapport à l'exemple précédent, on choisit de ne pas réaliser de surchauffe avant l'étape de compression isentropique. Le coefficient de performance de cette machine de Carnot modifiée réceptrice décrivant ce cycle est :

25 $COP = Q_b/W = 10,33$ soit 90% du COP de la machine de Carnot et surtout bien meilleur que les COP des machines actuelles à compression mécanique de vapeur fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes.

Exemple 5

30 Association en cascade thermique de deux machines de Carnot modifiées réceptrices du 1^{er} type

[0199] L'objectif visé dans l'exemple 5 est la production frigorifique à basse température (pour la congélation). Même si l'écart en température entre la source et le puits de chaleur n'est pas limité par une quelconque contrainte d'égalité des volumes massiques du fluide de travail, il est préférable qu'il n'y ait pas d'écart en pression trop important dans la machine car cela génère d'autres problèmes technologiques. Ainsi avec la source froide à -30°C et le puits chaud à 40°C, il est préférable d'associer deux machines en cascade thermique plutôt que de réaliser une seule machine fonctionnant sur un écart aussi important. L'association en cascade thermique (voir figure 15e) consiste à coupler deux machines de Carnot modifiées réceptrices de 1^{er} type, la première utilise le R600 comme fluide travail et décrit le cycle 9-6-7-10-9 de la figure 17, la seconde utilise le R134a comme fluide travail et décrit le cycle 1-2-3-4-1 de la figure 18.

35

40 [0200] Le coefficient de performance global de l'association en cascade thermique de ces deux machines de Carnot modifiées réceptrices de 1^{er} type est:

$$COP = Q_b/(W_1+W_2) = 1/[1/COP_2+(1+1/COP_2)/COA_1]$$

45

[0201] $COP = 2,85$ soit 82% du COP de la machine de Carnot et surtout bien meilleur que les COP des machines actuelles à deux étages de compression mécanique de vapeur fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes.

Exemple 6

50

Couplage mécanique d'une machine de Carnot modifiée motrice haute température de 1^{er} type et d'une machine de Carnot modifiée réceptrice basse température de 1^{er} type

[0202] L'objectif visé dans l'exemple 6 (figure 15f) est le rafraîchissement de l'habitat en été en n'utilisant comme source d'énergie que de la chaleur, par exemple issue de capteurs solaires. Pour cela on couple une première machine, la machine de Carnot modifiée motrice du 1^{er} type utilisant le fluide de travail R600 et décrite à l'exemple 2, et une deuxième machine, la machine de Carnot modifiée réceptrice du 1^{er} type décrite à l'exemple 4.

55

[0203] Le coefficient de performance de cette association (figure 15f) est: $COP = Q_b/Q_h = \eta_1.COP_2 = 1,29$ soit 89%

EP 2 283 210 B1

du COP de la machine de Carnot tritherme et surtout bien meilleur que les COP des systèmes trithermes à ad- ou absorption de l'art antérieur actuel fonctionnant entre les mêmes sources et puits de chaleur.

Exemple 7

Couplage mécanique d'une machine de Carnot modifiée motrice haute température de 1^{er} type et d'une machine de Carnot modifiée réceptrice basse température de 1^{er} type

[0204] Les objectifs visés dans l'exemple 7 (figure 15g) sont multiples:

- cogénération de travail convertible en électricité et de chaleur utile pour le chauffage (basse température) de l'habitat en hiver;
- climatisation à "basse température" c'est-à-dire compatible avec les ventilo-convecteurs classiques pour les immeubles (bureau ou habitat collectif notamment).

dans tous les cas en n'utilisant comme source d'énergie que de la chaleur à température accessible par une chaudière ou par des capteurs solaires de type cylindo-parabolique.

[0205] Pour ces objectifs pratiques, on couple une première machine, la machine de Carnot modifiée motrice du 1^{er} type utilisant le fluide de travail le R718 qui décrit le cycle l-m-g-n-l de la figure 16, et une deuxième machine, la machine de Carnot modifiée réceptrice du 1^{er} type décrite à l'exemple 3.

[0206] Le rendement η_1 de la première machine est de 25,34% (soit 91% du rendement de Carnot) ce qui est bien supérieur au rendement actuel des capteurs solaires photovoltaïques.

[0207] Si l'électricité n'est pas récupérée pour la machine réceptrice (figure 15g), la production de chaleur Q_{m1} complète la production électrique, soit 24,66% de l'énergie incidente Q_h alors que les cellules photovoltaïques, elles, ne délivrent pas de chaleur. Dans le cas contraire, c'est-à-dire pour les applications de chauffage seul et/ou de climatisation, les coefficients d'amplification et de performance de cette association sont reliés aux COP et rendement des 2 machines selon: $COA = COP + 1 = COP_2 \cdot \eta_1 + 1$

Soit respectivement $COA = 2,28$ (84% du COA de Carnot) et $COP = 1,28$ (74% du COA de Carnot).

Exemple 8

Couplage mécanique d'une machine de Carnot modifiée motrice basse température de 1^{er} type et d'une machine de Carnot modifiée réceptrice haute température de 1^{er} type

[0208] L'objectif visé dans l'exemple 8 (figure 15h) est la production de vapeur à moyenne pression (2 bars) en ayant comme seule source d'énergie de la chaleur à "basse température" (85°C) incompatible avec la production directe de ladite vapeur. C'est un exemple parmi d'autres rencontrés classiquement sur des sites industriels où il existe des rejets de chaleur inutilisés et des besoins à des températures supérieures.

[0209] Cet objectif de thermotransformation entre 85 et 120°C (susceptible de générer de la vapeur à 2 bars) peut être réalisé en couplant mécaniquement une première machine, la machine de Carnot modifiée réceptrice du 1^{er} type, utilisant le R718, fonctionnant entre 85 et 120°C et décrivant le cycle 1-2-3-4-1 de la figure 16, et une deuxième machine, la machine de Carnot modifiée motrice du 1^{er} type, fonctionnant entre 85°C et 40°C (température supérieure à l'ambiance), utilisant le fluide de travail R600 et décrite à l'exemple 2.

[0210] Le coefficient de performance COP_1 de la première machine (réceptrice) est de 9,14 (89% du COP de la machine ditherme de Carnot). On note qu'avec l'eau comme fluide de travail la vapeur en fin d'étape de compression isentropique est très surchauffée ($T_2 = 208^\circ\text{C} \gg 120^\circ\text{C}$).

[0211] Le coefficient de performance global de l'association (figure 15h) des deux machines vérifie :

$$COP = Q_h / (Q_{m1} + Q_{m2}) = (COP_1 + 1) / (COP_1 + 1/\eta_2)$$

[0212] Soit avec ces températures de la source et des puits: $COP = 55,2\%$ (89% du COP de la machine tritherme de Carnot).

[0213] Les différents exemples décrits ci-dessus confirment qu'un même fluide de travail peut être utilisé en tant que fluide moteur, ou en tant que fluide récepteur, suivant l'installation et le but recherché.

[0214] Le n-butane (R600) décrit un cycle moteur de 1^{er} type dans l'exemple 2 (figure 15b) et un cycle récepteur de 1^{er} type dans l'exemple 7 (figure 15g) et la machine de Carnot modifiée respectivement motrice ou réceptrice qui utilise ce fluide R600 est associée dans ces deux exemples à une autre machine de Carnot, motrice en l'occurrence, qui utilise

l'eau (R718) comme fluide de travail. On en déduit par conséquent qu'une installation selon la présente invention peut comprendre une machine de Carnot motrice de 1^{er} type (avec le R718 comme fluide de travail) couplée à une machine de Carnot modifiée polyvalente (telle que celle décrite à la figure 11 et avec le R600 comme fluide de travail) et qu'une telle installation peut être mise en oeuvre pour des applications aussi différentes que celle qui est visée à l'exemple 2, et celle qui est visée à l'exemple 7.

Revendications

- 10 1. Installation pour la production de froid, de chaleur ou de travail, comprenant au moins une machine de Carnot modifiée constituée par :
- 15 a) Un 1^{er} ensemble qui comprend un évaporateur Evap associé à une source de chaleur, un condenseur Cond associé à un puits de chaleur, un dispositif DPD de pressurisation ou de détente d'un fluide de travail G_T , des moyens de transfert du fluide de travail G_T entre le condenseur Cond et DPD, et entre l'évaporateur Evap et DPD ;
- 15 b) Un 2^{ème} ensemble qui comprend deux enceintes de transfert CT et CT' qui contiennent un liquide de transfert L_T et le fluide de travail G_T sous forme de liquide et/ou de vapeur, le liquide de transfert L_T et le fluide de travail étant deux fluides différents ;
- 20 c) des moyens de transfert sélectif du fluide de travail G_T entre le condenseur Cond et chacune des enceintes de transfert CT et CT' d'une part, entre l'évaporateur Evap et chacune des enceintes de transfert CT et CT' d'autre part ;
- 20 d) des moyens de transfert sélectif du liquide L_T entre les enceintes de transfert CT et CT' et le dispositif de compression ou de détente DPD, lesdits moyens comprenant au moins un convertisseur hydraulique.
- 25 2. Installation selon la revendication 1, dans laquelle la machine de Carnot modifiée est une machine motrice, **caractérisée en ce que** le convertisseur hydraulique est un moteur hydraulique et la source de chaleur est à une température supérieure à celle du puits de chaleur, et **en ce que** le dispositif DPD consiste :
- 30 - soit en un dispositif qui pressurise le fluide de travail G_T qui est à l'état de liquide saturé ou de liquide sous-refroidi.
- 30 - Soit en un dispositif qui comprend d'une part une enceinte de compression/détente ABCD et les moyens de transfert qui y sont associés et d'autre part une pompe hydraulique auxiliaire PHA₂ pour la pressurisation du liquide de transfert L_T .
- 35 3. Installation selon la revendication 1, dans laquelle la machine de Carnot modifiée est une machine réceptrice, **caractérisée en ce que** le convertisseur hydraulique est une pompe hydraulique, et la source de chaleur est à une température inférieure à celle du puits de chaleur, et **en ce que** le dispositif DPD est :
- 40 - Soit une vanne de détente VD ou un capillaire C ou une vanne commandée en série avec un capillaire VCC, ledit DPD étant traversé par le fluide de travail G_T ,
- 40 - Soit un dispositif qui comprend une enceinte ABCD permettant une compression ou une détente adiabatique du fluide de travail G_T par l'intermédiaire du liquide de transfert L_T .
- 45 4. Installation selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la machine de Carnot modifiée est couplée par voie thermique au niveau de son condenseur et/ou de son évaporateur, à un dispositif complémentaire, le dispositif complémentaire étant une machine thermodynamique diatherme motrice pour une machine de Carnot modifiée motrice, et une machine thermodynamique diatherme réceptrice pour une machine de Carnot modifiée réceptrice.
- 50 5. Installation selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la machine de Carnot modifiée est couplée par voie mécanique à un dispositif complémentaire.
- 55 6. Installation selon la revendication 1, capable de fonctionner en mode moteur ou en mode récepteur, **caractérisée en ce que** :
- elle comprend un élément convertisseur et des moyens qui permettent de le mettre en communication de manière sélective avec les cylindres CT et CT', ledit ensemble convertisseur étant constitué soit par un convertisseur hydraulique bifonctionnel capable de fonctionner en moteur ou en pompe, soit par une pompe hydraulique et un moteur hydraulique ;
- le dispositif DPD comprend un dispositif de pressurisation, un dispositif de détente et un moyen de sélection

EP 2 283 210 B1

exclusif d'un des dits dispositifs de pressurisation et détente qui sont placés sur deux circuits parallèles entre le condenseur Cond et l'évaporateur Evap, et qui peuvent chacun mettre en communication le condenseur Cond et l'évaporateur Evap.

- 5 7. Installation selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'**elle comprend des moyens d'échange de chaleur entre d'une part la source et/ou le puits de chaleur qui sont à des températures différentes, et d'autre part le fluide de travail G_T dans les enceintes de transfert CT et CT', l'échange de chaleur pouvant être direct ou indirect.
- 10 8. Installation selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le fluide de travail G_T et le liquide de transfert L_T sont choisis de telle sorte que G_T soit faiblement soluble dans L_T , que G_T ne réagisse pas avec L_T et que G_T à l'état liquide soit moins dense que L_T .
- 15 9. Installation selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le fluide de travail G_T et le liquide de transfert L_T sont isolés l'un de l'autre, par une membrane souple créant une barrière imperméable entre les fluides G_T et L_T mais qui n'oppose qu'une très faible résistance au déplacement de L_T ainsi qu'une faible résistance au transfert thermique, ou par un flotteur qui a une densité intermédiaire entre celle du fluide de travail G_T à l'état liquide et celle du liquide de transfert L_T .
- 20 10. Procédé de production de froid, de chaleur et/ou de travail consistant à soumettre un fluide de travail G_T à une succession de cycles de Carnot modifiés dans une installation selon les revendications 1 à 9, chaque cycle de Carnot modifié comprenant les transformations de G_T suivantes :
- une transformation isotherme avec échange de chaleur entre G_T et la source, respectivement le puits de chaleur ;
 - 25 - une transformation adiabatique avec diminution de la pression du fluide de travail G_T ;
 - une transformation isotherme avec échange de chaleur entre G_T et le puits, respectivement la source de chaleur ;
 - une transformation adiabatique avec augmentation de la pression du fluide de travail G_T ;
- 30 **caractérisé en ce que :**
- le fluide de travail G_T est sous forme biphasique liquide-gaz au moins pendant les deux transformations isothermes d'un cycle,
 - les deux transformations isothermes produisent ou sont consécutives à un changement de volume de G_T concomitant avec le déplacement d'un liquide de transfert L_T qui entraîne ou est entraîné par un convertisseur hydraulique,
 - 35 - du travail est fourni ou reçu par l'installation par l'intermédiaire d'un liquide de transfert L_T qui traverse un convertisseur hydraulique pendant au moins les deux transformations isothermes.
- 40 11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le cycle comprend les transformations suivantes :
- une transformation isotherme initiée par l'apport de chaleur à G_T à partir de la source de chaleur ;
 - une transformation adiabatique avec diminution de la pression du fluide de travail G_T et production de travail par l'installation ;
 - 45 - une transformation isotherme au cours de laquelle de la chaleur est fournie par G_T à un puits de chaleur à une température inférieure à celle de la source ;
 - une transformation adiabatique avec augmentation de la pression du fluide de travail G_T .
- 50 12. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** le cycle comprend les transformations suivantes :
- une transformation isotherme avec libération de chaleur par G_T vers le puits de chaleur ;
 - une transformation adiabatique avec diminution de la pression du fluide de travail G_T ;
 - une transformation isotherme avec apport de chaleur à G_T par la source de chaleur à une température inférieure à la température du puits de chaleur ;
 - 55 - une transformation adiabatique avec augmentation de la pression du fluide de travail G_T initiée par l'apport de travail par l'intermédiaire du liquide de transfert L_T .
13. Procédé selon la revendication 10, mis en oeuvre dans une installation qui comprend une machine de Carnot

EP 2 283 210 B1

modifiée couplée à une machine thermodynamique ditherme, **caractérisé en ce que** la chaleur du condenseur de la machine de Carnot modifiée est transférée vers la machine thermodynamique, ou l'évaporateur de la machine de Carnot modifiée reçoit de la chaleur de la machine thermodynamique.

5 **14.** Procédé selon la revendication 10, mis en oeuvre dans une installation comprenant une première et une dernière machines de Carnot modifiées, et éventuellement au moins une machine de Carnot modifiée intermédiaire entre lesdites première et dernière machines de Carnot modifiées, les machines de Carnot modifiées étant couplées par voie thermique, **caractérisé en ce que** :

- 10 - la 1^{ère} machine est alimentée en chaleur pour l'évaporation d'un fluide de travail GT_p , et la dernière machine libère vers l'environnement la chaleur générée par la condensation d'un fluide de travail GT_d , lesdits fluides GT_p et GT_d pouvant être identiques ou différents;
- 15 - le cas échéant, chaque machine intermédiaire reçoit la chaleur libérée par la condensation du fluide de travail GT_{i-1} de la machine qui la précède, et transfère la chaleur libérée par la condensation de son propre fluide de travail GT_i à la machine qui la suit, lesdits fluides GT_{i-1} et GT_i pouvant être identiques ou différents ;
- chaque machine échange une quantité de travail avec l'environnement ;

étant entendu que les machines sont toutes motrices ou toutes réceptrices et que :

- 20 - lorsque toutes les machines sont motrices, la chaleur fournie à la 1^{ère} machine est à la température T_h et la chaleur libérée par la dernière machine est à la température $T_b < T_h$, et un travail net est fourni à l'environnement ;
- lorsque toutes les machines sont réceptrices, la chaleur fournie à la 1^{ère} machine est à la température T_b et la chaleur libérée par la dernière machine est à la température T_h supérieure à la fois à T_b et à la température de l'environnement, et un travail net est fourni par l'environnement.

25 **15.** Procédé selon la revendication 10 pour la production de chaleur à une température T_b et/ou de travail, **caractérisé en ce que**, à partir d'un état initial dans lequel d'une part le fluide de travail G_T est maintenu dans l'évaporateur Evap à haute température et dans le condenseur Cond à basse température par échange de chaleur respectivement avec la source chaude à T_h et le puits froid à $T_b < T_h$, et d'autre part tous les circuits de communication de G_T et du liquide de transfert L_T sont obturés ;

- 30 - à l'instant t_α , on ouvre le circuit de G_T entre Evap et CT', on ouvre le circuit de L_T entre CT' et l'amont du moteur hydraulique MH, et on actionne la pompe auxiliaire PHA₂, de sorte que :

- 35 * le fluide de travail G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression élevée P_h , pénètre dans CT' et refoule L_T à un niveau intermédiaire J ;
- * L_T passe à travers MH en se détendant, puis L_T est aspiré par PHA₂ et refoulé vers ABCD ;

- 40 - à l'instant t_β , on ouvre le circuit de G_T entre ABCD et Evap de sorte que le fluide de travail G_T est introduit à l'état liquide dans l'évaporateur.

- à l'instant t_γ , on ferme le circuit de G_T entre Evap et CT' d'une part, entre ABCD et Evap d'autre part, on arrête la pompe auxiliaire PHA₂, on ouvre le circuit de G_T entre Cond et ABCD d'une part, entre CT et Cond d'autre part, et on ouvre le circuit de L_T entre CT et ABCD, de sorte que :

- 45 * La vapeur de G_T contenue dans CT' continue à s'expanser, de manière adiabatique, et refoule L_T jusqu'au niveau bas dans CT' puis à travers MH vers CT ;
- * l'enceinte ABCD en communication avec Cond est ramenée à la pression basse et L_T qu'elle contient dans sa partie inférieure s'écoule vers CT ;
- 50 * les vapeurs de G_T contenues dans CT se condensent dans Cond ;

- à l'instant t_δ , on ferme tous les circuits ouverts à l'instant t_γ , on ouvre le circuit de G_T entre Evap et CT, on ouvre le circuit de L_T entre CT et l'amont du moteur hydraulique MH, et on actionne la pompe auxiliaire PHA₂, de sorte que :

- 55 * la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression élevée P_h , pénètre dans CT et refoule L_T à un niveau intermédiaire J ;
- * L_T passe à travers MH en se détendant, puis L_T est aspiré par PHA₂ et refoulé vers ABCD.

EP 2 283 210 B1

- à l'instant t_e , on ouvre le circuit de G_T entre ABCD et Evap de sorte que le fluide de travail G_T est introduit à l'état liquide dans l'évaporateur ;

- à l'instant t_f , on ferme le circuit de G_T entre Evap et CT d'une part, entre ABCD et Evap d'autre part, on arrête la pompe auxiliaire PHA₂, on ouvre le circuit de G_T entre Cond et ABCD d'une part, entre CT' et Cond d'autre part, et on ouvre le circuit de L_T entre CT' et ABCD, de sorte que :

* La vapeur de G_T contenue dans CT continue à s'expanser, de manière adiabatique, et refoule L_T jusqu'au niveau bas dans CT puis à travers MH vers CT'.

* l'enceinte ABCD en communication avec Cond est ramenée à la pression basse et L_T qu'elle contient dans sa partie inférieure s'écoule vers CT' ;

* les vapeurs de G_T contenues dans CT' se condensent dans Cond ;

étant entendu qu'après plusieurs cycles, l'installation fonctionne à un régime permanent dans lequel la source chaude fournit en continu de la chaleur à la température T_h au niveau de l'évaporateur Evap, de la chaleur est délivrée en continu par le condenseur Cond au puits froid à la température T_b , et du travail est délivré en continu par la machine.

16. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que**, à partir d'un état initial dans lequel le fluide de travail G_T est maintenu dans l'évaporateur Evap à haute température et dans le condenseur Cond à basse température par échange de chaleur respectivement avec la source chaude à T_h et le puits froid à T_b , et tous les circuits de communication du fluide de travail G_T et du liquide de transfert L_T sont obturés, à l'instant t_0 on actionne la pompe hydraulique auxiliaire PHA₁ et on ouvre le circuit de G_T entre Cond et Evap de sorte qu'une partie de G_T , à l'état de liquide saturé ou sous-refroidi est aspiré par PHA₁ dans la partie inférieure du condenseur Cond, et refoulé à l'état de liquide sous-refroidi dans Evap où il se réchauffe, puis on soumet G_T à une succession de cycles de Carnot modifiés, chacun desquels comprenant les étapes suivantes :

- à l'instant t_a , lorsque, au cours du premier cycle d'action, il reste du G_T liquide dans le condenseur, on ouvre le circuit de G_T entre Evap et CT' d'une part, entre CT et Cond d'autre part, et on ouvre le circuit permettant le transfert de L_T de CT' vers CT en passant par le moteur hydraulique MH, de sorte que :

* G_T se réchauffe et s'évapore dans Evap, et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression élevée P_h , pénètre dans CT' et refoule L_T à un niveau intermédiaire J ;

* L_T passe à travers MH en se détendant, puis L_T est refoulé vers CT jusqu'au niveau intermédiaire I ;

* les vapeurs de G_T contenues dans CT et refoulées par L_T se condensent dans Cond ;

* G_T à l'état de liquide saturé ou sous-refroidi arrive dans la partie inférieure du condenseur Cond où il est aspiré au fur et à mesure par PHA₁, puis refoulé à l'état de liquide sous-refroidi dans Evap ;

- à l'instant t_b , on ferme le circuit de G_T entre Evap et CT' de sorte que :

* La vapeur de G_T contenue dans CT' continue à s'expanser, de manière adiabatique, et refoule L_T jusqu'au niveau bas dans CT' puis à travers MH vers CT où il atteint le niveau haut ;

* le reste des vapeurs de G_T contenues dans CT et refoulées par le liquide L_T se condensent dans Cond ;

* G_T à l'état de liquide saturé ou sous-refroidi arrive dans la partie inférieure du condenseur Cond où il est aspiré au fur et à mesure par PHA₁, puis refoulé à l'état de liquide sous-refroidi dans Evap.

- à l'instant t_c , on ferme les circuits ouverts à l'instant t_b , excepté celui permettant le transfert de G_T entre Cond et Evap, on ouvre le circuit de G_T entre Evap et CT d'une part, entre CT' et Cond d'autre part, et on ouvre le circuit permettant le transfert de L_T de CT vers CT' en passant par le moteur hydraulique MH, de sorte que :

* G_T se réchauffe et s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression élevée P_h , pénètre dans CT et refoule L_T à un niveau intermédiaire J ;

* L_T passe à travers MH en se détendant, puis L_T est refoulé vers CT' jusqu'au niveau intermédiaire I ;

* les vapeurs de G_T contenues dans CT et refoulées par le liquide L_T se condensent dans Cond ;

* G_T à l'état de liquide saturé ou sous-refroidi arrive dans la partie inférieure du condenseur Cond où il est aspiré au fur et à mesure par PHA₁, puis refoulé à l'état de liquide sous-refroidi dans Evap ;

- à l'instant t_d , on ferme le circuit de G_T entre Evap et CT de sorte que :

EP 2 283 210 B1

- * La vapeur de G_T contenue dans CT continue à s'expanser, de manière adiabatique, et refoule L_T jusqu'au niveau bas dans CT puis à travers MH vers CT' où il atteint le niveau haut;
- * le reste des vapeurs de G_T contenues dans CT' et refoulées par le liquide L_T se condensent dans Cond;
- * G_T à l'état de liquide saturé ou sous-refroidi arrive dans la partie inférieure du condenseur Cond où il est aspiré au fur et à mesure par PHA₁ et enfin refoulé à l'état de liquide sous-refroidi dans Evap.

étant entendu qu'après plusieurs cycles, l'installation fonctionne à un régime permanent dans lequel la source chaude fournit en continu de la chaleur à haute température T_h au niveau de l'évaporateur Evap, de la chaleur est délivrée en continu par le condenseur Cond au puits froid à T_b et du travail est délivré en continu par la machine.

17. Procédé selon la revendication 10 à partir d'un état initial dans lequel tous les circuits de communication du fluide de travail G_T et du liquide de transfert L_T sont obturés, **caractérisé en ce que**, à l'instant t_0 on actionne la pompe hydraulique PH, puis on soumet G_T à une succession de cycles de Carnot modifiés, chacun desquels comprenant les étapes suivantes :

- à l'instant t_α on ouvre les circuits de L_T permettant d'une part le transfert de L_T depuis l'enceinte ABCD vers l'amont de la pompe hydraulique PH, d'autre part le transfert de L_T depuis CT vers CT' par la pompe hydraulique PH, de sorte que :

- * G_T à l'état d'équilibre liquide/vapeur dans ABCD et dans CT se détend de la pression haute P_h à la pression basse P_b et refoule L_T à travers PH dans CT';
- * les vapeurs de G_T contenues dans CT' sont comprimées adiabatiquement.

- à l'instant t_β on ouvre le circuit de G_T entre Evap et CT d'une part, entre ABCD et Evap d'autre part, de sorte que:

- * le liquide de transfert L_T est aspiré par la pompe PH qui le pressurise et le refoule dans CT';
- * les niveaux de L_T dans ABCD, CT et CT' passent respectivement de haut à bas, haut à un niveau intermédiaire J et bas à un niveau intermédiaire I;
- * du fait que le volume occupé par les vapeurs de G_T dans CT augmente, G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression faible P_b pénètre dans CT;
- * les vapeurs de G_T contenues dans CT' continuent à être comprimées adiabatiquement jusqu'à la pression haute P_h ;
- * G_T à l'état de liquide saturé à la pression basse P_b s'écoule par gravité de ABCD vers Evap.

- à l'instant t_γ on ferme le circuit de G_T entre ABCD et Evap, on ferme le circuit de L_T entre ABCD et l'amont de la pompe PH, on ouvre le circuit de G_T entre CT' et Cond d'une part, entre Cond et ABCD d'autre part, et on ouvre le circuit de L_T entre l'aval de la pompe PH et ABCD, de sorte que :

- * L_T est encore aspiré par la pompe PH qui le pressurise et le refoule dans CT';
- * les niveaux de L_T dans ABCD, CT et CT' passent respectivement de bas à haut, du niveau intermédiaire J à bas, et du niveau intermédiaire I à haut;
- * du fait que le volume occupé par les vapeurs de G_T dans CT continue à augmenter, G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression faible P_b pénètre dans CT;
- * les vapeurs de G_T contenues dans CT', à haute pression P_h , sont refoulées par L_T et se condensent dans Cond;
- * G_T à l'état de liquide saturé s'écoule par gravité de Cond vers ABCD.

- à l'instant t_δ , on ferme tous les circuits ouverts à l'instant t_γ , on ouvre les circuits de L_T permettant le transfert de L_T d'une part depuis l'enceinte ABCD vers l'amont de la pompe hydraulique PH, et d'autre part depuis CT' vers CT en passant par la pompe hydraulique PH, de sorte que :

- * G_T à l'état d'équilibre liquide/vapeur dans ABCD et dans CT' se détend de la pression haute P_h à la pression basse P_b et refoule L_T à travers PH dans CT;
- * les vapeurs de G_T contenues dans CT sont comprimées adiabatiquement.

- à l'instant t_ϵ , on ouvre le circuit de G_T entre Evap et CT' d'une part, entre ABCD et Evap d'autre part, de sorte que :

- * L_T est aspiré par la pompe PH qui le pressurise et le refoule dans CT ;

EP 2 283 210 B1

* les niveaux de L_T dans ABCD, CT et CT' passent respectivement de haut à bas, bas à un niveau intermédiaire I, et haut à un niveau intermédiaire J ;

* du fait que le volume occupé par les vapeurs de G_T dans CT' augmente, G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression faible P_b pénètre dans CT' ;

* les vapeurs de G_T contenues dans CT continuent à être comprimées adiabatiquement jusqu'à la pression haute P_h ;

* G_T à l'état de liquide saturé à la pression basse P_b s'écoule par gravité de ABCD vers Evap ;

- à l'instant t_λ on ferme le circuit de G_T entre ABCD et Evap, on ferme le circuit de L_T entre ABCD et l'amont de la pompe PH, on ouvre le circuit de G_T entre CT et Cond d'une part, entre Cond et ABCD d'autre part, et on ouvre le circuit de L_T entre l'aval de la pompe PH et ABCD, de sorte que :

* L_T est encore aspiré par la pompe PH qui le pressurise et le refoule dans CT;

* les niveaux de L_T dans ABCD, CT et CT' passent respectivement de bas à haut, du niveau intermédiaire I à haut, et du niveau intermédiaire J à bas;

* du fait que le volume occupé par les vapeurs de G_T dans CT' continue à augmenter, G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression faible P_b pénètre dans CT' ;

* les vapeurs de G_T contenues dans CT, à haute pression P_h , sont refoulées par L_T et se condensent dans Cond;

* G_T à l'état de liquide saturé s'écoule par gravité de Cond vers ABCD.

étant entendu qu'après plusieurs cycles, l'installation fonctionne à un régime permanent, et que :

- pour la production de froid, à l'état initial, G_T est maintenu dans le condenseur Cond à haute température par échange de chaleur avec le puits chaud à T_h , et dans l'évaporateur Evap à une température inférieure ou égale

à T_h par échange de chaleur avec un milieu externe à la machine, ledit milieu ayant initialement une température T_h , et en régime permanent, un travail net est consommé par la pompe hydraulique PH, le condenseur Cond évacue en continu de la chaleur vers le puits chaud à haute température T_h , et de la chaleur est consommée

en continu par l'évaporateur Evap, avec production de froid vers le milieu extérieur en contact avec ledit évaporateur Evap, la température T_b dudit milieu extérieur étant inférieure strictement à T_h ; pour la production de

chaleur, à l'état initial, G_T est maintenu dans l'évaporateur Evap à basse température par échange de chaleur avec la source froide à T_b , G_T est maintenu dans le condenseur Cond à une température $T_h \geq T_b$ par échange

de chaleur avec un milieu externe à la machine, ledit milieu ayant initialement une température $\geq T_h$; et en régime permanent, un travail net est consommé par la pompe hydraulique PH, la source froide à T_b apporte

de la chaleur en continu à l'évaporateur Evap, le condenseur Cond évacue en continu de la chaleur vers le puits chaud, l'installation produisant de la chaleur vers le milieu extérieur en contact avec ledit condenseur

Cond, le milieu extérieur ayant une température $T_h > T_b$.

18. Procédé selon la revendication 10, à partir d'un état initial dans lequel tous les circuits de communication du fluide de travail G_T et du liquide de transfert L_T sont obturés, **caractérisé en ce que**, à l'instant t_0 on actionne la pompe hydraulique PH et ouvre le circuit de G_T entre Cond et Evap, et l'on soumet G_T à une succession de cycles de Carnot modifiés, chacun desquels comprenant les étapes suivantes :

- à l'instant t_α on ouvre le circuit de L_T permettant le transfert de L_T depuis l'enceinte CT vers l'enceinte CT' en passant par la pompe hydraulique PH, et on ouvre le circuit de G_T entre Evap et CT, de sorte que :

* L_T est aspiré par la pompe PH qui le pressurise et le refoule dans CT' ;

* le niveau de L_T dans CT passe de haut à un niveau intermédiaire J, et dans CT' de bas à un niveau intermédiaire I ;

* du fait que le volume occupé par les vapeurs de G_T dans CT augmente, G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression faible P_b pénètre dans CT ;

* les vapeurs de G_T contenues dans CT' sont comprimées adiabatiquement jusqu'à la pression haute P_h ;

* G_T à l'état de liquide saturé ou sous-refroidi dans Cond et à la pression haute P_h se détend de façon isenthalpique et est introduit à l'état de mélange biphasique liquide/vapeur et à la pression basse P_b dans l'évaporateur Evap.

- à l'instant t_β on ouvre le circuit de G_T entre CT' et Cond, de sorte que :

* L_T est encore aspiré par la pompe PH qui le pressurise et le refoule dans CT' ;

EP 2 283 210 B1

* le niveau de L_T dans CT passe du niveau intermédiaire J à bas, et dans CT' du niveau intermédiaire I à haut ;
* du fait que le volume occupé par les vapeurs de G_T dans CT continue à augmenter, G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression faible P_b pénètre dans CT ;
* les vapeurs de G_T contenues dans CT', à haute pression P_h , sont refoulées par L_T et se condensent dans Cond.

- à l'instant t_γ , on ferme tous les circuits ouverts à l'instant t_β , excepté le circuit de G_T entre Cond et Evap, on ouvre le circuit de L_T permettant le transfert de L_T depuis CT' vers CT en passant par la pompe hydraulique PH, et on ouvre le circuit de G_T entre Evap et CT', de sorte que :

* L_T est aspiré par la pompe PH qui le pressurise et le refoule dans CT ;
* le niveau de L_T dans CT passe de bas à un niveau intermédiaire I, et dans CT' de haut à un niveau intermédiaire J ;
* le volume occupé par les vapeurs de G_T dans CT' augmentant, le fluide de travail G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression faible P_b pénètre dans CT' ;
* les vapeurs de G_T contenues dans CT sont comprimées adiabatiquement jusqu'à la pression haute P_h ;
* G_T à l'état de liquide saturé ou sous-refroidi dans Cond et à la pression haute P_h se détend de façon isenthalpique et est introduit à l'état de mélange biphasique liquide/vapeur et à la pression basse P_b dans l'évaporateur Evap ;

- à l'instant t_δ , on ouvre le circuit de G_T entre CT et Cond, de sorte que :

* L_T est encore aspiré par la pompe PH qui le pressurise et le refoule dans CT ;
* le niveau de L_T dans CT passe du niveau intermédiaire I à haut, et dans CT' du niveau intermédiaire J à bas ;
* du fait que le volume occupé par les vapeurs de G_T dans CT' continue à augmenter, G_T s'évapore dans Evap et la vapeur saturée de G_T sortant de Evap à la pression faible P_b pénètre dans CT' ;
* les vapeurs de G_T contenues dans CT, à haute pression P_h , sont refoulées par L_T et se condensent dans Cond ;

étant entendu qu'après plusieurs cycles, l'installation fonctionne à un régime permanent, et que :

- pour la production de froid : à l'état initial, G_T est maintenu dans le condenseur Cond à haute température par échange de chaleur avec le puits chaud à T_h , et dans l'évaporateur Evap à une température inférieure ou égale à T_h par échange de chaleur avec un milieu externe à la machine, ledit milieu ayant initialement une température $\leq T_h$; et en régime permanent, un travail net est consommé par la pompe hydraulique PH, le condenseur Cond évacue en continu de la chaleur vers le puits chaud à haute température T_h , et de la chaleur est consommée en continu par l'évaporateur Evap, c'est-à-dire qu'il y a une production de froid vers le milieu extérieur en contact avec ledit évaporateur Evap, la température T_b dudit milieu extérieur étant $< T_h$;

- pour la production de chaleur : à l'état initial, G_T est maintenu dans l'évaporateur Evap à basse température par échange de chaleur avec la source froide à T_b , dans le condenseur Cond à une température $\geq T_h$ par échange de chaleur avec un milieu externe à l'installation à une température $\geq T_h$; et en régime permanent, un travail net est consommé par la pompe hydraulique PH, la source froide à T_b apporte de la chaleur en continu à Evap, et Cond évacue en continu de la chaleur vers le puits chaud, c'est-à-dire qu'il y a une production de chaleur vers le milieu extérieur en contact avec Cond, la température T_h dudit milieu extérieur étant supérieure à T_b .

Patentansprüche

1. Anlage für die Erzeugung von Kälte, Wärme oder Arbeit, die mindestens eine modifizierte Carnot-Maschine aufweist, die besteht aus:

a) einer 1. Anordnung, die einen Verdampfer Evap, der einer Wärmequelle zugeordnet ist, einen Verflüssiger Cond, der einer Wärmesenke zugeordnet ist, eine Vorrichtung DPD zur Druckbeaufschlagung und Entspannung eines Arbeitsfluids G_T , Mittel zum Überführen des Arbeitsfluids zwischen dem Verflüssiger Cond und DPD und zwischen dem Verdampfer Evap und DPD umfasst;

b) einer 2. Anordnung, die zwei Übertragungskammern CT und CT' umfasst, die eine Übertragungsflüssigkeit L_T und das Arbeitsfluid G_T in Form einer Flüssigkeit und/oder von Dampf enthalten, wobei die Übertragungs-

flüssigkeit L_T und das Arbeitsfluid zwei unterschiedliche Fluide sind;

c) Mittel zur selektiven Übertragung des Arbeitsfluids G_T zwischen dem Verflüssiger Cond und jeder der Übertragungskammern CT und CT' einerseits, zwischen dem Verdampfer Evap und jeder der Übertragungskammern CT und CT' andererseits;

d) Mittel zur selektiven Übertragung der Flüssigkeit L_T zwischen den Übertragungskammern CT und CT' und der Vorrichtung DPD zur Verdichtung und Entspannung, wobei die Mittel mindestens einen hydraulischen Wandler umfassen.

2. Anlage nach Anspruch 1, in der die modifizierte Carnot-Maschine eine Antriebsmaschine ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der hydraulische Wandler ein Hydraulikmotor ist und die Wärmequelle auf einer Temperatur ist, die größer ist als die der Wärmesenke und dass die Vorrichtung DPD besteht aus:

- sei es einer Vorrichtung, die das Arbeitsfluid G_T , das im Zustand einer gesättigten Flüssigkeit oder einer unterkühlten Flüssigkeit ist, unter Druck setzt,

- sei es einer Vorrichtung, die einerseits eine Verdichtungs/Entspannungskammer ABCD und Übertragungsmittel, die dieser zugeordnet sind, und andererseits eine hydraulische Hilfspumpe PHA_2 zum Unterdrucksetzen der Übertragungsflüssigkeit L_T umfasst.

3. Anlage nach Anspruch 1, in der die Carnot-Maschine eine angetriebene Maschine ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der hydraulische Wandler eine Hydraulikpumpe ist und die Wärmequelle auf einer Temperatur ist, die kleiner ist als die der Wärmesenke und dass die Vorrichtung DPD ist:

- sei es ein Entspannungsventil VD oder eine Kapillare C oder ein in Reihe mit einer Kapillaren gesteuertes Ventil VCC, wobei die DPD von dem Arbeitsfluid G_T durchströmt wird;

- sei es eine Vorrichtung, die eine Kammer ABCD umfasst, die eine adiabatische Verdichtung oder Entspannung des Arbeitsfluids G_T mit Hilfe der Übertragungsflüssigkeit L_T ermöglicht.

4. Anlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine modifizierte Carnot-Maschine umfasst, die auf thermischem Wege an ihrem Verdichter und/oder ihrem Verdampfer mit einer komplementäre Vorrichtung gekoppelt ist, wobei die komplementäre Vorrichtung eine diathermische thermodynamische Antriebsmaschine für eine modifizierte Carnot-Antriebsmaschine und eine diathermische angetriebene modifizierte Carnot-Maschine ist.

5. Anlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die modifizierte Carnot-Maschine auf mechanischem Wege mit einer komplementären Vorrichtung gekoppelt ist.

6. Anlage nach Anspruch 1, die in der Lage ist, im Antriebsmodus oder angetriebenen Modus zu arbeiten, **dadurch gekennzeichnet, dass**:

- sie ein Wandlerelement und Mittel umfasst, die ermöglichen, es in selektiver Weise mit den Zylindern CT und CT' in Verbindung zu setzen, wobei die Wandleranordnung sei es von einem bifunktionalen hydraulischen Wandler, der geeignet ist, als Motor oder als Pumpe zu arbeiten, sei es von einer hydraulischen Pumpe und einem hydraulischen Motor gebildet wird;

- die Vorrichtung DPD eine Vorrichtung zur Druckbeaufschlagung, eine Entspannungsvorrichtung und ein Mittel zur exklusiven Auswahl einer der Vorrichtung zur Druckbeaufschlagung und zur Entspannung umfasst, die in zwei parallelen Kreisen zwischen dem Verflüssiger Cond und dem Verdampfer Evap angeordnet sind und die jeweils den Verflüssiger Cond und den Verdampfer Evap in Verbindung setzen können.

7. Anlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie Mittel zum Wärmeaustausch einerseits zwischen der Wärmequelle und/oder der Wärmesenke, die auf unterschiedlichen Temperaturen liegen, und andererseits dem Arbeitsfluid G_T in den Übertragungskammern CT und CT' umfasst, wobei der Wärmeaustausch direkt oder indirekt sein kann.

8. Anlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Arbeitsfluid G_T und die Übertragungsflüssigkeit L_T derart gewählt sind, dass G_T in L_T schwach löslich ist, dass G_T nicht mit L_T reagiert und dass G_T im flüssigen Zustand weniger dicht ist als L_T .

9. Anlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Arbeitsfluid G_T und die Übertragungsflüssigkeit L_T isoliert sind durch eine flexible Membran voneinander, die eine undurchlässige Sperre zwischen den Fluiden G_T

und L_T bildet, aber die sich nur mit einem sehr kleinen Widerstand der Bewegung der L_T sowie nur mit einem kleinen Widerstand der Wärmeübertragung entgegenstellt oder durch einen Schwebekörper, der eine Dichte zwischen der des Arbeitsfluids G_T im flüssigen Zustand und der der Übertragungsflüssigkeit L_T aufweist.

5 10. Verfahren zur Erzeugung von Kälte, Wärme und/oder Arbeit, das darin besteht, ein Arbeitsfluid G_T einer Folge von modifizierten Carnot-Zyklen in einer Anlage nach den Ansprüchen 1-9 zu unterwerfen, wobei jeder modifizierte Carnot-Zyklus die folgenden Transformationen von G_T umfasst:

- 10
- eine isotherme Transformation mit Wärmeaustausch zwischen G_T und der Quelle, respektive der Wärmesenke;
 - eine adiabatische Transformation mit Verringerung des Drucks des Arbeitsfluids G_T ;
 - eine isotherme Transformation mit Wärmeaustausch zwischen G_T und der Senke, respektive der Wärmequelle;
 - eine adiabatische Transformation mit Erhöhung des Drucks des Arbeitsfluids G_T ;
- dadurch gekennzeichnet, dass**
- das Arbeitsfluid G_T in zweiphasiger Form Flüssigkeit-Gas zumindest bei den zwei isothermen Transformationen eines Zyklus vorliegt,
 - die zwei isothermen Transformationen erzeugen eine Änderung des Volumens von G_T oder folgen auf diese zusammen mit der Bewegung einer Übertragungsflüssigkeit L_T , die mitführt oder von einem hydraulischen Wandler bewirkt wird,
 - Arbeit, die von der Anlage mithilfe einer Übertragungsflüssigkeit L_T geliefert oder empfangen wird, die einen hydraulischen Wandler während mindestens der zwei isothermen Transformationen durchströmt.
- 20

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zyklus die folgenden Transformationen umfasst:

- 25
- eine isotherme Transformation, die durch die Zufuhr von Wärme auf G_T von der Wärmequelle initiiert wird;
 - eine adiabatische Transformation mit Verringerung des Drucks des Arbeitsfluids G_T und Erzeugung von Arbeit durch die Anlage;
 - eine isotherme Transformation, während der die Wärme von G_T an eine Wärmesenke bei einer Temperatur kleiner als die der Quelle geliefert wird;
 - eine adiabatische Transformation mit Anhebung des Drucks des Arbeitsfluids G_T .
- 30

12. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Zyklus folgenden Transformationen umfasst:

- 35
- eine isotherme Transformation mit Freisetzung von Wärme durch G_T zur Wärmesenke;
 - eine adiabatische Transformation mit Verringerung des Drucks des Arbeitsfluids G_T ;
 - eine isotherme Transformation mit Zufuhr von Wärme zu G_T durch die Wärmequelle bei einer Temperatur kleiner als die Temperatur der Wärmesenke;
 - eine adiabatische Transformation mit Anhebung des Drucks des Arbeitsfluids G_T , die durch die Zufuhr von Arbeit mithilfe der Übertragungsflüssigkeit L_T initiiert wird.

40 13. Verfahren nach Anspruch 10, durchgeführt in einer Anlage, die eine modifizierte Carnot-Maschine umfasst, die mit einer diathermischen thermodynamischen Maschine gekoppelt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärme des Verflüssigers der modifizierten Carnot-Maschine an die thermodynamischen Maschine übertragen wird oder der Verdampfer der modifizierten Carnot-Maschine die Wärme der thermodynamischen Maschine empfängt.

45 14. Verfahren nach Anspruch 10, durchgeführt in einer Anlage, die eine erste und eine letzte modifizierte Carnot-Maschine und gegebenenfalls mindestens eine zwischen der ersten und der letzten modifizierten Carnot-Maschine liegende modifizierte Carnot-Maschine umfasst, wobei die modifizierten Carnot-Maschinen auf thermischen Wege gekoppelt sind, **dadurch gekennzeichnet, dass:**

- 50
- die 1. Maschine mit Wärme für die Verdampfung eines Arbeitsfluids GT_p versorgt wird und die letzte Maschine die durch die Verflüssigung eines Arbeitsfluids GT_d erzeugte Wärme in die Umgebung freisetzt, wobei die Fluide GT_p und GT_d identisch oder unterschiedlich sein können;
 - gegebenenfalls jede zwischenliegende Maschine die durch die Verflüssigung des Arbeitsfluids GT_{i-1} der vor ihr liegenden Maschine freigesetzte Wärme empfängt und durch die Verflüssigung ihres eigenen Arbeitsfluids GT_i freigesetzte Wärme an die ihr folgende Maschine überträgt, wobei die Fluide GT_{i-1} und GT_i unterschiedlich oder identisch sein können;
 - jede Maschine ein Arbeitsvolumen mit der Umgebung austauscht;
- 55

EP 2 283 210 B1

mit der Maßgabe, dass die Maschinen alle antreibend oder alle angetrieben sind und dass:

- wenn alle Maschinen antreibend sind, die an die erste Maschine gelieferte Wärme auf der Temperatur T_h liegt und die von der letzten Maschine freigesetzte Wärme auf der Temperatur $T_b < T_h$ liegt und eine deutliche Arbeit an die Umgebung geliefert wird;

- wenn alle Maschinen angetrieben sind, die an die erste Maschine gelieferte Wärme auf der Temperatur T_b liegt und die von der letzten Maschine freigesetzte Wärme auf der Temperatur T_h größer sowohl als T_b als auch die Temperatur der Umgebung liegt und eine deutliche Arbeit durch die Umgebung geliefert wird.

15. Verfahren nach Anspruch 10 für die Erzeugung von Wärme mit einer Temperatur T_b und/oder von Arbeit, **dadurch gekennzeichnet, dass** von einem Ausgangszustand, bei dem einerseits das Arbeitsfluid G_T in dem Verdampfer Evap bei hoher Temperatur und in dem Verflüssiger bei niedriger Temperatur durch jeweiligen Wärmeaustausch mit der Wärmequelle mit T_h und der kalten Wärmesenke mit $T_b < T_h$ gehalten wird und andererseits alle Verbindungs- kreise von G_T und der Übertragungsflüssigkeit L_T verschlossen sind;

- zum Zeitpunkt t_α der Kreis des G_T zwischen Evap und CT' geöffnet wird, der Kreis der L_T zwischen CT' und stromaufwärts zum Hydraulikmotor MH geöffnet wird und die Hilfspumpe PHA₂ betätigt wird, so dass:

* das Arbeitsfluid G_T in Evap verdampft und der gesättigte Dampf des G_T , der bei einem erhöhten Druck P_h Evap verlässt, in CT' eintritt und L_T auf ein Zwischenniveau J verdrängt;

* L_T durch MH hindurchgeht, wobei sie sich entspannt, dann L_T durch PHA₂ angesaugt und zu ABCD verdrängt wird;

- zum Zeitpunkt t_β der Kreis des G_T zwischen ABCD und Evap geöffnet wird, sodass das Arbeitsfluid G_T im flüssigen Zustand in den Verdampfer eingeführt wird,

- zum Zeitpunkt t_γ der Kreis des G_T zwischen Evap und CT' einerseits, zwischen ABCD und G_T andererseits geschlossen wird, die Hilfspumpe PHA₂ angehalten wird, der Kreis des G_T zwischen Cond und ABCD einerseits, zwischen CT und Cond andererseits geöffnet wird und der Kreis der L_T zwischen CT und ABCD geöffnet wird, so dass:

* der Dampf des G_T , der in CT' enthalten ist, fortfährt sich in adiabatischer Weise auszudehnen und L_T zum niedrigen Niveau in CT', dann durch MH zu CT verdrängt wird;

* die Kammer ABCD in Verbindung mit Cond auf den niedrigen Druck zurückgebracht wird und L_T , die sie in ihrem unteren Teil enthält, zu CT fließt;

* die Dämpfe des G_T , die in CT enthalten sind, in Cond kondensieren;

- zum Zeitpunkt t_δ alle zum Zeitpunkt t_γ offenen Kreise geschlossen werden, der Kreis des G_T zwischen Evap und CT geöffnet wird, der Kreis der L_T zwischen CT und stromaufwärts zum Hydraulikmotor MH geöffnet wird und die Hilfspumpe PHA₂ betätigt wird, so dass:

* der Evap bei erhöhtem Druck P_h verlassende gesättigte Dampf des G_T in CT eintritt und L_T auf ein Zwischenniveau J verdrängt;

* L_T durch MH hindurchgeht, wobei sie sich entspannt, dann L_T von PHA₂ angesaugt wird und zu ABCD gefördert wird,

- zum Zeitpunkt t_ϵ der Kreis des G_T zwischen ABCD und Evap geöffnet wird, sodass das Arbeitsfluid G_T im flüssigen Zustand in den Verdampfer eingeführt wird;

- zum Zeitpunkt t_ζ der Kreis des G_T zwischen Evap und CT einerseits, zwischen ABCD und Evap andererseits geschlossen wird, die Hilfspumpe PHA₂ angehalten wird, der Kreis des G_T zwischen Cond und ABCD einerseits, zwischen CT' und Cond andererseits geöffnet wird und der Kreis der L_T zwischen CT' und ABCD geöffnet wird, so dass:

* der in CT enthaltene Dampf des G_T fortfährt sich in adiabatischer Weise auszudehnen und L_T in CT auf das niedrige Niveau, dann durch MH zu CT' verdrängt wird;

* die Kammer ABCD in Verbindung mit Cond auf den niedrigen Druck zurückgebracht wird und L_T , die sie in ihrem unteren Teil enthält, zu CT' fließt;

* die in CT' enthaltenen Dämpfe des G_T in Cond kondensieren;

EP 2 283 210 B1

mit der Maßgabe, dass nach mehreren Zyklen die Anlage in einem permanenten Zustand arbeitet, in dem die Wärmequelle kontinuierlich die Wärme bei einer Temperatur T_h am Verdampfer Evap liefert, Wärme kontinuierlich von dem Verflüssiger Cond an die kalte Senke mit der Temperatur T_b geliefert wird und Arbeit kontinuierlich von der Maschine geliefert wird.

5
16. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** ausgehend von einem Anfangszustand, in dem das Arbeitsfluid G_T in dem Verdampfer Evap bei hoher Temperatur und in dem Verflüssiger Cond bei niedriger Temperatur durch Wärmeaustausch jeweils mit der auf T_h warmen Quelle und der auf T_b kalten Senke gehalten wird und alle Kommunikationskreise des Arbeitsfluids G_T und der Übertragungsflüssigkeit L_T verschlossen sind, zum Zeitpunkt t_0 die hydraulische Hilfspumpe PHA_1 betätigt wird und der Kreis des G_T zwischen Cond und Evap geöffnet wird, sodass ein Teil des G_T im gesättigten oder unterkühlten flüssigen Zustand durch PHA_1 in dem unteren Teil des Verflüssigers Cond angesaugt wird und im unterkühlten flüssigen Zustand in Evap gefördert wird, wo es wieder aufgeheizt wird, dann G_T einer Folge von modifizierten Carnot-Zyklen unterworfen wird, von denen jeder die folgenden Schritte umfasst:

15
- wenn während des ersten Zyklus zum Zeitpunkt t_α flüssiges G_T in dem Verflüssiger verbleibt, der Kreis des G_T zwischen Evap und CT' einerseits und zwischen CT und Cond andererseits geöffnet wird und der die Überführung der L_T von CT' zu CT ermöglichende Kreis geöffnet wird, wobei es durch den Hydraulikmotor MH hindurchgeht, so dass,

20
* G_T sich wieder aufheizt und in Evap verdampft und der gesättigte Dampf des G_T , der bei einem erhöhten Druck P_h Evap verlässt, in CT' eintritt und L_T auf ein Zwischenniveau J verdrängt;
* L_T durch MH hindurchgeht, wobei sie sich entspannt, dann L_T zu CT bis zum Zwischenniveau I verdrängt wird;
25
* die in CT enthaltenen und durch L_T verdrängten Dämpfe des G_T in Cond kondensieren;
* G_T im gesättigten oder unterkühlten flüssigen Zustand in dem unteren Teil des Verflüssigers Cond ankommt, wo es schrittweise durch PHA_1 angesaugt wird, dann im unterkühlten flüssigen Zustand in Evap gefördert wird;

30
- zum Zeitpunkt t_β der Kreis des G_T zwischen Evap und CT' geschlossen wird, so dass:
* der in CT' enthaltene Dampf des G_T sich weiter in adiabatischer Weise ausdehnt und L_T in CT' auf das niedrige Niveau, dann durch MH zu CT verdrängt wird, wo es das hohe Niveau erreicht;
35
* der Rest der in CT enthaltenen und durch die Flüssigkeit L_T verdrängten Dämpfe des G_T in Cond kondensieren;
* G_T im gesättigten oder unterkühlten flüssigen Zustand in dem unteren Teil des Verflüssigers Cond ankommt, wo es schrittweise durch PHA_1 angesaugt wird, dann im unterkühlten flüssigen Zustand in Evap gefördert wird;

40
- zum Zeitpunkt t_γ die zum Zeitpunkt t_β offenen Kreise geschlossen werden, ausgenommen derjenige, der die Überführung von G_T zwischen Cond und Evap gestattet, der Kreis des G_T zwischen Evap und CT einerseits, zwischen CT' und Cond andererseits geöffnet wird und der die Überführung der L_T von CT nach CT' über den Hydraulikmotor MH gestattende Kreis geöffnet wird, so dass:

45
* G_T sich wieder aufheizt und in Evap verdampft und der gesättigte Dampf des G_T , der bei einem erhöhten Druck P_h Evap verlässt, in CT eintritt und L_T auf ein Zwischenniveau J verdrängt;
* L_T durch MH hindurchgeht, wobei sie sich entspannt, dann L_T zu CT' hin bis zum Zwischenniveau I gefördert wird;
50
* die in CT' enthaltenen und durch L_T verdrängten Dämpfe des G_T in Cond kondensieren;
* G_T im gesättigten oder unterkühlten flüssigen Zustand in dem unteren Teil des Verflüssigers Cond ankommt, wo es schrittweise durch PHA_1 angesaugt wird, dann im unterkühlten flüssigen Zustand in Evap gefördert wird;

55
- zum Zeitpunkt t_δ der Kreis des G_T zwischen Evap und CT geschlossen wird, so dass:
* der in CT enthaltene Dampf des G_T sich weiter in adiabatischer Weise ausdehnt und L_T in CT auf das niedrige Niveau, dann durch MH zu CT' verdrängt wird, wo es das hohe Niveau erreicht;
* der Rest der in CT' enthaltenen und durch die Flüssigkeit L_T verdrängten Dämpfe des G_T in Cond kon-

densieren;

* G_T im gesättigten oder unterkühlten flüssigen Zustand in dem unteren Teil des Verflüssiger Cond ankommt, wo es schrittweise durch PHA_1 angesaugt wird und schließlich im unterkühlten flüssigen Zustand in Evap gefördert wird;

5

mit der Maßgabe, dass nach mehreren Zyklen die Anlage in einem permanenten Zustand arbeitet, in dem die warme Quelle kontinuierlich Wärme bei hoher Temperatur T_h an den Verdampfer Evap liefert, Wärme kontinuierlich von dem Verflüssiger Cond an die kalte Senke mit T_b geliefert wird und Arbeit kontinuierlich von der Maschine geliefert wird.

10

17. Verfahren nach Anspruch 10, ausgehend von einem Anfangszustand, in dem alle Kommunikationskreise des Arbeitsfluids G_T und der Übertragungsflüssigkeit L_T verschlossen sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Zeitpunkt t_0 die Hydraulikpumpe PH betätigt wird, dann G_T einer Folge von modifizierten Carnot-Zyklen unterworfen wird, von denen jeder die folgenden Schritte umfasst:

15

- zum Zeitpunkt t_α die Kreise der L_T geöffnet werden, wodurch einerseits die Überführung von L_T aus der Kammer ABCD nach stromaufwärts zur Hydraulikpumpe PH, andererseits die Überführung von L_T aus CT nach CT' durch die Hydraulikpumpe PH ermöglicht wird, so dass:

20

* G_T im Gleichgewicht Flüssigkeit/Dampf in ABCD und in CT sich von dem hohen Druck P_h zu dem niedrigen Druck P_b ausdehnt und L_T durch PH hindurch in CT' fördert;

* die in CT' enthaltenen Dämpfe des G_T adiabatisch verdichtet werden;

25

- zum Zeitpunkt t_β der Kreis des G_T zwischen Evap und CT einerseits, zwischen ABCD und Evap andererseits geöffnet wird, so dass:

30

* die Überführungsflüssigkeit L_T von der Pumpe PH angesaugt wird, die sie unter Druck setzt und nach CT' fördert;

* die Niveaus von L_T in ABCD, CT und CT' jeweils von hoch zu niedrig, von hoch zu einem Zwischenniveau J und von niedrig zu einem Zwischenniveau I übergehen;

* durch die Tatsache, dass das in CT durch die Dämpfe des G_T eingenommene Volumen zunimmt, G_T in Evap verdampft und der Evap verlassende gesättigte Dampf des G_T bei niedrigem Druck P_b in CT eintritt;

* die in CT' enthaltenen Dämpfe des G_T fortfahren, adiabatisch bis zum Druck P_h verdichtet zu werden;

35

* G_T im gesättigten flüssigen Zustand bei dem niedrigen Druck P_b durch Schwerkraft von ABCD nach Evap fließt;

40

- zum Zeitpunkt t_γ der Kreis des G_T zwischen ABCD und Evap geschlossen wird, der Kreis der L_T zwischen ABCD und stromaufwärts zur Pumpe PH geschlossen wird, der Kreis des G_T zwischen CT' und Cond einerseits, zwischen Cond und ABCD andererseits geöffnet wird und der Kreis der L_T zwischen stromabwärts zur Pumpe PH und ABCD geöffnet wird, so dass:

45

* L_T wieder von der Pumpe PH, die sie unter Druck setzt, angesaugt wird und sie nach CT' verdrängt;

* die Niveaus der L_T in ABCD, CT und CT' jeweils von niedrig auf hoch, vom Zwischenniveau J auf niedrig und vom Zwischenniveau I auf hoch übergehen;

* aufgrund der Tatsache, dass das von den Dämpfen des G_T in CT eingenommene Volumen fortfährt sich zu erhöhen, G_T in Evap verdampft und der gesättigte Dampf des G_T , der Evap bei geringem Druck P_b verlässt, in CT eintritt;

* die in CT' enthaltenen Dämpfe des G_T bei hohem Druck P_h durch L_T verdrängt werden und in Cond kondensieren;

50

* G_T im gesättigten flüssigen Zustand durch Schwerkraft von Cond nach ABCD fließt;

55

- zum Zeitpunkt t_δ alle zum Zeitpunkt t_γ offenen Kreise geschlossen werden, die Kreise der L_T geöffnet werden, wodurch die Überführung der L_T einerseits von der Kammer ABCD nach stromaufwärts zur Hydraulikpumpe PH und andererseits von CT' nach CT über die Hydraulikpumpe PH ermöglicht wird, so dass:

* G_T im Gleichgewicht Flüssigkeit/Dampf in ABCD und in CT' sich von dem hohen Druck P_h zu dem niedrigen Druck P_b ausdehnt und L_T durch PH hindurch nach CT fördert;

* die in CT enthaltenen Dämpfe des G_T adiabatisch verdichtet werden;

EP 2 283 210 B1

- zum Zeitpunkt t_c der Kreis des G_T zwischen Evap und CT' einerseits, zwischen ABCD und Evap andererseits geöffnet wird, so dass:

- 5 * L_T von der Pumpe PH, die sie unter Druck setzt, angesaugt wird und sie nach CT verdrängt;
- * die Niveaus der L_T in ABCD, CT und CT' jeweils von hoch auf niedrig, von niedrig auf ein Zwischenniveau I und von hoch auf ein Zwischenniveau J übergehen;
- * aufgrund der Tatsache, dass das von den Dämpfen des G_T in CT' eingenommene Volumen sich erhöht, G_T in Evap verdampft und der gesättigte Dampf des G_T , der Evap bei niedrigem Druck P_b verlässt, in CT' eintritt;
- 10 * die in CT enthaltenen Dämpfe des G_T fortfahren, adiabatisch bis zum hohen Druck P_h verdichtet zu werden;
- * G_T im gesättigten flüssigen Zustand bei dem niedrigen Druck P_b durch Schwerkraft von ABCD nach Evap fließt;

15 - zum Zeitpunkt t_λ der Kreis des G_T zwischen ABCD und Evap geschlossen wird, der Kreis der L_T zwischen ABCD und stromaufwärts zur Pumpe PH geschlossen wird, der Kreis des G_T zwischen CT und Cond einerseits, zwischen Cond und ABCD andererseits geöffnet wird und der Kreis der L_T zwischen stromabwärts zur Pumpe PH und ABCD geöffnet wird, so dass:

- 20 * L_T wieder von der Pumpe PH angesaugt wird, die sie unter Druck setzt und sie nach CT' verdrängt;
- * die Niveaus der L_T in ABCD, CT und CT' jeweils von niedrig auf hoch, vom Zwischenniveau I auf hoch und vom Zwischenniveau J auf niedrig übergehen;
- * aufgrund der Tatsache, dass das von den Dämpfen des G_T in CT' eingenommene Volumen fortfährt sich zu erhöhen, G_T in Evap verdampft und der gesättigte Dampf des G_T , der Evap bei niedrigem Druck P_b verlässt, in CT' eintritt;
- 25 * die in CT enthaltenen Dämpfe des G_T bei hohem Druck P_h durch L_T verdrängt werden und in Cond kondensieren;
- * G_T im gesättigten flüssigen Zustand durch Schwerkraft von Cond nach ABCD fließt;

30 mit der Maßgabe, dass nach mehreren Zyklen die Anlage in einem permanenten Zustand arbeitet und dass:

- 35 - für die Erzeugung von Kälte im Ausgangszustand G_T in dem Verflüssiger Cond bei hoher Temperatur durch Wärmeaustausch mit der warmen Senke mit T_h und in dem Verdampfer Evap bei einer geringeren Temperatur oder einer Temperatur gleich T_h durch Wärmeaustausch mit einem zur Maschine externen Medium gehalten wird, wobei das Medium ursprünglich eine Temperatur T_h aufweist, und im permanenten Zustand eine deutliche Arbeit von der Hydraulikpumpe PH verbraucht wird, der Verflüssiger Cond kontinuierlich die Wärme zu der warmen Senke mit hoher Temperatur T_h abführt, und Wärme kontinuierlich von dem Verdampfer Evap mit Erzeugung von Kälte zu dem äußeren Medium in Kontakt mit dem Verdampfer Evap verbraucht wird, wobei die Temperatur T_b des äußeren Mediums streng kleiner ist als T_h ;
- 40 - für die Erzeugung von Wärme im Ausgangszustand G_T in dem Verdampfer Evap durch Wärmeaustausch mit der kalten Quelle mit T_b auf niedriger Temperatur gehalten wird, G_T in dem Verflüssiger Cond auf einer Temperatur $T_h \geq T_b$ durch Wärmeaustausch mit einem zu der Maschine äußeren Medium gehalten wird, wobei das äußere Medium ursprünglich eine Temperatur $\geq T_h$ aufweist; und im permanenten Zustand eine deutliche Arbeit von der Hydraulikpumpe PH verbraucht wird, die kalte Quelle mit T_b kontinuierlich Wärme dem Verdampfer Evap zuführt, der Verflüssiger Cond kontinuierlich Wärme zu der warmen Senke abführt, wobei die Anlage
- 45 Wärme zu dem äußeren Medium in Kontakt mit dem Verflüssiger Cond erzeugt, wobei das äußere Medium eine Temperatur $T_h > T_b$ aufweist.

18. Verfahren nach Anspruch 10, ausgehend von einem Anfangszustand, in dem alle Kommunikationskreise des Arbeitsfluids G_T und der Überführungsflüssigkeit L_T verschlossen sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Zeitpunkt t_o die Hydraulikpumpe PH betätigt wird und der Kreis des G_T zwischen Cond und Evap geöffnet wird, und G_T einer Folge von modifizierten Carnot-Zyklen unterworfen wird, von denen jeder die folgenden Schritte umfasst:

55 - zum Zeitpunkt t_α die Kreise der L_T geöffnet wird, wodurch die Überführung von L_T aus der Kammer CT zur Kammer CT' über die Hydraulikpumpe PH ermöglicht wird, so dass:

- * L_T von der Pumpe PH angesaugt wird, die sie unter Druck setzt und sie nach CT' verdrängt;
- * das Niveau der L_T in CT von hoch auf ein Zwischenniveau J und in CT' von niedrig auf ein Zwischenniveau I übergeht;

EP 2 283 210 B1

* aufgrund der Tatsache, dass das von den Dämpfen des G_T in CT eingenommene Volumen sich vergrößert, G_T in Evap verdampft und der gesättigte Dampf des G_T , der Evap bei niedrigem Druck P_b verlässt, in CT eintritt;

* die in CT' enthaltenen Dämpfe des G_T adiabatisch bis zum hohen Druck P_h verdichtet werden;

* G_T im gesättigten oder unterkühlten flüssigen Zustand in Cond und sich bei dem hohen Druck P_h in isenthalper Weise ausdehnt und in einem zweiphasigen Mischzustand Flüssigkeit/Dampf und bei niedrigem Druck P_b in den Verdampfer Evap eingeführt wird,

- zum Zeitpunkt t_β der Kreis des G_T zwischen CT' und Cond geöffnet wird, so dass:

* L_T wieder von der Pumpe PH angesaugt wird, die sie unter Druck setzt und sie nach CT' verdrängt;

* das Niveau der L_T in CT vom Zwischenniveau J auf niedrig und in CT' vom Zwischenniveau I auf hoch übergeht;

* aufgrund der Tatsache, dass das von den Dämpfen des G_T in CT eingenommene Volumen fortfährt sich zu erhöhen, G_T in Evap verdampft und der gesättigte Dampf des G_T , der Evap bei niedrigem Druck P_b verlässt, in CT eintritt;

* die in CT' enthaltenen Dämpfe des G_T bei hohem Druck P_h durch L_T verdrängt werden und in Cond kondensieren;

- zum Zeitpunkt t_γ alle zum Zeitpunkt t_β offenen Kreise mit der Ausnahme des Kreises des G_T zwischen Cond und Evap geschlossen werden, der Kreis der L_T geöffnet wird, wodurch die Überführung der L_T von CT' nach CT über die Hydraulikpumpe PH ermöglicht wird, und der Kreis des G_T zwischen Evap und CT' geöffnet wird, so dass:

* L_T von der Pumpe PH angesaugt wird, die sie unter Druck setzt und sie nach CT verdrängt;

* das Niveau der L_T in CT von niedrig auf ein Zwischenniveau I und in CT' von hoch auf ein Zwischenniveau J übergeht;

* da das von den Dämpfen des G_T in CT eingenommene Volumen sich vergrößert, das Arbeitsfluid G_T in Evap verdampft und der gesättigte Dampf des G_T , der Evap bei niedrigem Druck P_b verlässt, in CT' eintritt;

* die in CT enthaltenen Dämpfe des G_T adiabatisch bis zum hohen Druck P_h verdichtet werden;

* G_T sich im gesättigten oder unterkühlten flüssigen Zustand in Cond und bei dem hohen Druck P_h in isenthalper Weise ausdehnt und in einem zweiphasigen Mischzustand Flüssigkeit/Dampf und bei niedrigem Druck P_b in den Verdampfer Evap eingeführt wird,

- zum Zeitpunkt t_δ der Kreis des G_T zwischen CT und Cond geöffnet wird, so dass:

* L_T wieder von der Pumpe PH angesaugt wird, die sie unter Druck setzt und sie nach CT' verdrängt;

* das Niveau der L_T in CT vom Zwischenniveau I auf hoch und in CT' vom Zwischenniveau J auf niedrig übergeht;

* aufgrund der Tatsache, dass das von den Dämpfen des G_T in CT' eingenommene Volumen fortfährt sich zu erhöhen, G_T in Evap verdampft und der gesättigte Dampf des G_T , der Evap bei niedrigem Druck P_b verlässt, in CT' eintritt;

* die in CT enthaltenen Dämpfe des G_T bei hohem Druck P_h durch L_T verdrängt werden und in Cond kondensieren;

mit der Maßgabe, dass nach mehreren Zyklen die Anlage in einem permanenten Zustand arbeitet und dass:

- für die Erzeugung von Kälte: im Ausgangszustand G_T in dem Verflüssiger Cond bei hoher Temperatur durch Wärmeaustausch mit der warmen Senke mit T_h und in dem Verdampfer Evap bei einer geringeren Temperatur oder einer Temperatur gleich T_h durch Wärmeaustausch mit einem zur Maschine externen Medium gehalten wird, wobei das Medium ursprünglich eine Temperatur $\leq T_h$ aufweist, und im permanenten Zustand eine deutliche Arbeit von der Hydraulikpumpe PH verbraucht wird, der Verflüssiger Cond kontinuierlich die Wärme zu der warmen Wärmesenke bei hoher Temperatur T_h abführt, und Wärme kontinuierlich von dem Verdampfer Evap verbraucht wird, d. h. es gibt eine Erzeugung von Kälte zu dem äußeren Medium in Kontakt mit dem Verdampfer Evap, wobei die Temperatur T_b des äußeren Mediums $< T_h$ ist;

- für die Erzeugung von Wärme: im Ausgangszustand G_T in dem Verdampfer Evap durch Wärmeaustausch mit der kalten Quelle mit T_b auf niedriger Temperatur, in dem Verflüssiger Cond auf einer Temperatur $\geq T_h$ durch Wärmeaustausch mit einem zu der Anlage äußeren Medium mit einer Temperatur $\geq T_h$ gehalten wird; und im

permanenten Zustand eine deutliche Arbeit von der Hydraulikpumpe PH verbraucht wird, die kalte Quelle mit T_b kontinuierlich Wärme dem Verdampfer Evap zuführt, und der Verflüssiger Cond kontinuierlich Wärme zu der warmen Senke abführt, d. h. es gibt eine Erzeugung von Wärme zu dem äußeren Medium in Kontakt mit Cond, wobei die Temperatur T_h des äußeren Mediums größer als T_b ist.

5

Claims

10

1. Plant for producing cold, heat or work, comprising at least one modified Carnot engine composed of:

15

a) a first assembly which comprises an evaporator Evap associated with a heat source, a condenser Cond associated with a heat sink, a device DPD for pressurisation or expansion of a working fluid G_T , means for transferring the working fluid G_T between the condenser Cond and DPD and between the evaporator Evap and DPD;

20

b) a second assembly which comprises two transfer chambers CT and CT' which contain a transfer liquid L_T and the working fluid G_T in liquid and/or vapour form, the transfer liquid L_T and the working fluid being two different fluids;

c) means for selectively transferring the working fluid G_T between the condenser Cond and each of the transfer chambers CT and CT' on the one hand and between the evaporator Evap and each of the transfer chambers CT and CT' on the other hand;

d) means for selectively transferring the liquid L_T between the transfer chambers CT and CT' and the compression or expansion device DPD, said means comprising at least one hydraulic converter.

25

2. Plant according to claim 1, wherein the modified Carnot engine is a driving machine, **characterised in that** the hydraulic converter is a hydraulic motor and the heat source is at a temperature above that of the heat sink, and **in that** the device DPD consists of:

30

- either a device which pressurises the working fluid G_T which is in the saturated liquid or supercooled liquid state,
- or a device which comprises on the one hand a compression/expansion chamber ABCD and the transfer means associated therewith and on the other hand an auxiliary hydraulic pump PHA_2 for pressurising the transfer liquid L_T .

35

3. Plant according to claim 1, wherein the modified Carnot engine is a receiving machine, **characterised in that** the hydraulic converter is a hydraulic pump and the heat source is at a temperature below that of the heat sink, and **in that** the device DPD is:

40

- either an expansion valve VD or a capillary C or a controlled valve in series with a capillary VCC, the working fluid G_T passing through said DPD;
- or a device which comprises a chamber ABCD permitting adiabatic compression or expansion of the working fluid G_T by way of the transfer liquid L_T .

45

4. Plant according to claim 1, **characterised in that** it comprises a modified Carnot engine coupled thermally in the region of its condenser and/or of its evaporator to a complementary device, the complementary device being a driving dithermal thermodynamic engine for a driving modified Carnot engine and a receiving dithermal thermodynamic engine for a receiving modified Carnot engine.

5. Plant according to claim 1, **characterised in that** the modified Carnot engine is coupled mechanically to a complementary device.

50

6. Plant according to claim 1, capable of operating in driving mode or in receiving mode, **characterised in that**:

55

- it comprises a converter element and means which allow it to be selectively placed in communication with the cylinders CT and CT', said converter assembly being composed either of a bifunctional hydraulic converter capable of operating as a motor or as a pump, or of a hydraulic pump and a hydraulic motor;

- the device DPD comprises a pressurisation device, an expansion device and a means for exclusively selecting one of said pressurisation and expansion devices which are situated in two parallel circuits between the condenser Cond and the evaporator Evap and which can each place the condenser Cond and the evaporator Evap in communication.

7. Plant according to claim 1, **characterised in that** it comprises means of heat exchange between on the one hand the heat source and/or the heat sink, which are at different temperatures, and on the other hand the working fluid G_T in the transfer chambers CT and CT', it being possible for the heat exchange to be direct or indirect.
- 5 8. Plant according to claim 1, **characterised in that** the working fluid G_T and the transfer liquid L_T are chosen such that G_T is sparingly soluble in L_T , G_T does not react with L_T , and G_T in the liquid state is less dense than L_T .
9. Plant according to claim 1, **characterised in that** the working fluid G_T and the transfer liquid L_T are isolated from one another by a flexible membrane which creates an impermeable barrier between the fluids G_T and L_T but which offers only very slight resistance to the displacement of L_T and slight resistance to heat transfer, or by a float which has an intermediate density between the density of the working fluid G_T in the liquid state and the density of the transfer liquid L_T .
- 10 10. Method for producing cold, heat and/or work, which consists in subjecting a working fluid G_T to a succession of modified Carnot cycles in a plant according to claims 1 to 9, each modified Carnot cycle comprising the following transformations of G_T :

- an isothermal transformation with heat exchange between G_T and the heat source or the heat sink;
- an adiabatic transformation with a reduction in the pressure of the working fluid G_T ;
- 20 - an isothermal transformation with heat exchange between G_T and the heat sink or the heat source;
- an adiabatic transformation with an increase in the pressure of the working fluid G_T ;

characterised in that:

- 25 - the working fluid G_T is in two-phase liquid-gas form at least during the two isothermal transformations of a cycle,
- the two isothermal transformations produce or follow a change in volume of G_T which is concomitant with the displacement of a transfer liquid L_T which drives or is driven by a hydraulic converter,
- work is provided or received by the plant by way of a transfer liquid L_T which passes through a hydraulic converter during at least the two isothermal transformations.

- 30 11. Method according to claim 10, **characterised in that** the cycle comprises the following transformations:
- an isothermal transformation initiated by the supply of heat to G_T from the heat source;
 - an adiabatic transformation with a reduction in the pressure of the working fluid G_T and the production of work by the plant;
 - 35 - an isothermal transformation during which heat is provided by G_T to a heat sink at a temperature below that of the source;
 - an adiabatic transformation with an increase in the pressure of the working fluid G_T .

- 40 12. Method according to claim 10, **characterised in that** the cycle comprises the following transformations:
- an isothermal transformation with the release of heat by G_T to the heat sink;
 - an adiabatic transformation with a reduction in the pressure of the working fluid G_T ;
 - an isothermal transformation with the supply of heat to G_T by the heat source at a temperature below the temperature of the heat sink;
 - 45 - an adiabatic transformation with an increase in the pressure of the working fluid G_T initiated by the supply of work by way of the transfer liquid L_T .

- 50 13. Method according to claim 10, carried out in a plant which comprises a modified Carnot engine coupled to a dithermal thermodynamic engine, **characterised in that** the heat of the condenser of the modified Carnot engine is transferred to the thermodynamic engine, or the evaporator of the modified Carnot engine receives heat from the thermodynamic engine.

- 55 14. Method according to claim 10, carried out in a plant comprising first and last modified Carnot engines and optionally at least one intermediate modified Carnot engine between said first and last modified Carnot engines, the modified Carnot engines being thermally coupled, **characterised in that:**

- the first engine is supplied with heat for the evaporation of a working fluid G_{T_p} and the last engine releases

to the environment the heat generated by the condensation of a working fluid GT_d , it being possible for said fluids GT_p and GT_d to be identical or different;

- where appropriate, each intermediate engine receives the heat released by the condensation of the working fluid GT_{i-1} of the engine that precedes it and transfers the heat released by the condensation of its own working fluid GT_i to the engine that follows it, it being possible for said fluids GT_{i-1} and GT_i to be identical or different;
- each engine exchanges a quantity of work with the environment;

it being understood that the engines are all driving or all receiving and that:

- when all the engines are driving, the heat provided to the first engine is at a temperature T_h and the heat released by the last engine is at a temperature $T_b < T_h$, and net work is provided to the environment;
- when all the engines are receiving, the heat provided to the first engine is at a temperature T_b and the heat released by the last engine is at a temperature T_h which is above both T_b and the temperature of the environment, and net work is provided by the environment.

15. Method according to claim 10 for producing heat at a temperature T_b and/or work, **characterised in that**, starting from an initial state in which on the one hand the working fluid G_T is maintained in the evaporator Evap at high temperature and in the condenser Cond at low temperature by heat exchange with the hot source at T_h and with the cold sink at $T_b < T_h$, respectively, and on the other hand all the communication circuits of G_T and the transfer liquid L_T are shut off:

- at time t_a , the G_T circuit between Evap and CT' is opened, the L_T circuit between CT' and the upstream side of the hydraulic motor MH is opened and the auxiliary pump PHA₂ is actuated, so that:

- * the working fluid G_T evaporates in Evap and the G_T -saturated vapour leaving Evap at the high pressure P_h enters CT' and delivers L_T to an intermediate level J;
- * L_T passes through MH while expanding, then L_T is aspirated by PHA₂ and delivered to ABCD;

- at time t_b , the G_T circuit between ABCD and Evap is opened so that the working fluid G_T is introduced in the liquid state into the evaporator;

- at time t_c , the G_T circuit between Evap and CT' on the one hand and between ABCD and Evap on the other hand is closed, the auxiliary pump PHA₂ is stopped, the G_T circuit between Cond and ABCD on the one hand and between CT and Cond on the other hand is opened and the L_T circuit between CT and ABCD is opened, so that:

- * the G_T vapour contained in CT' continues to expand, adiabatically, and delivers L_T up to the low level in CT' and then through MH to CT;
- * the chamber ABCD in communication with Cond is brought back to the low pressure and L_T contained therein in the bottom portion thereof flows to CT;
- * the G_T vapours contained in CT condense in Cond;

- at time t_d , all the circuits opened at time t_c are closed, the G_T circuit between Evap and CT is opened, the L_T circuit between CT and the upstream side of the hydraulic motor MH is opened and the auxiliary pump PHA₂ is actuated, so that:

- * the G_T -saturated vapour leaving Evap at the high pressure P_h enters CT and delivers L_T to an intermediate level J;
- * L_T passes through MH while expanding, then L_T is aspirated by PHA₂ and delivered to ABCD;

- at time t_e , the G_T circuit between ABCD and Evap is opened so that the working fluid G_T is introduced in the liquid state into the evaporator;

- at time t_f , the G_T circuit between Evap and CT on the one hand and between ABCD and Evap on the other hand is closed, the auxiliary pump PHA₂ is stopped, the G_T circuit between Cond and ABCD on the one hand and between CT' and Cond on the other hand is opened and the L_T circuit between CT' and ABCD is opened, so that:

- * the G_T vapour contained in CT continues to expand, adiabatically, and delivers L_T up to the low level in CT and then through MH to CT';

EP 2 283 210 B1

- * the chamber ABCD in communication with Cond is brought back to the low pressure and L_T contained therein in the bottom portion thereof flows to CT';
- * the G_T vapours contained in CT' condense in Cond;

5 it being understood that, after several cycles, the plant operates in a steady state in which the hot source continuously provides heat at temperature T_h in the region of the evaporator Evap, heat is continuously delivered by the condenser Cond to the cold sink at temperature T_b and work is continuously delivered by the engine.

10 **16.** Method according to claim 10, **characterised in that**, starting from an initial state in which the working fluid G_T is maintained in the evaporator Evap at high temperature and in the condenser Cond at low temperature by heat exchange with the hot source at T_h and with the cold sink at T_b , respectively, and all the communication circuits of the working fluid G_T and of the transfer liquid L_T are shut off, at time t_0 the auxiliary hydraulic pump PHA₁ is actuated and the G_T circuit between Cond and Evap is opened so that a portion of G_T , in the saturated or supercooled liquid state, is aspirated by PHA₁ into the bottom portion of the condenser Cond and delivered in the supercooled liquid state into Evap, where it is heated, and then G_T is subjected to a succession of modified Carnot cycles, each comprising the following steps:

15 - at time t_α , when, during the first action cycle, liquid G_T remains in the condenser, the G_T circuit between Evap and CT' on the one hand and between CT and Cond on the other hand is opened and the circuit permitting the transfer of L_T from CT' to CT, passing through the hydraulic motor MH, is opened, so that:

- * G_T is heated and evaporates in Evap, and the G_T -saturated vapour leaving Evap at the high pressure P_h enters CT' and delivers L_T to an intermediate level J;
- * L_T passes through MH while expanding, then L_T is delivered to CT up to the intermediate level I;
- * the G_T vapours contained in CT and delivered by L_T condense in Cond;
- * G_T in the saturated or supercooled liquid state arrives in the bottom portion of the condenser Cond, where it is aspirated as it arrives by PHA₁ and then delivered in the supercooled liquid state into Evap;

20 - at time t_β , the G_T circuit between Evap and CT' is closed, so that:

- * the G_T vapour contained in CT' continues to expand, adiabatically, and delivers L_T up to the low level in CT' and then through MH to CT, where it reaches the high level;
- * the remainder of the G_T vapours contained in CT and delivered by the liquid L_T condense in Cond;
- * G_T in the saturated or supercooled liquid state arrives in the bottom portion of the condenser Cond, where it is aspirated as it arrives by PHA₁ and then delivered in the supercooled liquid state into Evap;

25 - at time t_γ , the circuits opened at time t_β are closed, with the exception of the circuit permitting the transfer of G_T between Cond and Evap, the G_T circuit between Evap and CT on the one hand and between CT' and Cond on the other hand is opened and the circuit permitting the transfer of L_T from CT to CT' passing through the hydraulic motor MH is opened, so that:

- * G_T is heated and evaporates in Evap and the G_T -saturated vapour leaving Evap at the high pressure P_h enters CT and delivers L_T to an intermediate level J;
- * L_T passes through MH while expanding, then L_T is delivered to CT' up to the intermediate level I;
- * the G_T vapours contained in CT' and delivered by the liquid L_T condense in Cond;
- * G_T in the saturated or supercooled liquid state arrives in the bottom portion of the condenser Cond, where it is aspirated as it arrives by PHA₁ and then delivered in the supercooled liquid state into Evap;

30 - at time t_δ , the G_T circuit between Evap and CT is closed, so that:

- * the G_T vapour contained in CT continues to expand, adiabatically, and delivers L_T up to the low level in CT and then through MH to CT', where it reaches the high level;
- * the remainder of the G_T vapours contained in CT' and delivered by the liquid L_T condense in Cond;
- * G_T in the saturated or supercooled liquid state arrives in the bottom portion of the condenser Cond, where it is aspirated as it arrives by PHA₁ and finally delivered in the supercooled liquid state into Evap;

35 it being understood that, after several cycles, the plant operates in a steady state in which the hot source continuously provides heat at high temperature T_h in the region of the evaporator Evap, heat is continuously delivered by the

EP 2 283 210 B1

condenser Cond to the cold sink at T_b and work is continuously delivered by the engine.

17. Method according to claim 10, starting from an initial state in which all the communication circuits of the working fluid G_T and of the transfer liquid L_T are shut off, **characterised in that**, at time t_0 , the hydraulic pump PH is actuated and then G_T is subjected to a succession of modified Carnot cycles, each comprising the following steps:

- at time t_a , the L_T circuits permitting on the one hand the transfer of L_T from the chamber ABCD to the upstream side of the hydraulic pump PH and on the other hand the transfer of L_T from CT to CT' by the hydraulic pump PH are opened, so that:

- * G_T in the liquid/vapour equilibrium state in ABCD and in CT expands from the high pressure P_h to the low pressure P_b and delivers L_T through PH into CT';
- * the G_T vapours contained in CT' are compressed adiabatically;

- at time t_b , the G_T circuit between Evap and CT on the one hand and between ABCD and Evap on the other hand is opened, so that:

- * the transfer liquid L_T is aspirated by the pump PH, which pressurises it and delivers it into CT';
- * the L_T levels in ABCD, CT and CT' pass, respectively, from high to low, from high to an intermediate level J and from low to an intermediate level I;
- * owing to the fact that the volume occupied by the G_T vapours in CT increases, G_T evaporates in Evap and the G_T -saturated vapour leaving Evap at the low pressure P_b enters CT;
- * the G_T vapours contained in CT' continue to be compressed adiabatically up to the high pressure P_h ;
- * G_T in the saturated liquid state at the low pressure P_b flows by gravity from ABCD to Evap;

- at time t_c , the G_T circuit between ABCD and Evap is closed, the L_T circuit between ABCD and the upstream side of the pump PH is closed, the G_T circuit between CT' and Cond on the one hand and between Cond and ABCD on the other hand is opened and the L_T circuit between the downstream side of the pump PH and ABCD is opened, so that:

- * L_T is again aspirated by the pump PH, which pressurises it and delivers it into CT';
- * the L_T levels in ABCD, CT and CT' pass, respectively, from low to high, from the intermediate level J to low and from the intermediate level I to high;
- * owing to the fact that the volume occupied by the G_T vapours in CT continues to increase, G_T evaporates in Evap and the G_T -saturated vapour leaving Evap at the low pressure P_b enters CT;
- * the G_T vapours contained in CT', at high pressure P_h , are delivered by L_T and condense in Cond;
- * G_T in the saturated liquid state flows by gravity from Cond to ABCD;

- at time t_d , all the circuits opened at time t_c are closed and the L_T circuits permitting the transfer of L_T on the one hand from the chamber ABCD to the upstream side of the hydraulic pump PH and on the other hand from CT' to CT, passing through the hydraulic pump PH, are opened, so that:

- * G_T in the liquid/vapour equilibrium state in ABCD and in CT' expands from the high pressure P_h to the low pressure P_b and delivers L_T through PH into CT;
- * the G_T vapours contained in CT are compressed adiabatically;

- at time t_e , the G_T circuit between Evap and CT' on the one hand and between ABCD and Evap on the other hand is opened, so that:

- * L_T is aspirated by the pump PH, which pressurises it and delivers it into CT;
- * the L_T levels in ABCD, CT and CT' pass, respectively, from high to low, from low to an intermediate level I and from high to an intermediate level J;
- * owing to the fact that the volume occupied by the G_T vapours in CT' increases, G_T evaporates in Evap and the G_T -saturated vapour leaving Evap at the low pressure P_b enters CT';
- * the G_T vapours contained in CT continue to be compressed adiabatically up to the high pressure P_h ;
- * G_T in the saturated liquid state at the low pressure P_b flows by gravity from ABCD to Evap;

- at time t_f , the G_T circuit between ABCD and Evap is closed, the L_T circuit between ABCD and the upstream

EP 2 283 210 B1

side of the pump PH is closed, the G_T circuit between CT and Cond on the one hand and between Cond and ABCD on the other hand is opened and the L_T circuit between the downstream side of the pump PH and ABCD is opened, so that:

- 5 * L_T is again aspirated by the pump PH, which pressurises it and delivers it into CT;
- * the L_T levels in ABCD, CT and CT' pass, respectively, from low to high, from the intermediate level I to high and from the intermediate level J to low;
- * owing to the fact that the volume occupied by the G_T vapours in CT' continues to increase, G_T evaporates in Evap and the G_T -saturated vapour leaving Evap at the low pressure P_b enters CT';
- 10 * the G_T vapours contained in CT, at high pressure P_h , are delivered by L_T and condense in Cond;
- * G_T in the saturated liquid state flows by gravity from Cond to ABCD;

it being understood that, after several cycles, the plant operates in a steady state, and that:

- 15 - for the production of cold, in the initial state G_T is maintained in the condenser Cond at high temperature by heat exchange with the hot sink at T_h and in the evaporator Evap at a temperature below or equal to T_h by heat exchange with a medium external to the engine, said medium initially having a temperature T_h , and in steady state net work is consumed by the hydraulic pump PH, the condenser Cond continuously evacuates heat to the hot sink at high temperature T_h and heat is continuously consumed by the evaporator Evap, with production of cold to the external medium in contact with said evaporator Evap, the temperature T_b of said external medium being strictly below T_h ;
- 20 - for the production of heat, in the initial state G_T is maintained in the evaporator Evap at low temperature by heat exchange with the cold source at T_b , G_T is maintained in the condenser Cond at a temperature $T_h \geq T_b$ by heat exchange with a medium external to the engine, said medium initially having a temperature $\geq T_h$; and in steady state net work is consumed by the hydraulic pump PH, the cold source at T_b continuously supplies heat to the evaporator Evap, the condenser Cond continuously evacuates heat to the hot sink, the plant producing heat to the external medium in contact with said condenser Cond, the external medium having a temperature $T_h > T_b$.

- 30 **18.** Method according to claim 10, starting from an initial state in which all the communication circuits of the working fluid G_T and of the transfer liquid L_T are shut off, **characterised in that**, at time t_0 , the hydraulic pump PH is actuated and the G_T circuit between Cond and Evap is opened, and G_T is subjected to a succession of modified Carnot cycles, each comprising the following steps:

- 35 - at time t_α , the L_T circuit permitting the transfer of L_T from the chamber CT to the chamber CT', passing through the hydraulic pump PH, is opened and the G_T circuit between Evap and CT is opened, so that:

- * L_T is aspirated by the pump PH, which pressurises it and delivers it into CT';
- * the L_T level in CT passes from high to an intermediate level J, and in CT' from low to an intermediate level I;
- 40 * owing to the fact that the volume occupied by the G_T vapours in CT increases, G_T evaporates in Evap and the G_T -saturated vapour leaving Evap at the low pressure P_b enters CT;
- * the G_T vapours contained in CT' are compressed adiabatically up to the high pressure P_h ;
- * G_T in the saturated or supercooled liquid state in Cond and at the high pressure P_h expands isenthalpically and is introduced in the state of a two-phase liquid/vapour mixture and at the low pressure P_b into the evaporator Evap;
- 45

- at time t_β , the G_T circuit between CT' and Cond is opened, so that:

- * L_T is again aspirated by the pump PH, which pressurises it and delivers it into CT';
- 50 * the L_T level in CT passes from the intermediate level J to low, and in CT' from the intermediate level I to high;
- * owing to the fact that the volume occupied by the G_T vapours in CT continues to increase, G_T evaporates in Evap and the G_T -saturated vapour leaving Evap at the low pressure P_b enters CT;
- * the G_T vapours contained in CT', at high pressure P_h , are delivered by L_T and condense in Cond;

- 55 - at time t_γ , all the circuits opened at time t_β are closed, with the exception of the G_T circuit between Cond and Evap, the L_T circuit permitting the transfer of L_T from CT' to CT, passing through the hydraulic pump PH, is opened and the G_T circuit between Evap and CT' is opened, so that:

EP 2 283 210 B1

- * L_T is aspirated by the pump PH, which pressurises it and delivers it into CT;
- * the L_T level in CT passes from low to an intermediate level I, and in CT' from high to an intermediate level J;
- * the volume occupied by the G_T vapours in CT' increases, the working fluid G_T evaporates in Evap and the G_T -saturated vapour leaving Evap at the low pressure P_b enters CT';
- * the G_T vapours contained in CT are compressed adiabatically up to the high pressure P_h ;
- * G_T in the saturated or supercooled liquid state in Cond and at the high pressure P_h expands isenthalpically and is introduced in the state of a two-phase liquid/vapour mixture and at the low pressure P_b into the evaporator Evap;

5

10

- at time t_δ , the G_T circuit between CT and Cond is opened, so that:

- * L_T is again aspirated by the pump PH, which pressurises it and delivers it into CT;
- * the L_T level in CT passes from the intermediate level I to high, and in CT' from the intermediate level J to low;
- * owing to the fact that the volume occupied by the G_T vapours in CT' continues to increase, G_T evaporates in Evap and the G_T -saturated vapour leaving Evap at the low pressure P_b enters CT';
- * the G_T vapours contained in CT, at high pressure P_h , are delivered by L_T and condense in Cond;

15

it being understood that, after several cycles, the plant operates in a steady state, and that:

- for the production of cold: in the initial state G_T is maintained in the condenser Cond at high temperature by heat exchange with the hot sink at T_h and in the evaporator Evap at a temperature below or equal to T_h by heat exchange with a medium external to the engine, said medium initially having a temperature $\leq T_h$; and in steady state net work is consumed by the hydraulic pump PH, the condenser Cond continuously evacuates heat to the hot sink at high temperature T_h and heat is continuously consumed by the evaporator Evap, that is to say there is production of cold to the external medium in contact with said evaporator Evap, the temperature T_b of said external medium being $< T_h$;

20

25

- for the production of heat: in the initial state G_T is maintained in the evaporator Evap at low temperature by heat exchange with the cold source at T_b , in the condenser Cond at a temperature $\geq T_h$ by heat exchange with a medium external to the plant at a temperature $\geq T_h$; and in steady state net work is consumed by the hydraulic pump PH, the cold source at T_b continuously supplies heat to Evap and Cond continuously evacuates heat to the hot sink, that is to say there is production of heat to the external medium in contact with Cond, the temperature T_h of said external medium being greater than T_b .

30

35

40

45

50

55

FIG. 1

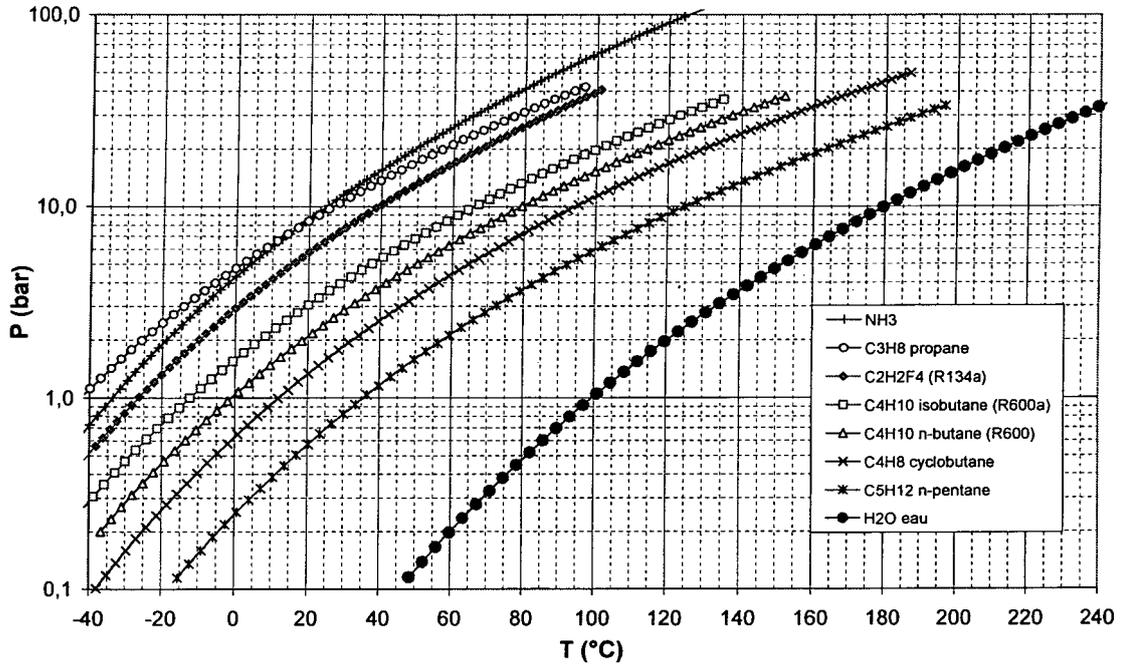


FIG. 3

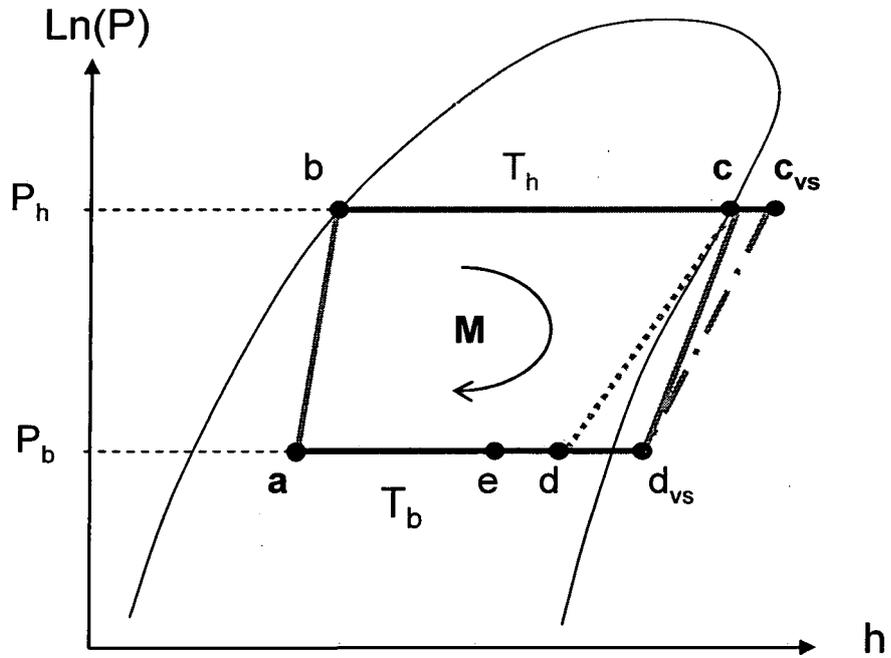


FIG. 2

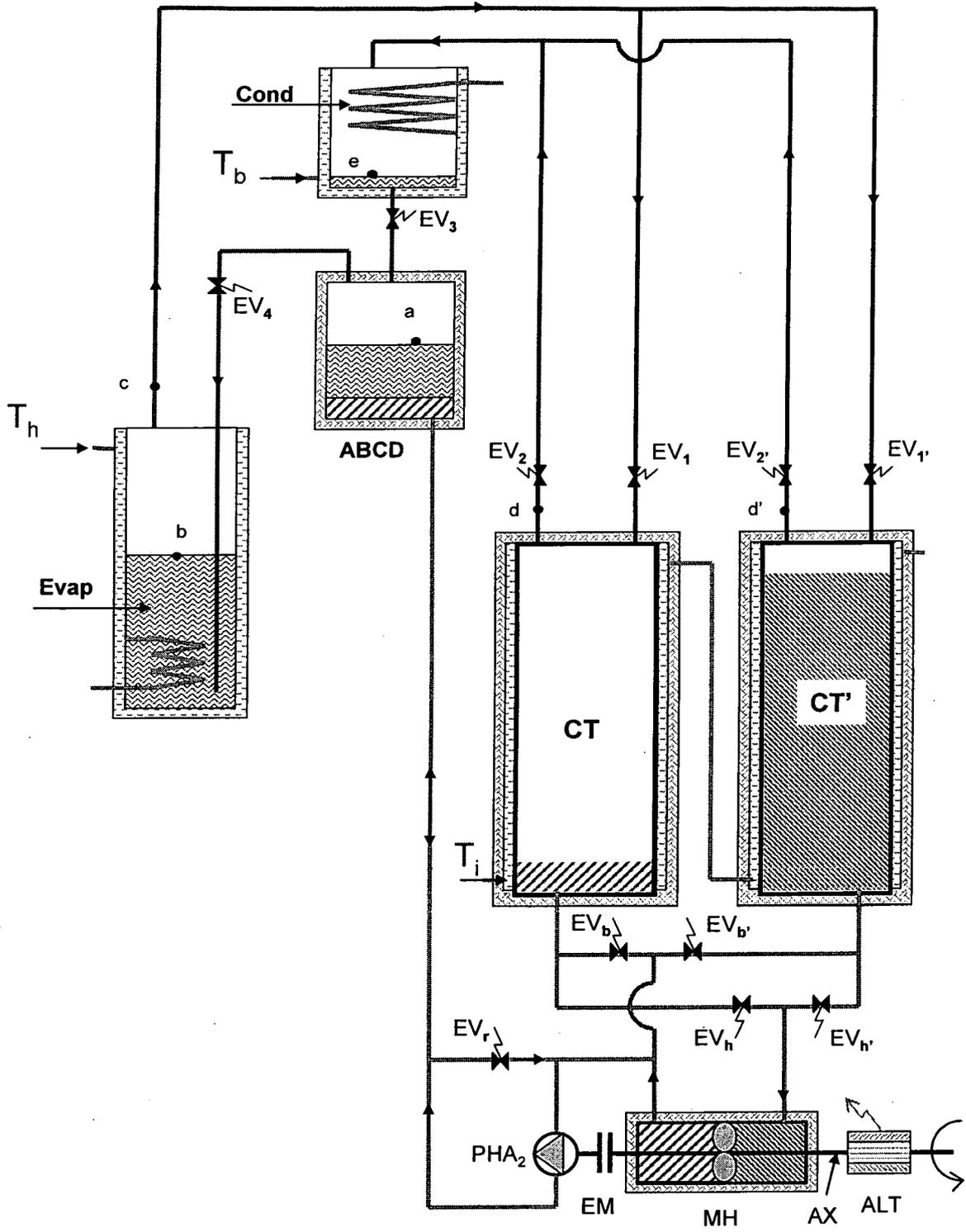


FIG. 4

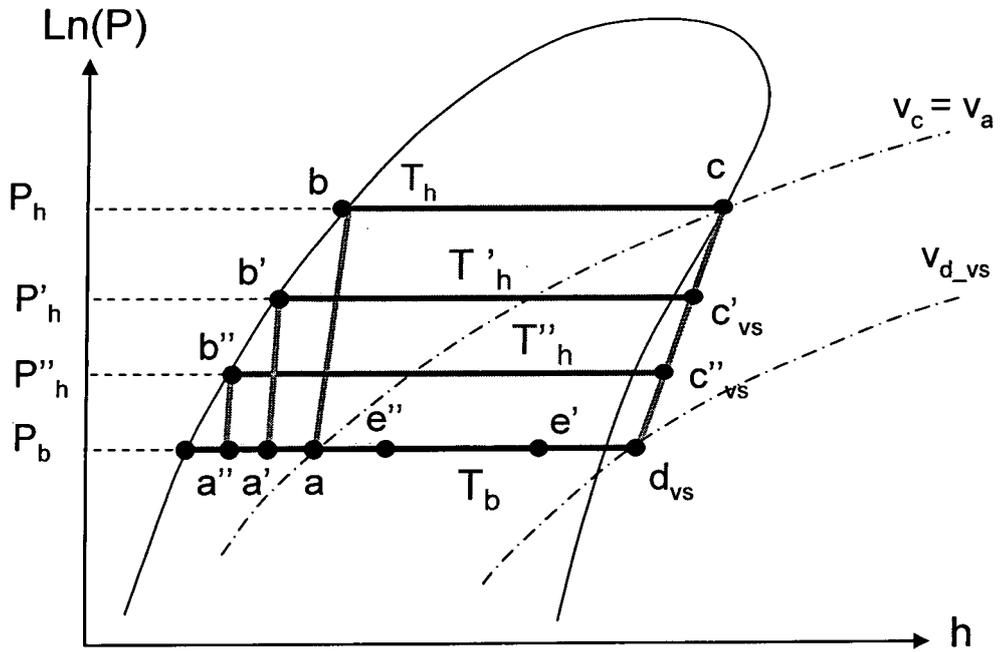


FIG. 6

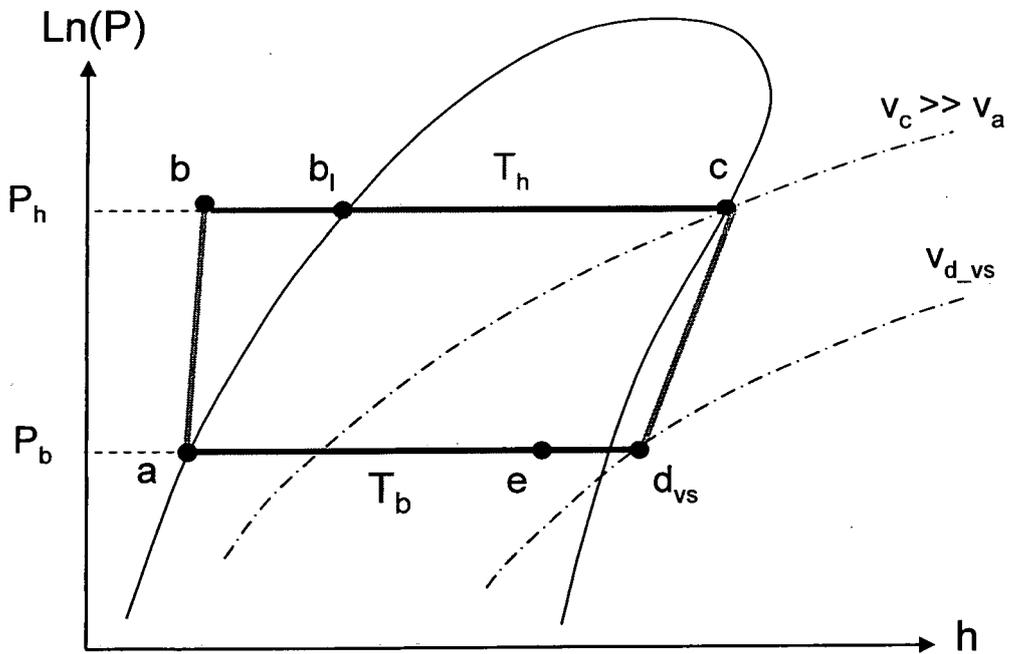


FIG. 5

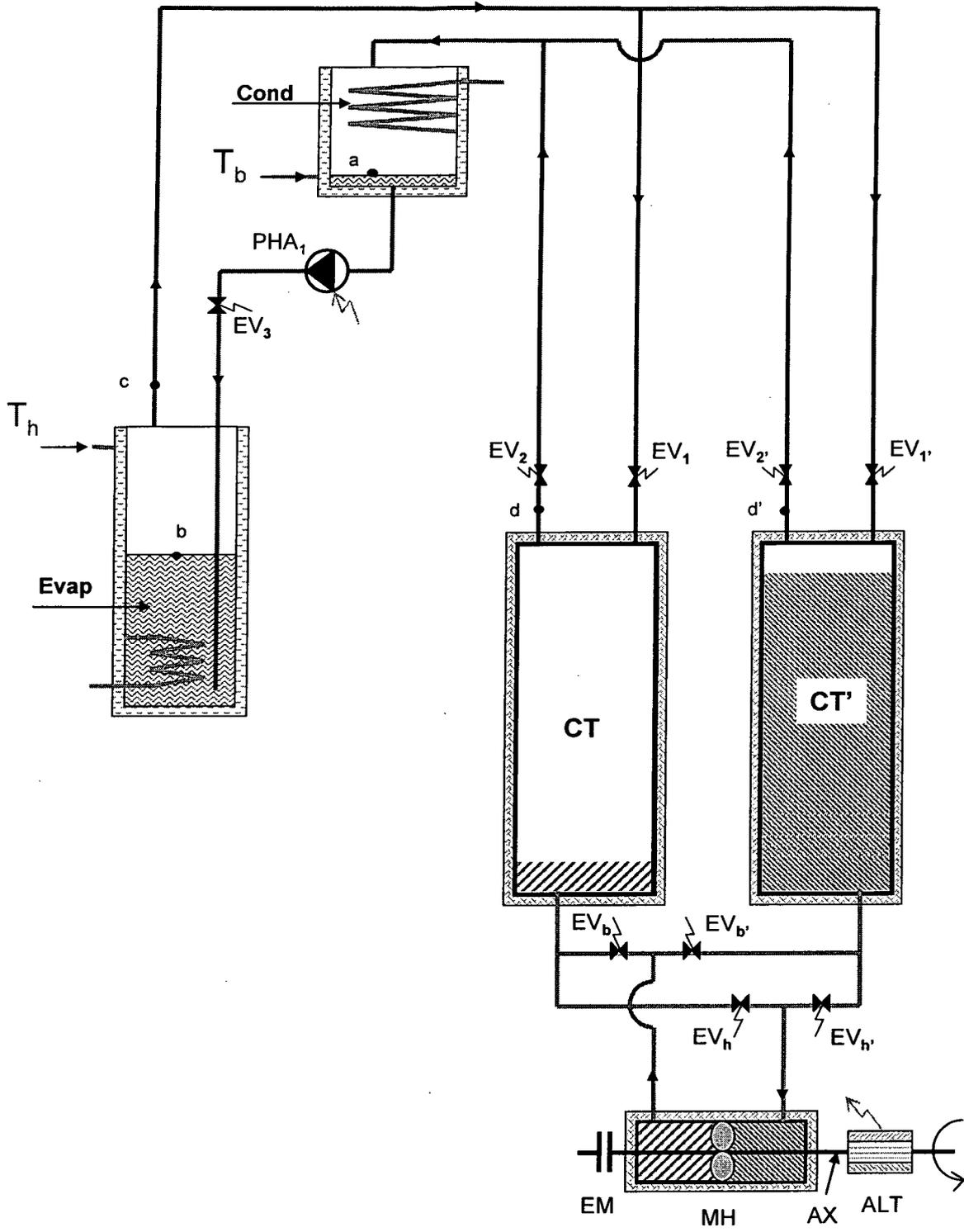


FIG. 7

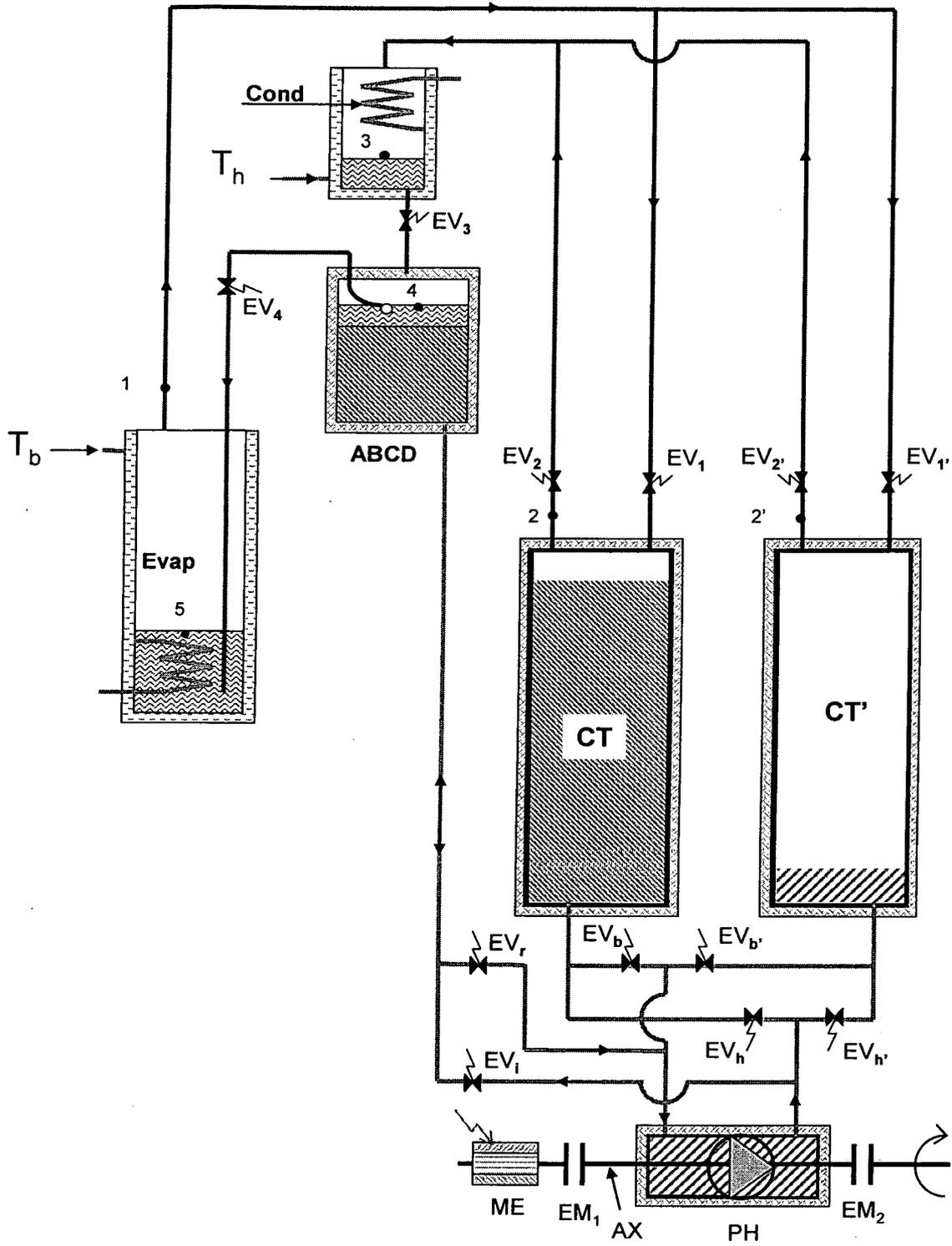


FIG. 9

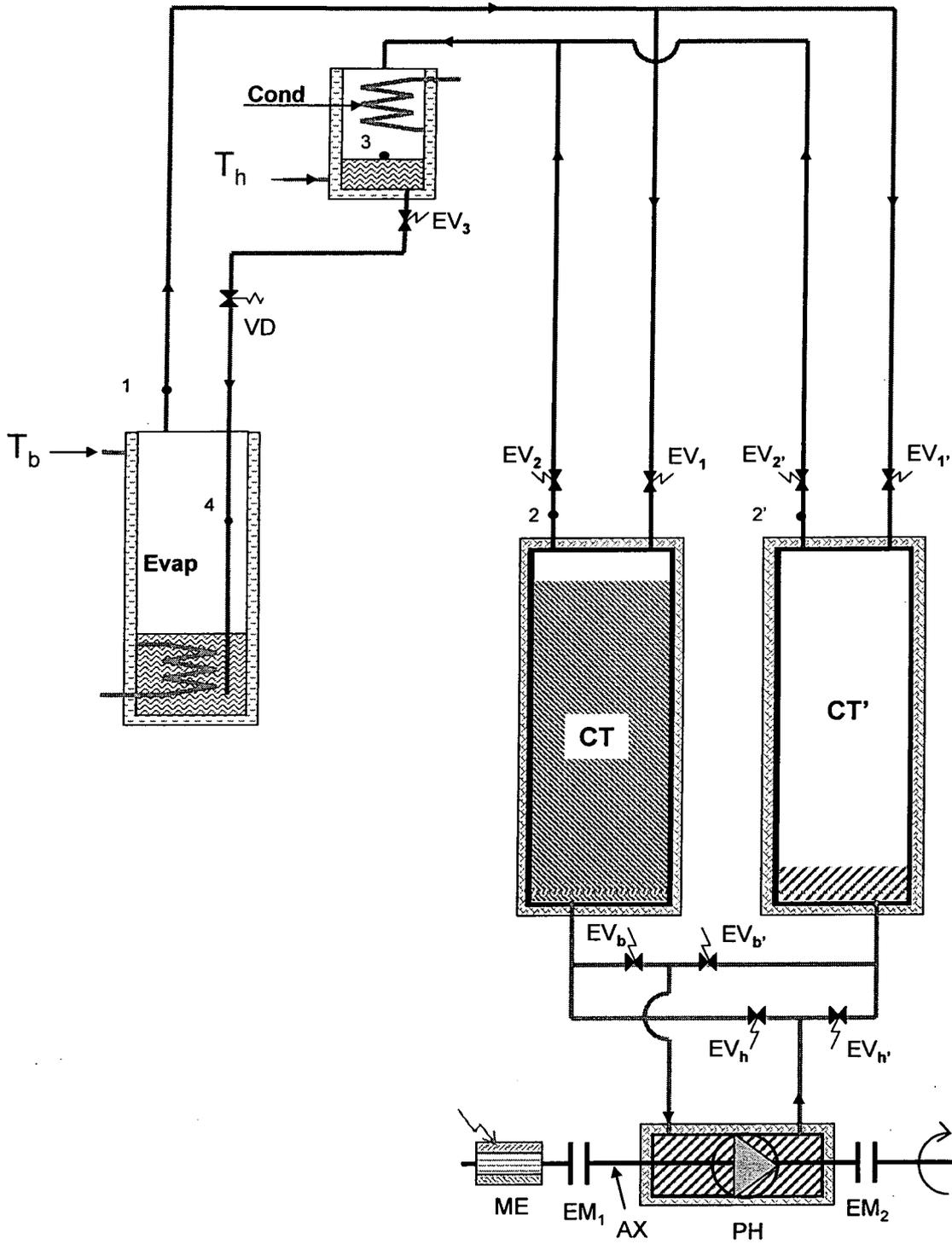


FIG. 8

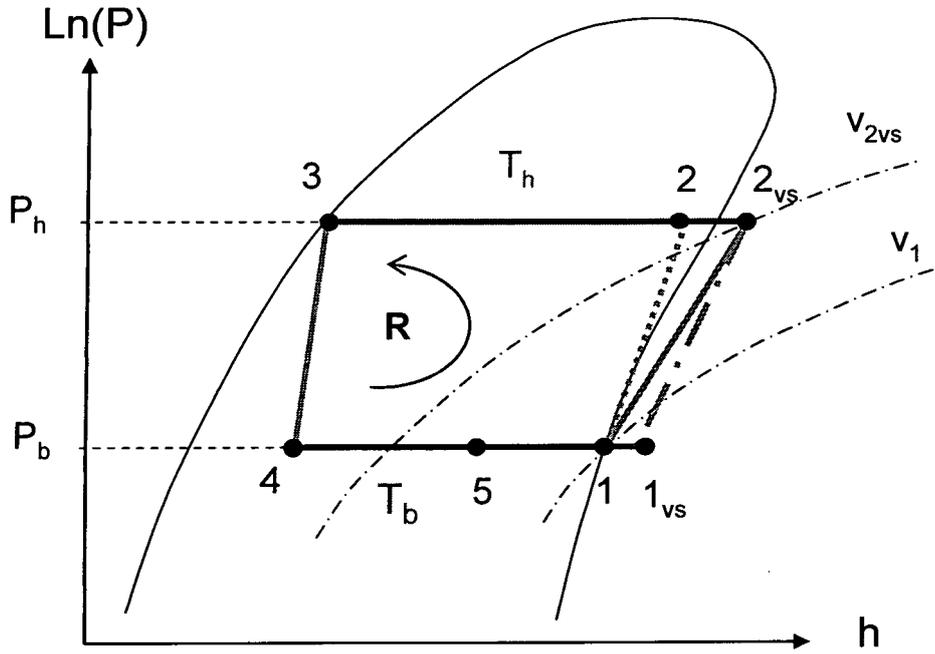


FIG. 10

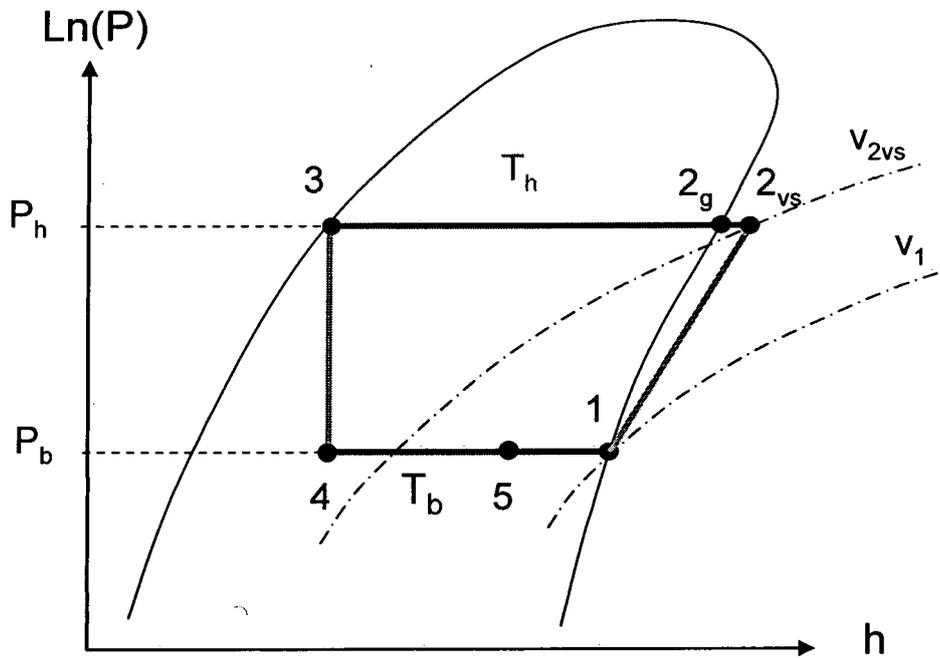


FIG. 11

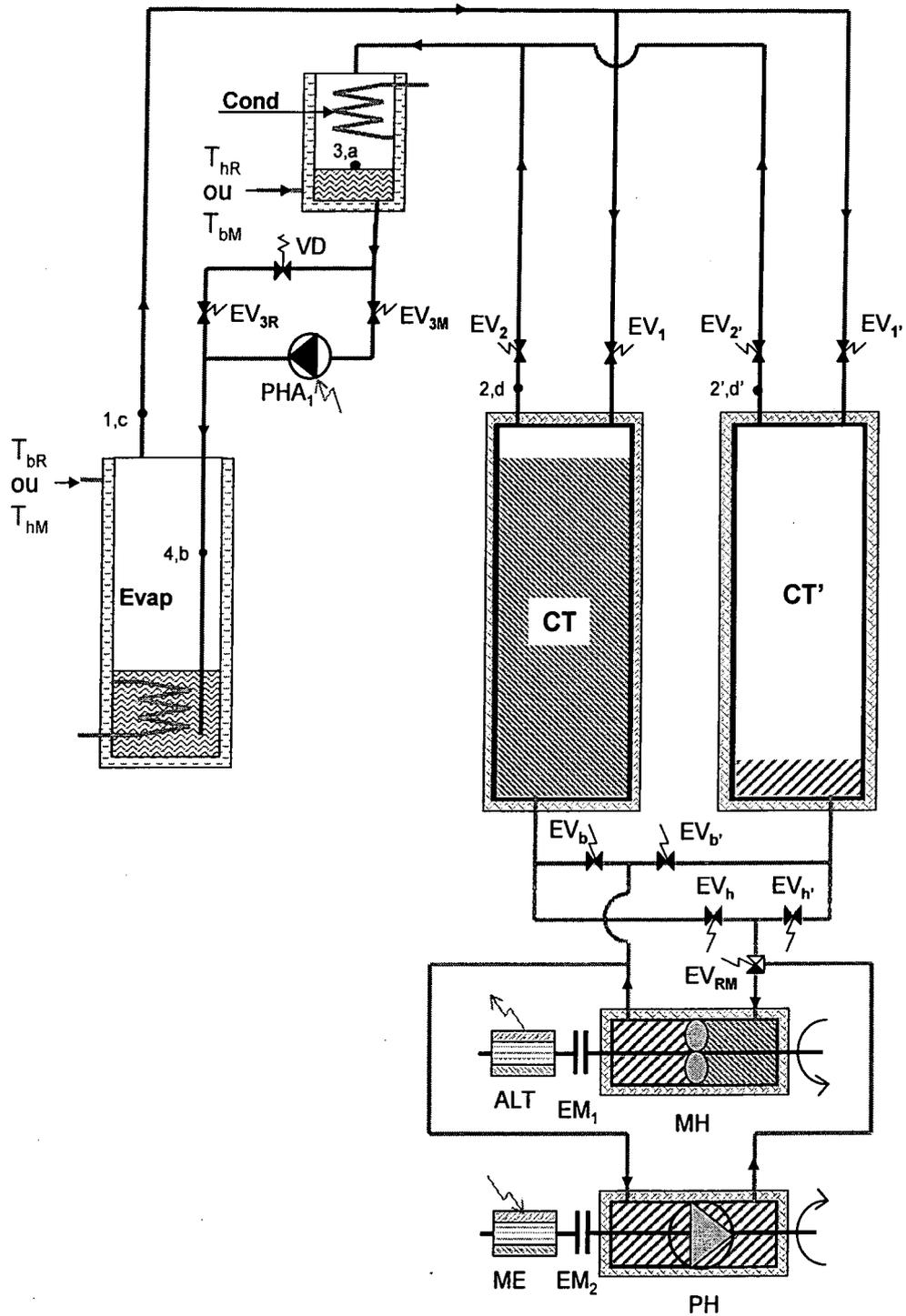


FIG. 12

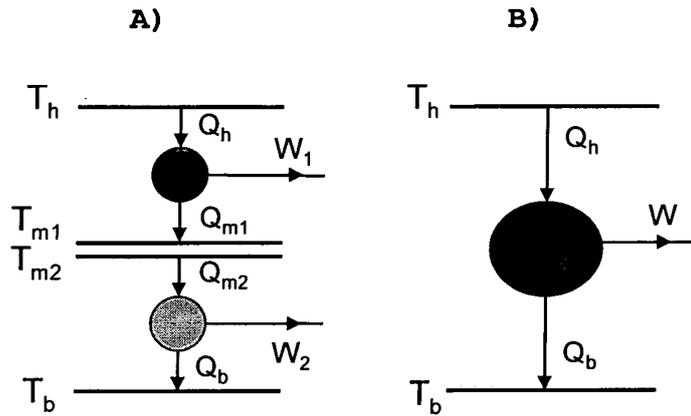


Fig. 13

Fig. 14

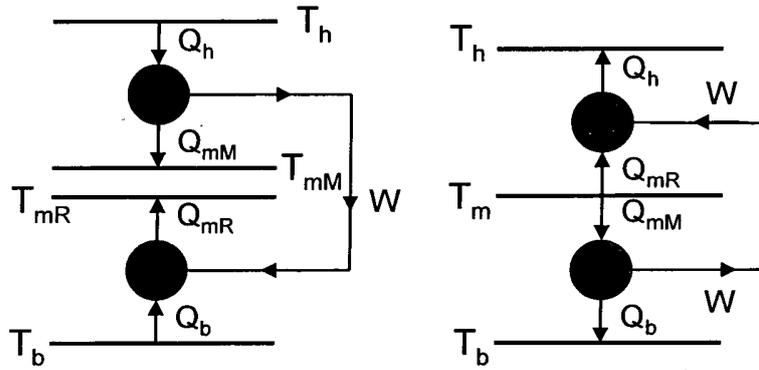


FIG. 15

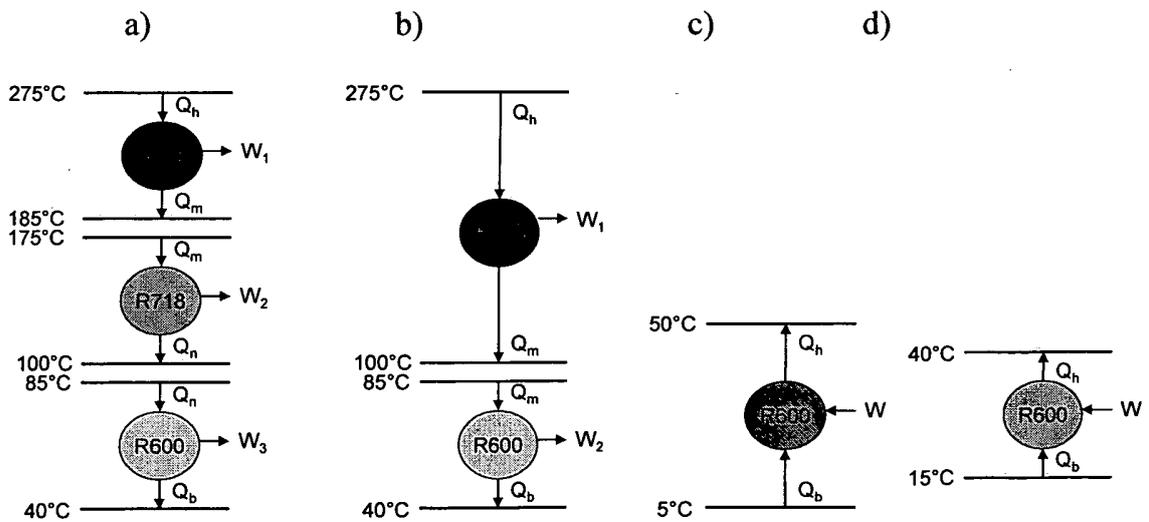


FIG. 15

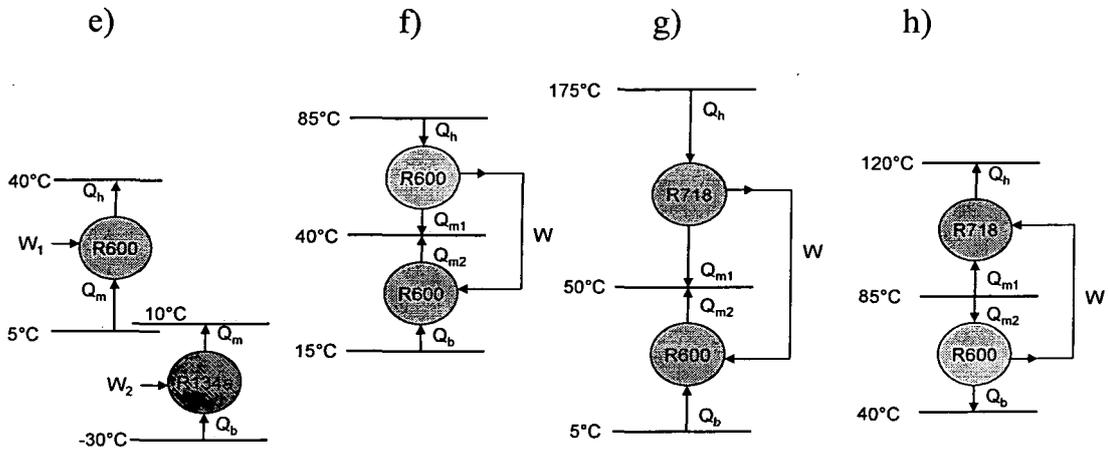


FIG. 16

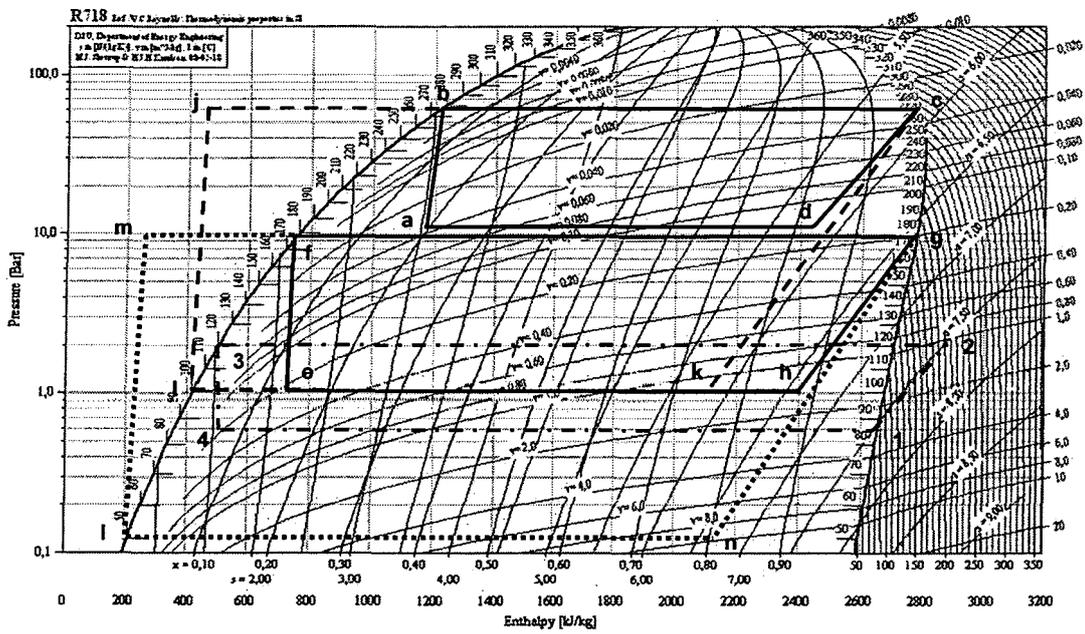


FIG. 17

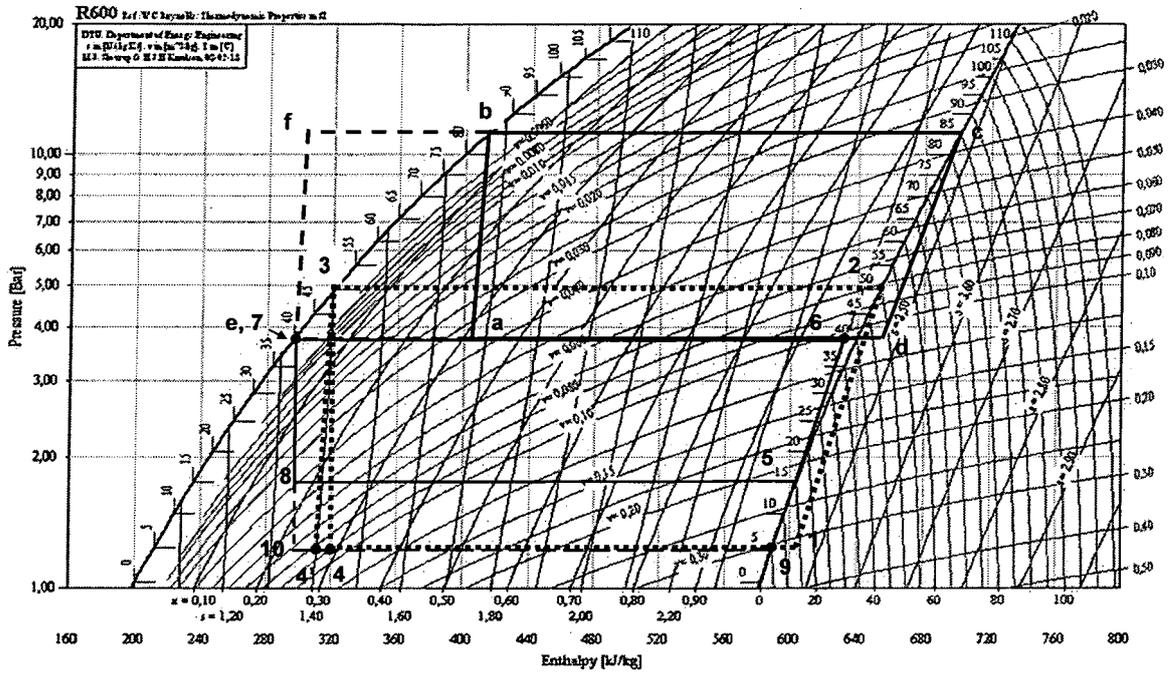
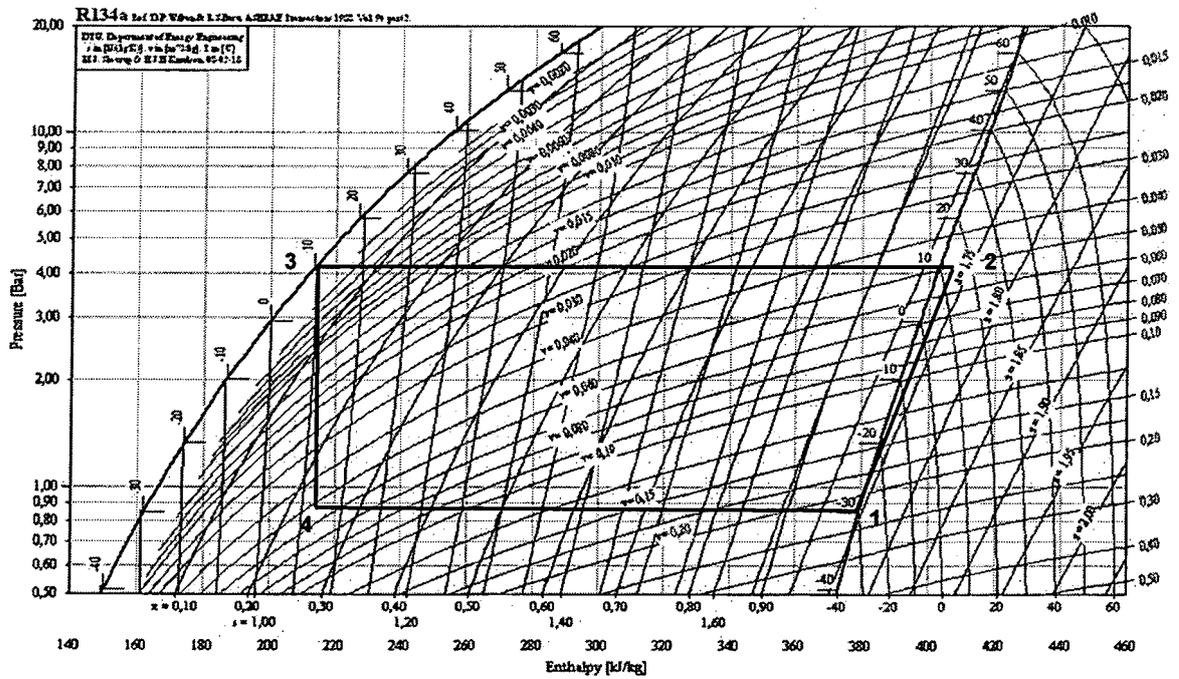


FIG. 18



RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- WO 9716629 A [0005]