

(19)



(11)

EP 4 826 223 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
21.10.2026 Bulletin 2026/43

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F01K 3/18 (2006.01) F01K 3/14 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **26168863.4**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
F01K 3/186; F01K 3/14

(22) Date de dépôt: **30.03.2026**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
GE KH LA MA MD TN

(30) Priorité: **03.04.2025 FR 2503479**

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

(72) Inventeurs:
• **TAUVERON, Nicolas**
38054 GRENOBLE Cedex 09 (FR)
• **PAYEBIEN, Benoît**
38054 GRENOBLE Cedex 09 (FR)
• **COLASSON, Stéphane**
38054 GRENOBLE Cedex 09 (FR)

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

(54) **BATTERIE DE CARNOT AVEC STOCKAGE DE CHALEUR DIRECT EN PARALLÈLE D'UN CYCLE MOTEUR**

(57) Batterie de Carnot avec stockage de chaleur direct en parallèle d'un cycle moteur L'invention concerne une Batterie de Carnot comprenant

- un module de conversion d'énergie électrique en énergie thermique chaude,
- un module de stockage d'énergie thermique (1003) chaude, et
- un cycle moteur (200) destiné à transformer de l'énergie thermique en électricité comprenant un circuit fluide moteur destiné à recevoir un fluide et compre-

nant un évaporateur (202) assurant un échange thermique avec une source chaude principale (6), une turbine (201) et un condenseur (204) assurant un échange thermique avec une source froide (5), caractérisée en ce que le module de stockage d'énergie thermique (1003) chaude est agencé en parallèle de l'évaporateur (202) du cycle moteur (200) de sorte à alimenter la turbine (201) en parallèle de l'évaporateur (202).

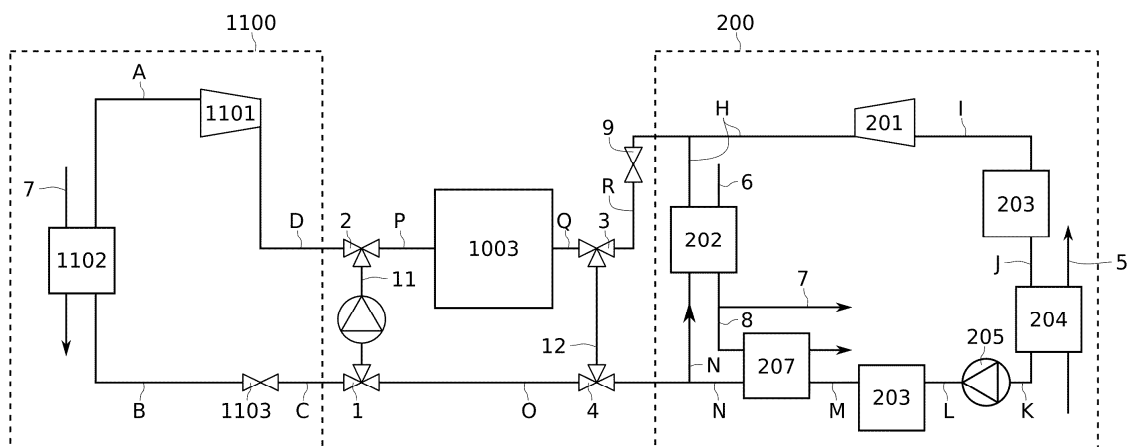


FIG. 1

EP 4 826 223 A1

Description**DOMAINE TECHNIQUE**

5 **[0001]** La présente invention concerne les batteries Carnot.

[0002] Elle appartient aux domaines techniques correspondants d'une part aux technologies de stockage d'électricité et d'autre part aux systèmes augmentant la flexibilité de centrales thermiques de production électrique.

10 **[0003]** Les applications potentielles sont le stockage d'électricité lié à une centrale thermique de production électrique. Une autre application liée aux précédentes est l'adjonction d'une batterie de Carnot à une centrale thermique de production d'électricité.

ETAT DE LA TECHNIQUE

15 **[0004]** Les batteries de Carnot (BC) reposent sur un stockage d'électricité sous forme de chaleur. Lorsqu'une BC stocke de l'électricité, elle la convertit en chaleur via un procédé de charge puis stocke la chaleur dans un module de stockage thermique. Ce procédé de charge peut typiquement être une résistance chauffante ou une pompe à chaleur (PAC), tous deux des convertisseurs d'électricité en chaleur. Lorsqu'il est demandé à la batterie de restituer l'électricité qu'elle a préalablement stockée, une décharge de l'énergie conservée dans le module de stockage thermique va s'opérer à l'aide d'un cycle moteur. Ce cycle moteur est un convertisseur symétrique au procédé de charge qui va, 20 cette fois-ci, convertir la chaleur en électricité. Le cycle moteur peut typiquement être un cycle organique ou non de Rankine (RC ou ORC) ou bien encore un cycle de Brayton. Ce type de BC est qualifié de batterie isolée ou « standalone » dans la littérature.

25 **[0005]** Les batteries de Carnot présentent plusieurs avantages : il s'agit premièrement d'une solution de stockage massif d'électricité. Comme toutes les technologies de stockage d'électricité, les BC peuvent également rendre des services au réseau, notamment en termes de stabilité et de flexibilité. D'autre part, elles ne présentent que peu de contraintes géographiques, car leur lieu d'implantation ne nécessite ni de vallée ni de cavité et ne génère pas de danger particulier dans son proche périmètre.

30 **[0006]** Cependant, les BC pâttissent de différentes limites à leur développement : cette technologie a des rendements de conversion relativement modestes de l'ordre de 30% à 60% d'après la littérature pour les BC isolées. En lien avec ce rendement modeste, la rentabilité économique de projets reposant sur les BC n'est pas toujours assurée. Enfin, les BC isolées pâttissent d'une réactivité limitée, inhérente au temps de montée en température du cycle moteur et des canalisations attenantes lors de l'amorçage de la phase de décharge.

[0007] Les BC peuvent être intégrées à travers différentes architectures à des centrales thermiques de production électrique.

35 **[0008]** Le concept des batteries de Carnot couplées repose sur une architecture comprenant une centrale thermique de production électrique couplée à une BC par le procédé de charge ainsi que par la partie stockage thermique. Ainsi, une partie du flux thermique de la centrale va, non plus être directement converti en électricité par le cycle moteur, mais temporairement stocké, et ce, sans subir d'élévation de température. Le cycle de charge est utilisé soit pour compenser une partie des pertes du stockage, soit pour augmenter la quantité d'énergie thermique stockée, mais 40 toujours à une température uniforme entre le stockage et la température de la source de chaleur de la centrale.

[0009] Le principal intérêt d'avoir réalisé ce couplage est le gain de flexibilité octroyé à la centrale. En effet, la centrale est en opération de manière continue et comme beaucoup de centrales thermiques, elle n'est que peu pilotable. Ce manque de flexibilité au regard de la forte variabilité de la demande en électricité peut occasionner des problèmes de stabilité à l'échelle du réseau. Ainsi, une BC couplée (BCC pour la suite du texte) permet lors des 45 phases de tension du réseau d'effacer une partie de la production électrique, en venant dévier une partie du flux thermique pour venir le stocker dans la BCC. Ensuite, lorsque le réseau nécessite de nouveau une augmentation de la production électrique, la BCC peut être déchargée via son cycle moteur, mutualisé avec la centrale thermique. Ainsi, lors de la phase de décharge, la centrale va fonctionner à son régime nominal, mais une décharge de chaleur additionnelle provenant de la BCC va s'opérer en parallèle dans le cycle moteur. Cette décharge de chaleur additionnelle issue de la BCC va occasionner un surplus de production électrique par rapport au régime nominal de la 50 centrale. Ainsi, une BC couplée à une centrale lui octroie un gain en flexibilité se matérialisant par une meilleure adéquation de la production électrique à la demande, via le jeu d'effacement puis de surplus de production électrique. Dans le cas des BCC, la modulation de puissance s'effectue donc sur une régulation du débit du flux thermique qui est envoyé au cycle moteur.

55 **[0010]** Une autre caractéristique importante des BCC est le fait que leur fonctionnement est corrélé à celui de la centrale thermique de production électrique. En effet, pour que la mutualisation du cycle moteur entre la BCC et la centrale soit réaliste, il est préférable que la puissance additionnelle de décharge octroyée par la BCC soit faible au regard de la production nominale de la centrale. Pour que la BCC puisse se charger et se décharger, la centrale

thermique doit être en fonctionnement.

[0011] Les autres intérêts à la réalisation de ce couplage résident principalement dans la mutualisation du cycle moteur. En effet, cette mutualisation permet premièrement de réduire grandement les coûts d'une BCC par rapport à une BC isolée. D'autre part, cette mutualisation permet également d'augmenter de manière significative la réactivité de la BC. En effet, à l'inverse des BC isolées, comme ici la centrale de production est en fonctionnement continu, le cycle moteur est toujours en fonctionnement. Ainsi, le cycle moteur étant toujours en température et toujours en fonctionnement, les effets liés à l'inertie du démarrage du cycle moteur ne pénalisent plus la BCC et donc permettent un gain de réactivité important. On peut noter également que les BCC permettent, grâce à leur meilleure réactivité, de faire du suivi de charge et de fréquence, en plus des autres services classiques que les technologies de stockage sont capables de rendre au réseau.

[0012] Les batteries de Carnot couplées possèdent une bien meilleure réactivité que les batteries isolées, ce qui permet donc de faire du suivi de charge ou de fréquence par exemple. Une diminution des coûts est également possible grâce à la mutualisation du cycle moteur. Enfin, les BC couplées sont capables d'atteindre des rendements de stockage meilleurs que pour les BC classiques et ce, sans avoir recours à des sources de chaleur additionnelles et externes.

[0013] Il existe le besoin de proposer des architectures de batteries de Carnot dont l'intégration au cycle moteur est optimisée pour améliorer les rendements et/ou la flexibilité du cycle moteur.

RESUME

[0014] Pour atteindre cet objectif, selon un mode de réalisation on prévoit une batterie de Carnot comprenant

- un module de conversion d'énergie électrique en énergie thermique chaude,
- un module de stockage d'énergie thermique chaude, et
- un cycle moteur destiné à transformer de l'énergie thermique en électricité comprenant un circuit fluide moteur destiné à recevoir un fluide et comprenant un évaporateur assurant un échange thermique avec une source chaude principale, une turbine et un condenseur assurant un échange thermique avec une source froide.

La batterie de Carnot étant caractérisée en ce que le module de stockage d'énergie thermique chaude est agencé en parallèle de l'évaporateur du cycle moteur de sorte à alimenter la turbine en parallèle de l'évaporateur.

[0015] Cette disposition permet un gain de rendement par rapport aux batteries de Carnot de l'état de la technique. La configuration étant exempte de circuit intermédiaire, l'architecture est plus simple. En outre, le cycle moteur peut fonctionner sans faire intervenir le module de stockage d'énergie thermique chaude.

[0016] Cette disposition permet d'un point de vue économique de se passer d'un circuit intermédiaire (avec tuyauterie, pompe, etc.) et d'un échangeur de chaleur, car le stockage agit lui-même comme un échangeur de chaleur. D'un point de vue énergétique, cela permet de supprimer un pincement, c'est-à-dire que la qualité de la chaleur transmise par le module de stockage sera supérieure en l'absence d'un circuit intermédiaire et d'un échangeur de chaleur supplémentaire qui dégradent la qualité du transfert thermique.

[0017] Selon un autre aspect, l'invention concerne un procédé de production d'énergie électrique comprenant une étape de décharge d'énergie thermique chaude dans laquelle la turbine est alimentée par le fluide en sortie de l'évaporateur du cycle moteur et par le fluide issu du module de stockage d'énergie thermique chaude et la détente du fluide moteur issu de l'évaporateur du cycle moteur et du fluide issu du module de stockage d'énergie thermique chaude dans la turbine du cycle moteur permettant la production d'électricité par une génératrice associée

[0018] Le procédé de déchargement de l'invention permet d'alimenter en parallèle la turbine sans faire dépendre le déstockage du module de stockage d'énergie thermique de l'évaporateur du cycle moteur. Cette phase de décharge permet donc d'augmenter le rendement de la turbine.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0019] Les buts, objets, ainsi que les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description détaillée d'un mode de réalisation de cette dernière qui est illustré par les dessins d'accompagnement suivants dans lesquels :

La figure 1 représente un schéma de principe de la batterie de Carnot selon l'invention.

La figure 2 représente un schéma de principe de la batterie de Carnot lors d'une phase stationnaire.

La figure 3 représente un schéma de principe de la batterie de Carnot lors d'une phase de charge.

La figure 4 représente un schéma de principe de la batterie de Carnot lors d'une phase de décharge.

La figure 5 représente un schéma de principe de la batterie de Carnot selon une variante de l'invention compre-

nant un éjecteur agencé dans le cycle moteur.

[0020] Les dessins sont donnés à titre d'exemples et ne sont pas limitatifs de l'invention. Ils constituent des représentations schématiques de principe destinées à faciliter la compréhension de l'invention et ne sont pas nécessairement à l'échelle des applications pratiques.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0021] Avant d'entamer une revue détaillée de modes de réalisation de l'invention, sont énoncées ci-après des caractéristiques optionnelles qui peuvent éventuellement être utilisées en association ou alternativement :

Selon un exemple, le module de conversion d'énergie électrique en énergie thermique chaude est une pompe à chaleur 1100 comprenant un circuit fluide de pompe à chaleur destiné à recevoir un fluide et comprenant un évaporateur 1102 alimenté par une source chaude secondaire 7, un compresseur 1101 et un détendeur 1110, le module de stockage étant agencé en série entre le compresseur (1101) et le détendeur 1103 de la pompe à chaleur 1100.

[0022] Selon un exemple, le module de conversion est une résistance chauffante.

[0023] Selon un exemple, le cycle moteur et la pompe à chaleur sont agencés en connexion fluide, le fluide du cycle moteur et le fluide de la pompe à chaleur sont un même fluide.

[0024] Selon un exemple, le module de stockage d'énergie thermique chaude est configuré pour assurer un stockage d'énergie thermique chaude par stockage d'énergie sensible.

[0025] Selon un exemple, le module de stockage d'énergie thermique chaude est configuré pour assurer un module de stockage d'énergie thermique chaude par stockage d'énergie thermochimique.

[0026] Selon un exemple, le module de stockage d'énergie thermique chaude est configuré pour assurer un module de stockage d'énergie thermique chaude par stockage d'énergie latente.

[0027] Selon un exemple, le module de stockage d'énergie thermique chaude 1003 comprend une cuve comprenant au moins un matériau à changement de phase (MCP) au travers duquel le fluide est apte à circuler.

[0028] Selon un exemple, la cuve est du type tubes - calandres contenant le MCP, le fluide circulant dans les tubes. Le module de stockage d'énergie thermique chaude 1003 est configuré pour assurer la condensation du fluide et le stockage d'énergie thermique et alternativement l'évaporation du fluide et le déstockage d'énergie thermique.

[0029] Selon un exemple, la Batterie de Carnot comprend un éjecteur 208 agencé sur le cycle moteur 200 en amont de la turbine 201 et en aval de l'évaporateur 202 et du module de stockage thermique chaud 1003.

[0030] Selon un exemple, la batterie de Carnot est configurée pour prendre

- une première configuration dite stationnaire dans laquelle le cycle moteur est en fonctionnement pour la production d'énergie électrique à partir d'énergie thermique, le module de stockage d'énergie thermique étant isolé du cycle moteur, c'est-à-dire que le module de stockage d'énergie thermique et le cycle moteur ne sont pas en connexion fluide, il n'y a pas de circulation de fluide entre le module de stockage d'énergie thermique et le cycle moteur, et le module de conversion n'étant pas en fonctionnement,
- une deuxième configuration dite de charge dans laquelle le cycle moteur est en fonctionnement pour la production d'énergie électrique à partir d'énergie thermique, le module de stockage d'énergie thermique étant isolé du cycle moteur, c'est-à-dire que le module de stockage d'énergie thermique et le cycle moteur ne sont pas en connexion fluide, il n'y a pas de circulation de fluide entre le module de stockage d'énergie thermique et le cycle moteur, et le module de conversion est en fonctionnement en connexion fluide en série avec le module de stockage d'énergie thermique, c'est-à-dire qu'il y a une circulation de fluide entre le module de stockage énergie thermique et le module de conversion
- une troisième configuration dite de décharge dans laquelle le cycle moteur est en fonctionnement pour la production d'énergie électrique à partir d'énergie thermique, et est en connexion fluide en parallèle avec le module de stockage d'énergie thermique, et le module de conversion n'étant pas en fonctionnement.

[0031] Selon un exemple, le fluide circule dans le cycle moteur et en parallèle de l'évaporateur 202 dans le module de stockage d'énergie thermique chaude 1003.

[0032] Selon un exemple, l'étape de production d'électricité par le cycle moteur 200 comprend

- un échange thermique dans l'évaporateur 202 du cycle moteur 200 entre la source de chaleur 6 principale et un fluide circulant dans le cycle moteur 200 pour assurer l'évaporation du fluide,
- une détente du fluide issu de l'évaporateur 202 et issu du module de stockage thermique dans la turbine du cycle moteur 200 permettant la production d'électricité par une génératrice associée,
- un échange thermique dans le condenseur 204 du cycle moteur 200 entre la source froide 5 et le fluide moteur

pour assurer la condensation du fluide moteur ;

[0033] Avantageusement, la pompe à chaleur n'étant pas en fonctionnement

[0034] Avantageusement, le procédé comprend un déstockage du fluide caloporteur du module de stockage 1003 vers le cycle moteur en amont de la turbine 201 et en parallèle d'un échange thermique dans l'évaporateur 202 du cycle moteur 200 entre la source chaude 6 principale et le fluide moteur permettant l'évaporation du fluide moteur.

[0035] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de charge comprenant

- la production d'électricité par le cycle moteur 200,
- la production d'énergie thermique chaude par le module de conversion,
- et le stockage de l'énergie thermique chaude produite par le module de conversion dans le module de stockage 1003 en connexion fluide en série avec le module de conversion.

[0036] Selon un exemple, l'étape de production d'électricité par cycle moteur 200 comprend

- un échange thermique dans l'évaporateur 202 du cycle moteur 200 entre la source de chaleur 6 principale et un fluide circulant dans le cycle moteur 200 pour assurer l'évaporation du fluide,
- une détente du fluide issu de l'évaporateur 202 dans la turbine du cycle moteur 200 permettant la production d'électricité par une génératrice associée,
- un échange thermique dans le condenseur 204 du cycle moteur 200 entre la source froide 5 et le fluide moteur pour assurer la condensation du fluide moteur.

[0037] Selon un exemple, la production d'énergie thermique chaude par le module de conversion comprend un échange thermique dans l'évaporateur 1102 de la pompe à chaleur 1100 entre la source de chaleur 7 secondaire issue de l'évaporateur 202 du cycle moteur 200 pour assurer l'évaporation du fluide.

[0038] Selon un exemple, le module de stockage thermique 1003 est configurée pour être traversé alternativement en mode charge par le fluide issu du module de conversion pour assurer le stockage de chaleur dans le module de stockage thermique 1003, et en mode décharge par le fluide issu du cycle moteur 200 destiné à être ensuite envoyé directement vers la turbine 201.

[0039] L'amont et l'aval, l'entrée, la sortie, en un point donné sont pris en référence au sens de circulation du fluide.

[0040] On entend par un paramètre "sensiblement égal/supérieur/inférieur à" ou "de l'ordre de" une valeur donnée, que ce paramètre est égal/supérieur/inférieur à la valeur donnée, à plus ou moins 10 % près, voire à plus ou moins 5 % près, de cette valeur.

[0041] Aux fins de la présente divulgation, l'expression « A et/ou B » signifie (A), (B) ou (A et B). Aux fins de la présente divulgation, l'expression "A, B et/ou C" signifie (A), (B), (C), (A et B), (A et C), (B et C), ou (A, B et C).

[0042] On entend par supercritique que la batterie de Carnot selon l'invention fonctionne à des niveaux de pression et température au-dessus du point critique du fluide de travail circulant.

[0043] On entend par transcritique que la batterie de Carnot selon l'invention fonctionne à des niveaux de pression et de température au-dessus et en dessous du point critique du fluide de travail circulant.

[0044] On entend par subcritique que la batterie de Carnot selon l'invention fonctionne à des niveaux de pression et de température au-dessous du point critique du fluide de travail circulant.

[0045] On entend par connecté fluidiquement ou en connexion fluide, lorsqu'une ligne assure une connexion par ou dans laquelle circule un fluide.

[0046] Dans la présente description, l'expression « A fluidiquement raccordé à B » est synonyme de « A est en connexion fluide avec B » et ne signifie pas nécessairement qu'il n'existe pas d'organe entre A et B. Les expressions « agencée sur » ou « sur » sont synonymes de « raccordé fluidiquement à ».

[0047] L'expression « A fluidiquement connecté à B » ou encore « A fluidiquement raccordé à B » est synonyme de « A est en connexion fluide avec B » et ne signifie pas nécessairement qu'il n'existe pas d'organe entre A et B. Ainsi ces expressions s'entendent d'une connexion fluide entre deux éléments, cette connexion pouvant ou non être directe. Cela signifie qu'il est possible qu'entre un premier élément et un deuxième élément qui sont fluidiquement connectés, un parcours d'un fluide existe par un ou des conduits ou connexions, éventuellement un organe supplémentaire.

[0048] A l'inverse, le terme « fluidiquement connecté directement » s'entend d'une connexion fluide directe entre deux éléments. Cela signifie qu'entre un premier élément et un deuxième élément qui sont fluidiquement connectés directement aucun autre élément n'est présent, autre qu'un conduit/connexion/canal ou plusieurs conduits/connexions/canaux.

[0049] On entend par chaud, froid, refroidi, une température relative par rapport à un autre point du système.

[0050] Les termes « premier », « deuxième » et « troisième », « additionnel », etc. sont utilisés simplement comme

des étiquettes, et ne sont pas destinés à imposer des exigences numériques sur leurs objets.

[0051] L'invention concerne une batterie de Carnot connectée à une centrale thermique, se basant sur un cycle moteur.

[0052] La batterie de Carnot selon l'invention comprend une centrale thermique de production d'électricité destinée à convertir de l'énergie thermique en électricité. Dans la présente demande, le terme centrale, centrale de production, centrale thermique sont utilisés de manière indifférenciée pour définir la centrale thermique de production d'électricité.

[0053] La centrale thermique peut-être de différents types. La centrale thermique comprend une source de chaleur principale 6 pouvant être de nature diverse par exemple issue de la géothermie, de la biomasse, des énergies fossiles, de l'énergie solaire, du nucléaire, de la chaleur fatale. La centrale thermique comprend un cycle moteur 200 permettant de transformer la source de chaleur principale 6 en énergie électrique. À titre d'exemple, la source de chaleur principale 6 présente une température comprise entre 80°C et 800°C.

[0054] La batterie de Carnot comprend ainsi un cycle moteur 200 destiné à transformer de l'énergie thermique, une source chaude principale 6, en électricité.

[0055] Le cycle moteur 200 comprend au moins un évaporateur 202, une turbine 201 et un condenseur 204.

[0056] Le cycle moteur 200 est par exemple un cycle de Brayton ou un cycle de Rankine ou un cycle organique de Rankine.

[0057] Le cycle moteur 200 comprend un circuit fluide recevant un fluide pouvant être dénommé fluide moteur et destiné à mettre en connexion fluide les différents composants du cycle moteur 200.

[0058] L'évaporateur 202 est configuré pour assurer un échange thermique entre le cycle moteur 200 et la source chaude principale 6. L'évaporateur 202 a pour fonction d'assurer l'évaporation du fluide grâce à l'apport d'énergie thermique chaude par la source chaude principale 6.

[0059] La turbine 201 du cycle moteur 200 est configurée pour assurer la détente du fluide pour assurer l'entraînement de la turbine 201. Avantageusement, la turbine 201 est associée à une génératrice. La génératrice est mise en mouvement par la turbine 201 lors de la détente du fluide et assure ainsi la production d'électricité.

[0060] À titre d'exemple, la turbine 201 est une turbomachine axiale. La présente invention reste fonctionnelle pour tout type de turbine de détente, que ce soit une turbomachine axiale, centripète ou mixte, une machine volumétrique de type scroll, à piston, à vis, etc.

[0061] Le condenseur 204 du cycle moteur 200 est configuré pour assurer un échange thermique entre le cycle moteur et une source froide 5. Le condenseur 204 a pour fonction d'assurer la condensation du fluide grâce à un refroidissement réalisé par l'apport d'énergie thermique froide par une source froide 5.

[0062] Avantageusement, le cycle moteur comprend une pompe 205 destinée à mettre en mouvement le fluide moteur dans le circuit fluide du cycle moteur.

[0063] Selon un mode de réalisation avantageux, le cycle moteur 200 comprend un premier récupérateur 203 agencé entre la sortie de la turbine 201 et la sortie de la pompe 205. Le premier récupérateur 203 est destiné à assurer un échange thermique entre le fluide en sortie de turbine 201 et le fluide moteur en sortie de pompe 205. Le fluide en sortie de turbine 201 cède l'énergie thermique au profit du fluide en sortie de la pompe 205 permettant un préchauffage du fluide avant son entrée dans l'évaporateur 202 et un refroidissement du fluide avant son entrée dans le condenseur 204.

[0064] Selon une possibilité préférée, le circuit fluide du cycle moteur 200 assure la mise en connexion fluide successivement de l'évaporateur 202 connecté fluidiquement, préférentiellement directement, à la turbine 201, puis la turbine 201 est connectée fluidiquement au condenseur 204, préférentiellement en passant par le premier récupérateur 203, puis le condenseur 204 est connecté fluidiquement, préférentiellement directement, à la pompe 205, puis la pompe 205 est connectée fluidiquement à l'évaporateur 202, préférentiellement en passant par le premier récupérateur de 203.

[0065] Selon un mode de réalisation illustré, le cycle moteur 200 comprend un préchauffeur 207 agencé en amont de l'évaporateur 202 de sorte à préchauffer le fluide circulant dans le circuit fluide avant son entrée dans l'évaporateur 202. Avantageusement, le préchauffeur 207 est un échangeur thermique assurant l'échange thermique entre le fluide circulant dans le circuit fluide du cycle moteur et la source chaude principale 6 issue de l'évaporateur 202, pouvant être dénommée alors source chaude secondaire 7. La source chaude principale 6 circule dans l'évaporateur 202 de sorte à assurer l'évaporation du fluide circulant dans l'évaporateur 202 puis la source chaude principale 6 issue de l'évaporateur 202, c'est-à-dire la source chaude secondaire 7, circule dans le préchauffeur 207 pour préchauffer le fluide circulant dans le préchauffeur 207 en amont de l'évaporateur 202. Cet agencement permet de tirer le plus grand parti de la source chaude principale 6.

[0066] Selon le mode de réalisation illustré, le cycle moteur 200 est un cycle organique de Rankine. À ce titre, le fluide moteur circulant dans le cycle moteur 200 est par exemple du cyclopentane.

[0067] Selon l'invention, la batterie de Carnot comprend un module de conversion d'énergie électrique en énergie thermique chaude. Le module de conversion peut également être dénommé module de conversion thermo-électrique.

[0068] Selon une possibilité, le module de conversion est par exemple une résistance chauffante. La résistance

chauffante est destinée à chauffer un fluide préférentiellement un fluide pouvant être dénommé fluide de stockage destiné à être stocké dans un module de stockage 1003.

[0069] Selon une autre possibilité, le module de conversion est une pompe à chaleur 1100 destinée à convertir de l'énergie électrique en énergie thermique chaude.

[0070] À titre d'exemple, la pompe à chaleur 1100 comprend un circuit destiné à recevoir un fluide et assurant la mise en connexion fluide des composants de la pompe à chaleur. La pompe à chaleur 1100 comprend un compresseur 1101, un organe de détente 1103 et un évaporateur 1102. L'organe de détente 1103 est connecté fluidiquement, préférentiellement directement, à l'évaporateur 1102, puis l'évaporateur 1102 au compresseur 1101, le compresseur 1101 est connecté fluidiquement, préférentiellement directement, à un condenseur, puis le condenseur est connecté fluidiquement, préférentiellement directement, à l'organe de détente 1103.

[0071] L'évaporateur 1102 est destiné à assurer un échange thermique entre une source chaude secondaire 7 et le fluide caloporteur de sorte à assurer l'évaporation du fluide.

[0072] La source chaude secondaire 7 est par exemple de l'eau dans un réseau d'eau, de l'eau d'une rivière, etc. À titre préféré, la température de la source chaude secondaire 7 est comprise entre 80 et 300°C.

[0073] Selon un mode de réalisation avantageux, la source chaude secondaire 7 est issue de la source chaude principale 6. Préférentiellement, la source chaude principale 6 issue de l'évaporateur 202 du cycle moteur 200 et avantageusement utilisée par l'évaporateur 1102 de la pompe à chaleur 1100. Dans le mode de réalisation où le cycle moteur 200 comprend un préchauffeur 207 utilisant également la source chaude principale 6 issue de l'évaporateur 202 du cycle moteur 200, c'est-à-dire la source chaude secondaire 7, un module d'alimentation en source chaude comprend alors une conduite d'alimentation en source chaude principale 6 de l'évaporateur 202 puis l'alimentation en parallèle par une conduite d'alimentation du préchauffeur 207 et par une conduite d'alimentation de l'évaporateur 1102.

[0074] À titre d'exemple, la pompe à chaleur 1100 fonctionne suivant un cycle subcritique. Le cycle de la pompe à chaleur 1100 peut également être transcritique ou supercritique relativement au fluide caloporteur considéré et aux niveaux de température souhaités. Tout type de fluide organique utilisable dans les ORC est envisageable (HFO, HFCO, HFE, hydrocarbures, siloxanes...) ainsi que des fluides classiques pour les cycles de Rankine : eau, CO₂, ammoniac. Les mélanges (azéotropiques ou zéotropiques) peuvent être considérés également. Des fluides avec nanoparticules ou fluides réactifs pourraient également être envisagés. À titre d'exemple, le fluide est le cyclopentane.

[0075] Le recours à une résistance chauffante comme module de conversion permet de simplifier le fonctionnement de la batterie de Carnot. Le cycle moteur lors de la charge se comporte suivant son fonctionnement nominal. L'utilisation d'une résistance chauffante en lieu et place d'une pompe à chaleur augmente la fiabilité de l'installation et réduit les opérations de maintenance.

[0076] Selon l'invention, la batterie de Carnot comprend un module de stockage thermique 1003. Le module de stockage thermique 1003 est destiné à stocker l'énergie thermique chaude, avantageusement produite par le module de conversion est notamment la pompe à chaleur et à pouvoir redistribuer l'énergie thermique au cycle moteur pour produire de l'électricité.

[0077] Selon l'invention, le module de stockage thermique 1003 est agencé en parallèle de l'évaporateur 202 du cycle moteur 200.

[0078] Selon l'invention, la batterie de Carnot comprend un circuit parallèle à l'évaporateur 202 du cycle moteur 200 sur lequel est agencé le module de stockage thermique 1003.

[0079] Avantageusement, cette disposition permet d'alimenter la turbine 201 simultanément par le fluide issu de l'évaporateur 202 et le fluide issu du module de stockage 1003.

[0080] Préférentiellement, le circuit parallèle à l'évaporateur 202 comprend une connexion fluide d'alimentation piquée, c'est-à-dire connectée fluidiquement, sur le cycle moteur 200 en amont de l'évaporateur 202, préférentiellement directement en amont de l'évaporateur 202, c'est-à-dire en aval du préchauffeur 207 si celui-ci est présent, et connecté fluidiquement à l'entrée du module de stockage thermique 1003. La connexion fluide d'alimentation permet d'alimenter le module de stockage thermique 1003 en fluide issu du cycle moteur 200. La connexion fluide d'alimentation est par exemple formée de plusieurs conduites ou connexions fluidiques et notamment telle qu'illustrée sur l'ensemble des figures par la connexion fluide O, la connexion fluide 11 et la connexion fluide P.

[0081] Préférentiellement, le circuit parallèle à l'évaporateur 202 comprend une connexion fluide de sortie issue du module de stockage thermique 1003, et plus précisément de sa sortie, et piquée, c'est-à-dire connectée fluidement sur le cycle moteur 200 en aval de l'évaporateur 202 et plus précisément en amont de la turbine 201. La connexion fluide de sortie permet de décharger le module de stockage thermique 1003 et d'alimenter la turbine 201 en fluide. La connexion fluide de sortie est par exemple formée de plusieurs conduites ou connexions fluidiques et notamment telle qu'illustrée sur l'ensemble des figures par la connexion fluide Q, et la connexion fluide R.

[0082] Selon une possibilité préférée, le circuit parallèle à l'évaporateur 202 comprend une pompe 1004 destinée à mettre en circulation le fluide dans le circuit parallèle à l'évaporateur 202, plus précisément entre l'amont de l'évaporateur 202 et l'aval de l'évaporateur 202, préférentiellement au travers des connexions fluidiques décrites ci-dessus et

du module de stockage d'énergie thermique 1003.

[0083] Avantageusement, le module de stockage thermique 1003 est configuré pour permettre l'alimentation de la turbine 201 en fluide à l'état vapeur qui peut être détendu par la turbine 201 et produire de l'électricité grâce à la génératrice associée.

[0084] Selon un autre aspect de l'invention, le module de stockage thermique 1003 est agencé en série avec le module de conversion. Dans le cas où le module de conversion est une résistance électrique, le fluide circule autour de la résistance thermique puis dans le module de stockage thermique 1103. Dans le cas où le module de conversion est une pompe à chaleur, le module de stockage thermique 1003 est agencé en série sur le circuit fluide de la pompe à chaleur 1100. Avantageusement, le module de stockage thermique 1003 est agencé en série en aval du compresseur 1101 et en amont du détendeur 1103. Selon cet aspect de l'invention, le circuit fluide de la pompe à chaleur 1100 comprend une pluralité de connexion fluide ou conduite fluide permettant la connexion fluide en série du module de stockage thermique 1003.

[0085] Avantageusement, le module de stockage thermique 1003 est configuré pour stocker l'énergie thermique produite par la pompe à chaleur 1100 et assurer la condensation du fluide issu du compresseur 1101 avant son entrée dans le détendeur 1103.

[0086] Selon l'invention, le cycle moteur 200 et la pompe à chaleur 1100 sont en connexion fluide par l'intermédiaire du module de stockage thermique 1003. Avantageusement, le fluide circulant dans le cycle moteur 200, dans la pompe à chaleur 1100 et dans le module de stockage d'énergie thermique 1003 est un seul et même fluide par exemple du cyclopentane.

[0087] Avantageusement le module de stockage thermique 1003 comprend ainsi un circuit de fluide et un noyau de stockage distinct du fluide destiné à stocker et déstocker l'énergie thermique par échange avec le fluide.

[0088] Selon un mode de réalisation préféré, le module de stockage thermique 1003 est configuré pour permettre un transfert diphasique direct entre le stockage et le fluide circulant.

[0089] Selon une possibilité, le module de stockage thermique est configuré pour un stockage thermique dit « sensible », c'est-à-dire par un matériau sans changement de phase tel que de l'eau, des sels fondus, des roches.

[0090] Selon une autre possibilité, le module de stockage thermique est configuré pour un stockage thermique dit thermochimique, c'est-à-dire qu'un matériau stocke de la chaleur par un jeu de réaction endothermique et exothermique tel que par exemple l'ammoniac, les hydrures...

[0091] Selon une autre possibilité, le module de stockage thermique est configuré pour un stockage thermique dit « latent », c'est-à-dire avec des matériaux à changement de phase (MCP) tels que l'eau, des paraffines, des métaux...

[0092] À titre préféré le module de stockage thermique comprend une cuve recevant un faisceau de tubes destiné à assurer la circulation du fluide. La cuve contient avantageusement un matériau de stockage de chaleur. A titre préféré, le module de stockage thermique 1003 présente une structure dite tubes-calandre comprenant un matériau à changement de phase (MCP). Cette architecture permet d'assurer la condensation et l'évaporation du fluide circulant sans présence de fluide d'intermédiaire.

[0093] Le module de stockage thermique 1003 est avantageusement configurée pour être traversé alternativement en mode charge par le fluide issu du module de conversion et notamment de la pompe à chaleur 1100 et jouant alors le rôle de condenseur du fluide pour assurer le stockage de chaleur dans le module de stockage thermique 1003, et en mode décharge par le fluide issu du cycle moteur 200 et jouant alors le rôle d'évaporateur du fluide destiné à être ensuite envoyé directement vers la turbine 201. À titre d'exemple, une structure telle que celle décrite dans le document FR3118149 B1 peut être utilisée.

[0094] Une structure alvéolaire de la calandre ménageant une circulation de fluide et un MCP assurant le stockage de la chaleur peut également être mise en œuvre. Le MCP est choisi en fonction du niveau de température de l'application. À titre d'exemple, pour un stockage thermique autour de 170°C, plusieurs familles de matériaux sont envisageables : MCP de type polymère, eutectiques de sels inorganiques, alcools gras... Par ailleurs, des structures type tubes et ailettes sont également possibles.

[0095] Suivant un aspect, la batterie de Carnot comprend un module de commande comprenant une pluralité de vannes 1, 2, 3, 4, 9, destinée à commander la circulation du fluide dans les circuits fluidiques et une pluralité de capteurs destinés à mesurer des paramètres prédéfinis sur les circuits fluidiques. Le fonctionnement de la batterie de Carnot comprend la mesure de paramètres prédéfinis sur les circuits fluidiques par des capteurs, la comparaison des mesures avec des valeurs prédéfinies et la mise en place les différentes phases de fonctionnement de la batterie.

[0096] L'architecture d'une batterie de Carnot selon un exemple de l'invention telle qu'illustrée à la figure 1 est détaillée ci-après.

[0097] Au niveau du cycle moteur 200, la source chaude principale 6 est connectée fluidiquement à l'évaporateur 202 du cycle moteur 200. La sortie de la source chaude principale 6 de l'évaporateur 202 est dénommée source chaude secondaire 7,8. La source chaude secondaire 7,8 issue de l'évaporateur 202 alimente l'évaporateur 1102 de la pompe à chaleur 1100 et avantageusement en parallèle le préchauffeur 207 du cycle moteur si celui-ci est présent.

[0098] Au niveau du cycle moteur 200, l'évaporateur 202 comprend une entrée et une sortie de fluide. La sortie de

fluide de l'évaporateur 202 est connectée fluidiquement, préférentiellement directement, à l'entrée de la turbine 201 par une connexion fluidique H. L'entrée de fluide dans l'évaporateur 202 est connectée fluidiquement au préchauffeur 207 s'il est présent par la connexion fluidique N.

[0099] La turbine 201 comprend une entrée et une sortie de fluide. La sortie de fluide de la turbine 201 est connectée fluidiquement à l'entrée du condenseur 204, préférentiellement la sortie de la turbine 201 est connectée fluidiquement directement à une première entrée du récupérateur 203 par la connexion fluidique I, une première sortie du récupérateur 203 étant connectée fluidiquement directement à l'entrée de fluide du condenseur 204 par la connexion fluidique J.

[0100] Le condenseur 204 comprend une entrée et une sortie de fluide moteur. La sortie de fluide moteur du condenseur 204 est connectée fluidiquement à la pompe 205 par la connexion fluidique K. La pompe 205 est ensuite connectée fluidiquement à une deuxième entrée du récupérateur 203 par la connexion fluidique L. Avantagusement, la deuxième sortie du récupérateur 203 est connectée fluidiquement au pré chauffeur 207 si celui-ci est présent par la connexion fluidique M ou directement à l'entrée de l'évaporateur 202 par la connexion fluidique M, N si celui-ci est absent. Le préchauffeur 207 est connecté fluidiquement à l'entrée de l'évaporateur 202 par la connexion fluidique N.

[0101] Le condenseur 204 comprend une entrée de source froide 5.

[0102] Au niveau de la pompe à chaleur 1100, l'évaporateur 1102 comprend une entrée et une sortie de source chaude secondaire 7, avantagusement issue de l'évaporateur 202. L'évaporateur 1102 comprend également une entrée et une sortie de fluide. La sortie de fluide de l'évaporateur 1102 est connectée fluidiquement, préférentiellement directement, à l'entrée du compresseur 1101 par une connexion fluidique A. L'entrée de fluide dans l'évaporateur 204 est quant à elle connectée fluidiquement au détendeur 1103 par la connexion fluidique B.

[0103] Le compresseur 1101 comprend une entrée et une sortie de fluide. La sortie de fluide du compresseur 1101 est connectée fluidiquement à l'entrée du module de stockage thermique 1003 par la connexion fluidique D et la connexion fluidique P.

[0104] Le module de stockage thermique 1003 comprend une entrée et une sortie de fluide. La sortie du module de stockage thermique 1003 est connectée fluidement, préférentiellement directement, à l'entrée du détendeur 1103. Cette connexion fluidique est avantagusement assurée par une pluralité de connexion fluidique : la connexion fluidique Q, la connexion fluidique 12, la connexion fluidique O et la connexion fluidique C. Le module de stockage thermique 1003 joue avantagusement le rôle de condenseur de la pompe à chaleur 1100 en assurant la condensation du fluide circulant en son sein et le stockage d'énergie thermique depuis le fluide vers le module de stockage thermique.

[0105] Le détendeur 1103 comprend une entrée et une sortie de fluide. La sortie du détendeur 1103 est connectée fluidiquement, préférentiellement directement, à l'entrée de l'évaporateur 1102.

[0106] Selon un mode de réalisation illustré à la figure 5, la batterie de Carnot selon l'invention peut comprendre un éjecteur 208. Un éjecteur est un composant simple, sans pièce mobile, et peu coûteux qui permettent de mélanger deux flux entrants, un premier fluide (le primaire) à haute pression et un 2^e fluide (le secondaire) à basse pression, pour produire un flux sortant à pression intermédiaire.

[0107] Avantagusement, l'éjecteur 208 est agencé en aval de l'évaporateur 202 et en aval du module de stockage d'énergie thermique 1003 et en amont de la turbine 201. L'entrée primaire de l'éjecteur 208 est connectée fluidiquement, préférentiellement directement, à la sortie du module de stockage d'énergie thermique 1003, l'entrée secondaire de l'éjecteur 208 est connectée fluidiquement, préférentiellement directement, à la sortie de l'évaporateur 202 et la sortie de l'éjecteur 208 est connectée fluidement, préférentiellement directement, à l'entrée de la turbine 201. Préférentiellement, un premier flux entrant l'éjecteur 208 et le fluide issu de l'évaporateur de 102 et le 2^e flux entrant dans l'éjecteur 208 est le fluide issu du module de stockage d'énergie thermique 1003. Le flux sortant de l'éjecteur 208 alimente, préférentiellement directement, la turbine 201.

[0108] La batterie de Carnot selon l'invention fonctionne suivant 3 phases dont une phase stationnaire correspondant au fonctionnement de transformation de l'énergie thermique en énergie électrique, une phase de charge correspondant au fonctionnement pour stocker de l'énergie thermique et une phase de décharge correspondant au fonctionnement pour déstocker l'énergie thermique.

[0109] En phase stationnaire, la batterie de Carnot selon l'invention fonctionne telle qu'illustrée à la figure 2 ci-après détaillée.

[0110] L'alimentation en source chaude principale 6, le cycle moteur 200 et l'alimentation en source froide 5 du condenseur 204 sont actifs en phase stationnaire. On entend par actif qu'une circulation de fluide est réalisée. En phase stationnaire, la pompe à chaleur 1100 et le module de stockage 1003 ne sont pas actifs, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de circulation de fluide.

[0111] La phase stationnaire va être décrite ci-après d'un point de vue fonctionnement.

[0112] La source chaude principale 6 alimente l'évaporateur 202 du cycle moteur 200.

[0113] La source chaude principale 6 entre dans l'évaporateur 202 à une température supérieure à sa température en sortie de l'évaporateur 202. La source chaude principale 6 transfère son énergie thermique au cycle moteur 200 au

travers de l'évaporateur 202. Le cycle moteur 200 permet la production d'énergie électrique par sa turbine 201 associée à la génératrice. Le condenseur 204 est alimenté par la source froide 5 issue de l'environnement. En amont de l'évaporateur 202, la circulation dans le circuit parallèle du module de stockage thermique 1003 est bloquée. Avantageusement, une vanne trois voies 4 est dans une configuration dite stationnaire, empêchant la circulation du

fluide depuis le pré chauffeur 207 vers le circuit parallèle, plus précisément vers le module de stockage thermique 1003. La turbine 201 est alimentée uniquement par le fluide à l'état de vapeur issue de l'évaporateur 202. Selon une possibilité, la ou les vannes 3, 9 sont dans une configuration dite stationnaire bloquant la connexion fluide entre le module de stockage thermique 1003 et la turbine 201.

[0114] La pompe à chaleur 1100 n'est pas en fonctionnement, il n'y a pas de production de chaleur ni de stockage de chaleur dans le module de stockage 1003. Il n'y a pas de déstockage de chaleur depuis le module de stockage 1003. La phase stationnaire est un mode de fonctionnement correspondant à une simple conversion d'énergie.

[0115] La phase de charge de la batterie de Carnot est destinée à la conversion d'électricité depuis une source chaude secondaire 7 via la pompe à chaleur 1100.

[0116] En phase de charge, la batterie de Carnot selon l'invention est illustrée à la figure 3 ci-après détaillée.

[0117] En phase de charge, le fonctionnement de la batterie de Carnot selon l'invention est identique au fonctionnement en phase stationnaire avec en plus le fonctionnement de la pompe à chaleur 1100 qui permet le stockage de l'énergie électrique sous forme d'énergie thermique chaude dans le module de stockage d'énergie thermique 1003. Cette phase de charge est mise en œuvre lorsqu'il y a un surplus d'énergie électrique par rapport à la demande sur le réseau. La batterie de Carnot selon l'invention permet ainsi de stocker l'énergie électrique en surplus sous forme d'énergie thermique chaude dans le module de stockage d'énergie thermique 1003.

[0118] Au niveau du cycle moteur 200, la circulation du fluide est identique à ce qui est décrit en référence à la phase stationnaire et à la figure 2.

[0119] Au niveau de la pompe à chaleur 1100, la circulation du fluide se fait successivement au travers de l'évaporateur 1102, du compresseur 1101, du module de stockage thermique 1003, et du détendeur 1103.

[0120] Avantageusement, la source chaude principale 6 ayant traversée l'évaporateur 202 alimente en parallèle en tant que source chaude secondaire 7 d'évaporateurs 1102 de la pompe à chaleur 1100 et le préchauffeur 207 du cycle moteur 200.

[0121] Le module de stockage thermique 1003 est en connexion fluide en série sur le circuit fluide de la pompe à chaleur 1100. Le module de stockage 1103 est isolé fluidiquement du cycle moteur 200. Les vannes trois voies 1, 2, 3, 4 sont configurés pour permettre la circulation du fluide depuis le circuit fluide de la pompe à chaleur 1100 vers le module de stockage thermique 1003 pour permettre la circulation du fluide vers cycle moteur 200. Avantageusement, le fluide circule dans la connexion fluide 12 permettant l'intégration du module de stockage thermique 1003 en série sur le circuit fluide de la pompe à chaleur 1100 et l'isolation du module de stockage thermique 1003 du cycle moteur 200.

[0122] La phase de décharge de la batterie de Carnot est destinée au déstockage de la chaleur préalablement stockée vers le cycle moteur.

[0123] En phase de décharge, la batterie de Carnot selon l'invention est illustrée à la figure 4 ci-après détaillée.

[0124] L'alimentation en source chaude principale 6 de l'évaporateur 202, le cycle moteur 200, l'alimentation en source froide 5 du condenseur 204 et le module de stockage d'énergie thermique 1003 sont actifs en phase de décharge. On entend par actif qu'une circulation de fluide est réalisée. La pompe à chaleur 1100 n'est pas active, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de circulation de fluide.

[0125] En phase de décharge, le fonctionnement de la batterie de Carnot selon l'invention est identique au fonctionnement en phase stationnaire avec en plus le fonctionnement du circuit parallèle et du module de stockage d'énergie thermique 1003 qui permet le déstockage de l'énergie thermique chaude stockée dans le module de stockage 1003 vers le cycle moteur 200.

[0126] Au niveau du cycle moteur 200, la circulation du fluide des identiques à ce qui a été décrit en référence à la phase stationnaire et à la figure 2.

[0127] En phase de décharge, le fluide circule en parallèle de l'évaporateur 202 dans le module de stockage thermique 1003. En sortie du pré chauffeur 207, s'il est présent, le fluide circule en parallèle dans la connexion fluide N alimentant l'entrée de l'évaporateur 202 et les connexions fluidiques O, 11, P alimentant l'entrée du module de stockage d'énergie thermique 1003. En aval de l'évaporateur 202, le fluide à l'état de vapeur ressort de l'évaporateur 202 par la connexion fluide H pour alimenter la turbine 201, en parallèle le fluide à l'état de vapeur ressort du module de stockage d'énergie thermique 1003 par la connexion fluide Q et la connexion fluide R pour alimenter également la turbine 201. Le flux de fluide alimentant la turbine 201 issu de l'évaporateur 202 est ainsi complété par le flux de fluide issu du module de stockage d'énergie thermique augmentant ainsi le flux de fluide alimentant la turbine 201 augmentant la production d'énergie électrique par la génératrice associée.

Exemple

[0128] La configuration selon la figure 1 a été simulée sous le logiciel EES (Engineering Equations Solver) et le logiciel ECHTHERM de l'association GRETH.

[0129] L'application industrielle correspond à une usine ayant des besoins électriques (alimentation d'un électrolyseur) ainsi que des flux de chaleur fatale (des fumées à une température supérieure à 300°C dont les calories sont récupérées par une boucle intermédiaire fonctionnant à 200°C avec une huile thermique (« Therminol 66 »)). De telles températures impliquent une utilisation d'un cycle moteur de type ORC pour valoriser en électricité la chaleur fatale. Par ailleurs, des panneaux photovoltaïques assurent une partie de la couverture des besoins électriques, mais un besoin de stockage existe du fait de l'intermittence journalière et saisonnière.

[0130] Le cycle moteur de type ORC est classique, comportant un récupérateur 203, un préchauffeur 207 et un évaporateur 202. Les rendements des composants ont été considérés comme constants et sont issus de la littérature. Les valeurs adoptées pour le rendement sont données dans le tableau ci-après. On notera que l'on a supposé un débit de fluide de travail d'1kg/s. Le fluide considéré est le cyclopentane.

[0131] Les valeurs adoptées pour le rendement sont données ci-après

Turbine 201 isentropique : 0,85

Pression en sortie de pompe 205 : 11,7 bars.

[0132] Les pertes lors du stockage ont été négligées et les durées de charge et de décharge sont prises identiques.

[0133] Les performances qui en découlent sont les suivantes. On notera le rendement intéressant de l'ORC de presque 20%.

[0134] Le coefficient de performance résultant est élevé (autour de 5,5 ; le COP Carnot est de 8,3), les températures d'évaporation (130 °C) et de condensation (185°C) sont proches.

[0135] Le module de stockage d'énergie thermique 1003 fonctionne autour de 170 °C; sa charge se fait avec le cyclopentane à 185 °C et la décharge avec le cyclopentane à 155 °C

[0136] Les performances d'une batterie de Carnot selon l'invention sont données ci-après :

Puissance nominale du cycle moteur	96 kWe
Puissance de charge de la PAC	21 kWe / 117 kWth vers le module de stockage
Puissance du cycle moteur en charge	~96 kWe
Puissance de la batterie de Carnot en charge	~75 kWe
Puissance du cycle moteur en décharge	~133 kWe // 117 kWth depuis le module de stockage

[0137] On remarque à la fois, la grande flexibilité de la batterie de Carnot, passant de 75 kWe à 133 kWe (augmentation de 75 %) et une très bonne « restitution » de l'énergie électrique.

[0138] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisations précédemment décrits et s'étend à tous les modes de réalisation couverts par l'invention.

Liste des références**[0139]**

1. Vannes trois voies
2. Vannes trois voies
3. Vannes trois voies
4. Vannes trois voies
5. Source froide
6. Source chaude principale
7. Source chaude secondaire
8. Source chaude secondaire
9. Vannes deux voies
11. Connexion fluidique
12. Connexion fluidique
1003. Module de stockage d'énergie thermique
1004. Pompe
1100. Pompe à chaleur

- 1101. Compresseur
- 1103. Détendeur
- 200. Cycle moteur
- 201. Turbine
- 5 202. Évaporateur
- 203. Récupérateur
- 204. Condenseur
- 205. Pompe
- 207. Préchauffeur
- 10 208. Éjecteur
- A. Connexion fluidique entre le compresseur de la pompe à chaleur et l'évaporateur de la pompe à chaleur
- B. Connexion fluidique entre l'évaporateur de la pompe à chaleur et le détendeur de la pompe à chaleur
- C. Connexion fluidique entre une vanne trois voies et le détendeur de la pompe à chaleur
- D. Connexion fluidique entre le compresseur de la pompe à chaleur et une vanne 2
- 15 H. Connexion fluidique entre l'évaporateur du cycle moteur et la turbine
- I. connexion fluidique entre la turbine et le récupérateur du cycle moteur
- J. Connexion fluidique entre le récupérateur du cycle moteur et le condenseur du cycle moteur
- K. Connexion fluidique entre le condenseur du cycle moteur et la pompe du cycle moteur
- L. Connexion fluidique entre la pompe du cycle moteur et le récupérateur du cycle moteur
- 20 M. Connexion fluidique entre le récupérateur du cycle moteur et le préchauffeur
- N. Connexion fluidique entre le pré chauffeur et l'évaporateur du cycle moteur
- O. Connexion fluidique entre une vanne trois voies 4 et une vanne trois voies 1
- P. Connexion fluidique entre une vanne trois voies 2 et l'entrée du module de stockage thermique chaud
- Q. Connexion fluidique entre la sortie du module de stockage thermique chaud et une vanne trois voies
- 25 R. Connexion fluidique entre une vanne trois voies et une vanne deux voies.

Revendications

1. Batterie de Carnot comprenant
 - un module de conversion d'énergie électrique en énergie thermique chaude,
 - un module de stockage d'énergie thermique (1003) chaude, et
 - un cycle moteur (200) destiné à transformer de l'énergie thermique en électricité comprenant un circuit
 fluide moteur destiné à recevoir un fluide et comprenant un évaporateur (202) assurant un échange
 thermique avec une source chaude principale (6), une turbine (201) et un condenseur (204) assurant un
 échange thermique avec une source froide (5),

caractérisée en ce que le module de stockage d'énergie thermique (1003) chaude est agencé en parallèle
 de l'évaporateur (202) du cycle moteur (200) de sorte à alimenter la turbine (201) en parallèle de l'évapora-
 teur (202) et que

 la batterie de Carnot comprend un circuit parallèle à l'évaporateur (202) du cycle moteur (200) sur lequel est
 agencé le module de stockage thermique (1003), le circuit parallèle
 comprenant une connexion fluidique d'alimentation connectée fluidiquement sur le cycle moteur (200) en
 amont de l'évaporateur (202) et connectée fluidiquement à l'entrée du module de stockage thermique (1003)
 et une connexion fluidique de sortie issue du module de stockage thermique (1003), connectée fluidement sur
 le cycle moteur (200) en aval de l'évaporateur (202) et en amont de la turbine (201).
2. Batterie de Carnot selon la revendication précédente dans laquelle le module de conversion d'énergie électrique
 en énergie thermique chaude est une pompe à chaleur (1100) comprenant un circuit fluide de pompe à chaleur
 destiné à recevoir un fluide et comprenant un évaporateur (1102) alimenté par une source chaude secondaire (7),
 un compresseur (1101) et un détendeur (1110), le module de stockage étant agencé en série entre le compres-
 seur (1101) et le détendeur (1103) de la pompe à chaleur (1100).
3. Batterie de Carnot selon la revendication précédente dans laquelle le cycle moteur et la pompe à chaleur sont
 agencés en connexion fluidique, le fluide du cycle moteur et le fluide de la pompe à chaleur sont un même fluide.
4. Batterie de Carnot selon l'une quelconque des revendications précédentes dans laquelle le module de stockage
 d'énergie thermique chaude (1003) comprend une cuve comprenant au moins un matériau à changement de
 phase (MCP) au travers duquel le fluide est apte à circuler.

5. Batterie de Carnot selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant un éjecteur (208) agencé sur le cycle moteur (200) en amont de la turbine (201) et en aval de l'évaporateur (202) et du module de stockage thermique chaud (1003).

6. Procédé de production d'énergie électrique par une batterie de Carnot selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant une étape de décharge d'énergie thermique chaude dans laquelle la turbine (201) est alimentée par le fluide en sortie de l'évaporateur (202) du cycle moteur (200) et par le fluide issu du module de stockage d'énergie thermique chaude (1003) et la détente du fluide moteur issu de l'évaporateur (202) du cycle moteur (200) et du fluide issu du module de stockage d'énergie thermique chaude (1003) dans la turbine (201) du cycle moteur (200) permettant la production d'électricité par une génératrice associée, le fluide circulant dans le cycle moteur et en parallèle de l'évaporateur (202) dans le module de stockage d'énergie thermique chaude (1003) par la connexion fluidique d'alimentation connectée fluidiquement sur le cycle moteur (1200) en amont de l'évaporateur 202 et à l'entrée du module de stockage thermique (1003) puis dans la connexion fluidique de sortie issue du module de stockage thermique (1003), connectée fluidement sur le cycle moteur (200) en aval de l'évaporateur (202) et en amont de la turbine (201).

7. Procédé de production d'énergie électrique selon la revendication précédente dans lequel l'étape de production d'électricité par le cycle moteur (200) comprend

- un échange thermique dans l'évaporateur (202) du cycle moteur (200) entre la source de chaleur (6) principale et un fluide circulant dans le cycle moteur (200) pour assurer l'évaporation du fluide,
- une détente du fluide issu de l'évaporateur (202) et issu du module de stockage thermique dans la turbine du cycle moteur (200) permettant la production d'électricité par une génératrice associée,
- un échange thermique dans le condenseur (204) du cycle moteur (200) entre la source froide (5) et le fluide moteur pour assurer la condensation du fluide moteur.

8. Procédé de production d'énergie électrique par une batterie de Carnot selon l'une quelconque des deux revendications précédentes comprenant une étape de charge comprenant

- la production d'électricité par le cycle moteur (200),
- la production d'énergie thermique chaude par le module de conversion,
- et le stockage de l'énergie thermique chaude produite par le module de conversion dans le module de stockage (1003) en connexion fluidique en série avec le module de conversion.

9. Procédé de production d'énergie électrique selon la revendication précédente dans lequel l'étape de production d'électricité par cycle moteur (200) comprend

- un échange thermique dans l'évaporateur (202) du cycle moteur (200) entre la source de chaleur (6) principale et un fluide circulant dans le cycle moteur (200) pour assurer l'évaporation du fluide,
- une détente du fluide issu de l'évaporateur (202) dans la turbine du cycle moteur (200) permettant la production d'électricité par une génératrice associée,
- un échange thermique dans le condenseur (204) du cycle moteur (200) entre la source froide (5) et le fluide moteur pour assurer la condensation du fluide moteur.

10. Procédé de production d'énergie électrique selon la revendication précédente dans lequel la production d'énergie thermique chaude par le module de conversion comprend

- un échange thermique dans l'évaporateur (1102) de la pompe à chaleur (1100) entre la source de chaleur (7) secondaire issue de l'évaporateur (202) du cycle moteur (200) pour assurer l'évaporation du fluide.

11. Procédé de production d'énergie électrique selon l'une quelconque des cinq revendications précédentes dans lequel le module de stockage thermique (1003) est configurée pour être traversé alternativement en mode charge par le fluide issu du module de conversion pour assurer le stockage de chaleur dans le module de stockage thermique (1003), et en mode décharge par le fluide issu du cycle moteur (200) destiné à être ensuite envoyé directement vers la turbine (201).

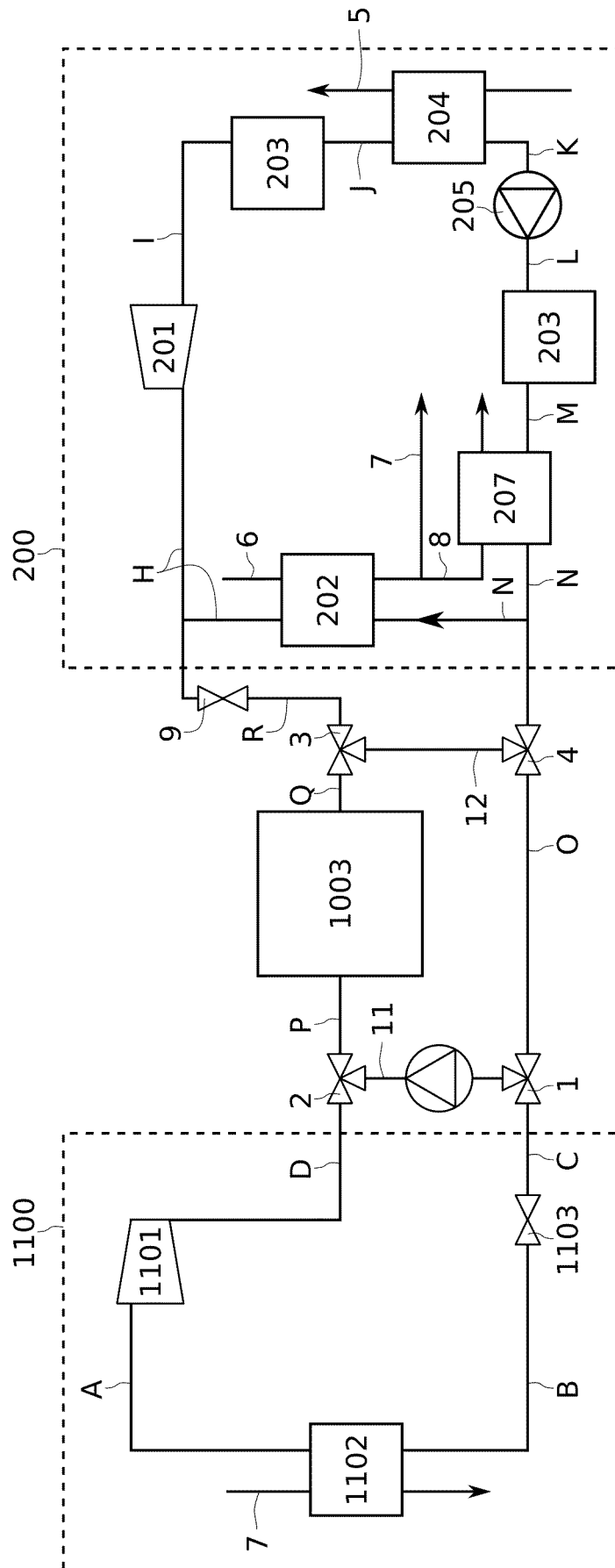


FIG. 1

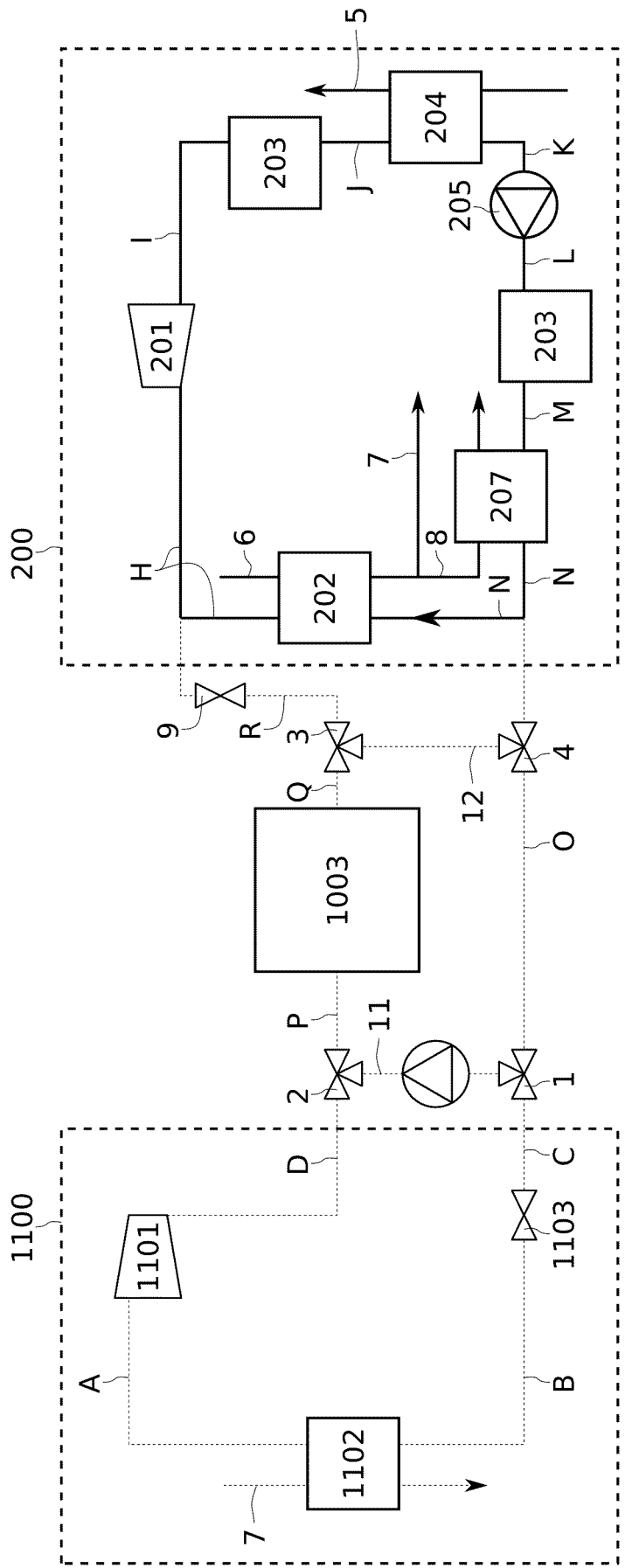


FIG. 2

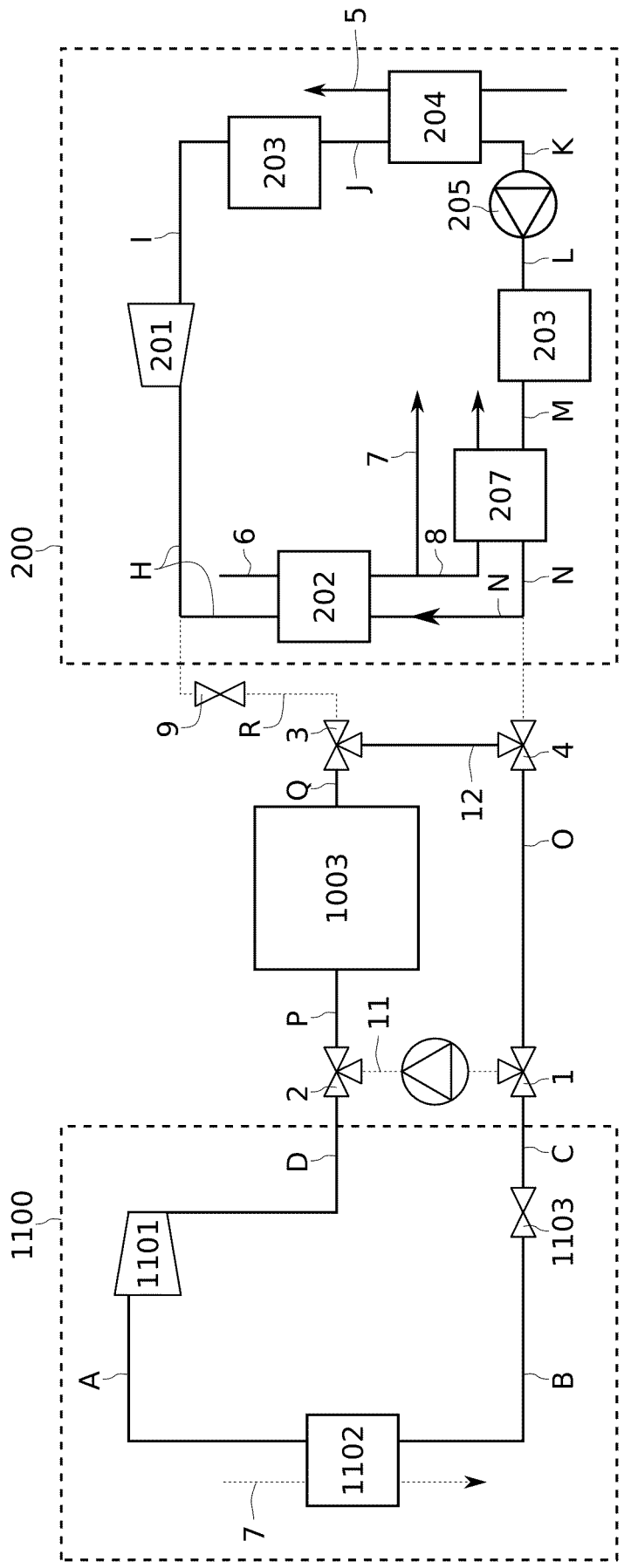


FIG. 3

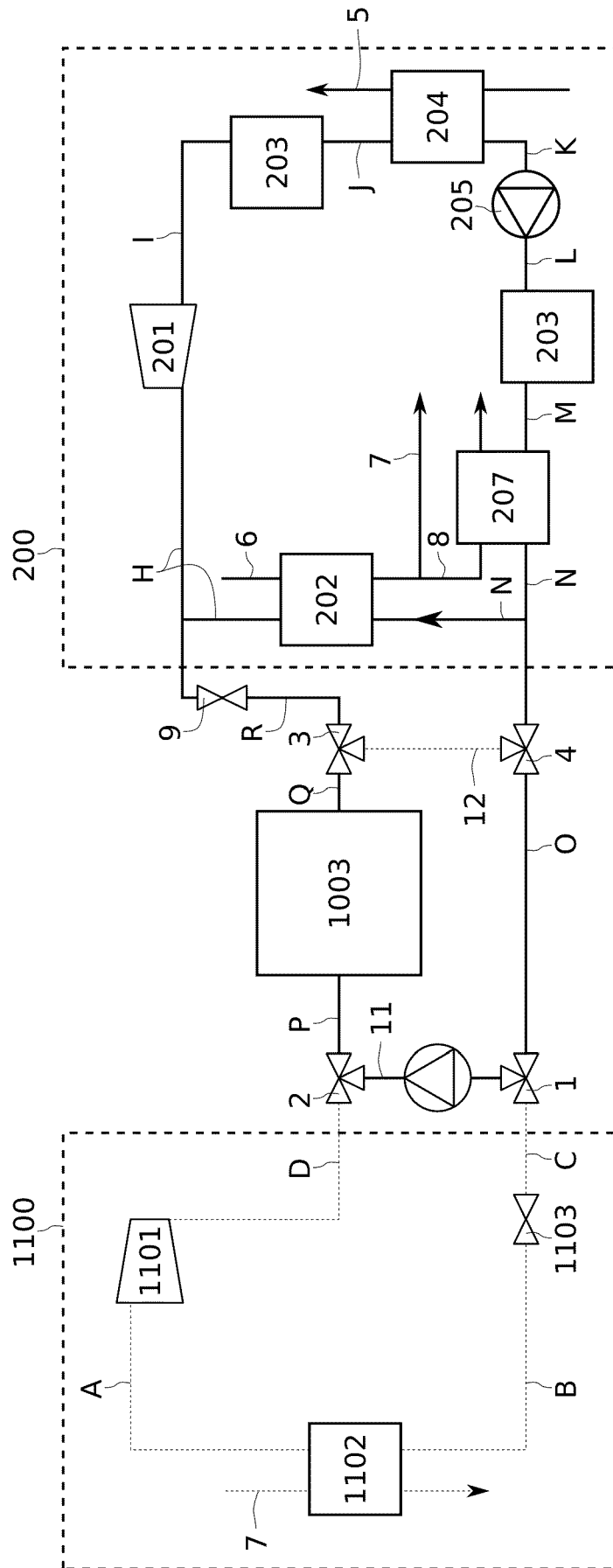


FIG. 4

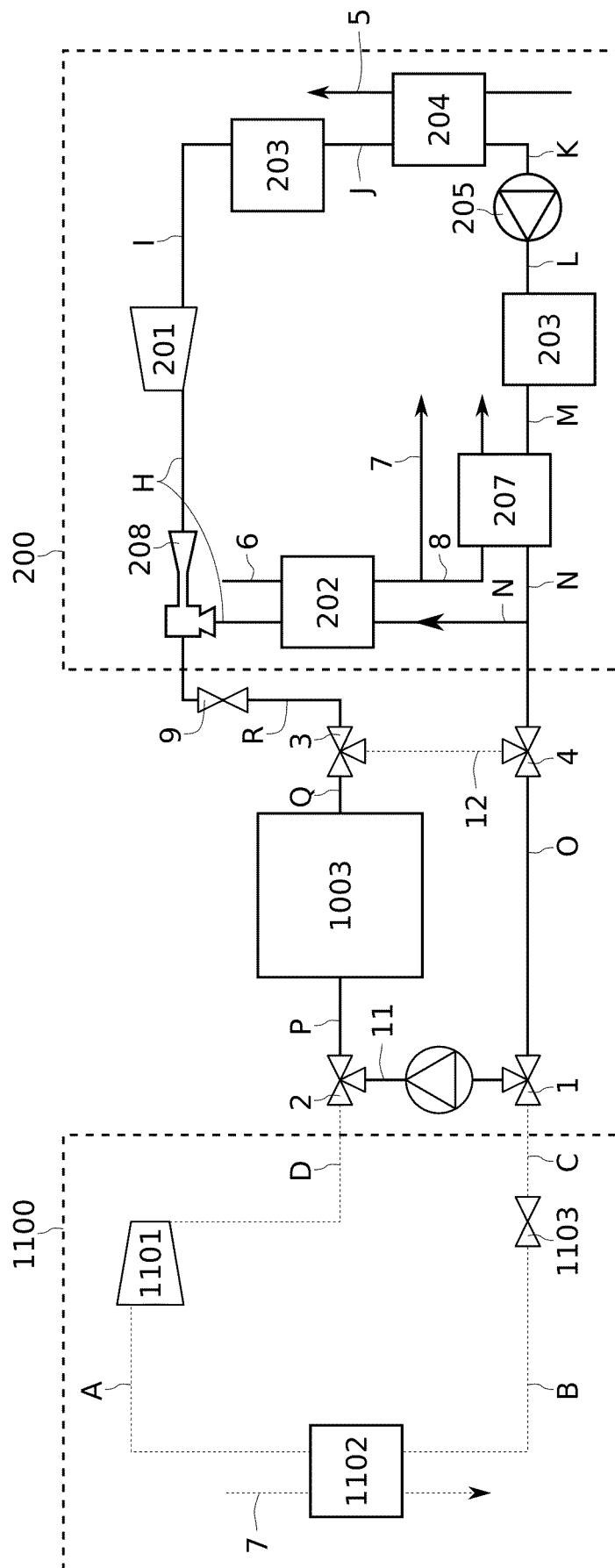


FIG. 5



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 26 16 8863

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	US 2015/267566 A1 (VAMVAS VASSILIOS [US]) 24 septembre 2015 (2015-09-24) * alinéas [0027] - [0041]; figure 3 *	1-11	INV. F01K3/18 F01K3/14
X	EP 2 942 492 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 11 novembre 2015 (2015-11-11) * alinéas [0027] - [0031]; figure 1 *	1,2,6-8	
A	US 3 803 836 A (GILLI P) 16 avril 1974 (1974-04-16) * colonne 5, ligne 44 - colonne 6, ligne 37; figure 3 *	1-11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F01K
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 10 septembre 2026	Examineur Röberg, Andreas
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P24C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 26 16 8863

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de
recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

10-09-2026

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2015267566 A1	24-09-2015	AUCUN	

EP 2942492 A1	11-11-2015	DK 2942492 T3	12-11-2018
		EP 2942492 A1	11-11-2015
		ES 2692118 T3	30-11-2018
		PL 2942492 T3	28-02-2019
		PT 2942492 T	14-11-2018
		TR 201815498 T4	21-11-2018

US 3803836 A	16-04-1974	AT 306746 B	25-04-1973
		DE 2146952 A1	06-04-1972
		GB 1371521 A	23-10-1974
		JP S5126561 B1	07-08-1976
		US 3803836 A	16-04-1974

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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

- FR 3118149 B1 [0093]