

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 19.12.08.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 25.06.10 Bulletin 10/25.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : XEDA INTERNATIONAL Société ano-
nyme — FR.

72 Inventeur(s) : SARDO ALBERTO.

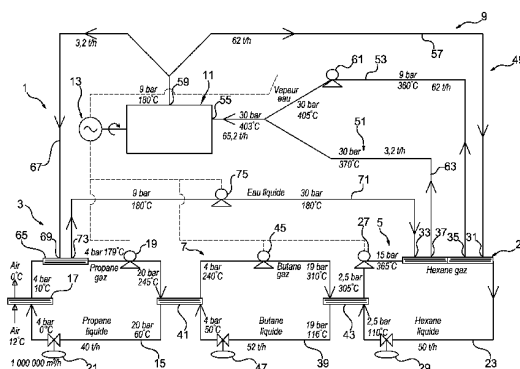
73 Titulaire(s) : XEDA INTERNATIONAL Société ano-
nyme.

74 Mandataire(s) : CABINET LAVOIX.

54 DISPOSITIF DE PRODUCTION D'ELECTRICITE AVEC PLUSIEURS POMPES A CHALEUR EN SERIE.

57 Le dispositif (1) de production d'électricité comprend :

- une première pompe à chaleur (3), pourvue d'un premier circuit fermé (15) dans lequel circule un premier fluide caloporteur, et d'un premier échangeur de chaleur (17) entre le premier fluide caloporteur et un flux d'air atmosphérique dans lequel le flux d'air atmosphérique cède une quantité de chaleur au premier fluide caloporteur,
- au moins une seconde pompe à chaleur (5), pourvue d'un second circuit fermé (23) dans lequel circule un second fluide caloporteur, et d'un second échangeur de chaleur (25) entre le second fluide caloporteur et un troisième fluide caloporteur dans lequel le second fluide caloporteur cède une quantité de chaleur au troisième fluide caloporteur;
- des moyens pour transférer une quantité de chaleur du premier fluide caloporteur au second fluide caloporteur;
- un troisième circuit fermé (9), dans lequel circule le troisième fluide caloporteur;
- une turbine (11) intercalée sur le troisième circuit fermé (9) et entraînée par le troisième fluide caloporteur;
- une génératrice électrique (13), mécaniquement entraînée par la turbine (11).



Dispositif de production d'électricité avec plusieurs pompes à chaleur en série

L'invention concerne en général les dispositifs de production d'électricité.

Les dispositifs de production d'électricité connus à ce jour contribuent au réchauffement atmosphérique (centrale à combustible fossile ou végétale) ou sont neutre vis-à-vis du réchauffement atmosphérique (centrale hydraulique, éolienne, centrale nucléaire). Les dispositifs de production d'électricité fonctionnant à l'énergie solaire contribuent à réduire le réchauffement atmosphérique, en convertissant l'énergie solaire en énergie électrique. Toutefois, de telles installations à énergie solaire ne sont généralement pas très puissantes, du fait que la chaleur du soleil n'est disponible qu'à basse température. Pour monter en température, il est nécessaire de concentrer les rayons du soleil, ce qui est techniquement complexe.

L'énergie solaire est donc utile pour chauffer l'eau ou l'air, mais est mal adaptée à la production massive d'énergie électrique. Les cellules photovoltaïques ne sont pour l'instant en mesure de fournir que de faibles quantités d'énergie électrique.

Par ailleurs, il est connu que les pompes à chaleur permettent la production de chaleur à une température supérieure à celle de l'air ambiant. La pompe à chaleur absorbe l'énergie de l'air ambiant et fournit de la chaleur avec une différence de température généralement de l'ordre de 30 à 40° C par rapport à l'air ambiant. De telles machines ne sont pas adaptées à la production d'énergie électrique, à cause de la faible différence de température entre les points chaud et froid de la pompe à chaleur.

Dans ce contexte, l'invention vise à proposer un dispositif de production d'électricité contribuant à limiter le réchauffement atmosphérique, et permettant de produire de l'électricité en grandes quantités avec une efficacité acceptable.

A cette fin, l'invention porte sur un dispositif de production de l'électricité du type comprenant :

- une première pompe à chaleur, pourvue d'un premier circuit fermé dans lequel circule un premier fluide caloporteur, et d'un premier échangeur de chaleur entre le premier fluide caloporteur et un flux d'air atmosphérique dans lequel le

flux d'air atmosphérique cède une quantité de chaleur au premier fluide caloporteur ;

- au moins une seconde pompe à chaleur, pourvue d'un second circuit fermé dans lequel circule un second fluide caloporteur, et d'un second échangeur de chaleur entre le second fluide caloporteur et un troisième fluide caloporteur dans lequel le second fluide caloporteur cède une quantité de chaleur au troisième fluide caloporteur ;

- des moyens pour transférer une quantité de chaleur du premier fluide caloporteur au second fluide caloporteur ;

- un troisième circuit fermé dans lequel circule le troisième fluide caloporteur ;

- une turbine intercalée sur le troisième circuit fermé et entraînée par le troisième fluide caloporteur ;

- une génératrice électrique, mécaniquement entraînée par la turbine.

Le dispositif de production peut également présenter une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles :

- les moyens pour transférer une quantité de chaleur du premier fluide caloporteur au second fluide caloporteur comprennent une troisième pompe à chaleur, pourvue d'un quatrième circuit fermé dans lequel circule un quatrième fluide caloporteur, d'un troisième échangeur de chaleur entre le premier fluide caloporteur et le quatrième fluide caloporteur dans lequel le premier fluide caloporteur cède une quantité de chaleur au quatrième fluide caloporteur, et d'un quatrième échangeur de chaleur entre le quatrième fluide caloporteur et le second fluide caloporteur dans lequel le quatrième fluide caloporteur cède une quantité de chaleur au second fluide caloporteur ;

- le premier fluide caloporteur présente à une entrée du troisième échangeur de chaleur une pression comprise entre 18 et 22 bars et une température comprise entre 220 et 270 °C, le premier fluide caloporteur présentant à une entrée du premier échangeur de chaleur une pression comprise entre 2 et 6 bars et une température comprise entre 0 et 20 °C ;

- le quatrième fluide caloporteur présente à une entrée du quatrième échangeur de chaleur une pression comprise entre 17 et 22 bars et une

température comprise entre 290 et 330 °C, le quatrième fluide caloporteur présentant à une entrée du troisième échangeur de chaleur une pression comprise entre 2 et 6 bars et une température comprise entre 30 et 70 °C ;

- le second fluide caloporteur présente à une entrée du second échangeur de chaleur une pression comprise entre 13 et 17 bars et une température comprise entre 340 et 390 °C, le second fluide caloporteur présentant à une entrée du quatrième échangeur de chaleur une pression comprise entre 1 et 5 bars et une température comprise entre 90 et 130 °C ;

- le troisième circuit fermé comprend des première et seconde boucles dans lesquelles circule le troisième fluide caloporteur, chacune des première et seconde boucles ayant une ligne chaude reliant une sortie du second échangeur de chaleur à une entrée haute pression de la turbine, la première boucle ayant une première ligne de retour reliant une sortie basse pression de la turbine à une entrée du second échangeur de chaleur, la seconde boucle ayant un échangeur de chaleur intermédiaire entre le premier fluide caloporteur et le troisième fluide caloporteur dans lequel le troisième fluide caloporteur cède une quantité de chaleur au premier fluide caloporteur, une ligne intermédiaire reliant une sortie basse pression de la turbine à une entrée de l'échangeur de chaleur intermédiaire, et une seconde ligne de retour reliant une sortie de l'échangeur intermédiaire à une entrée du second échangeur de chaleur ;

- le premier fluide caloporteur comprend essentiellement du propane ;
- le second fluide caloporteur comprend essentiellement de l'hexane ;
- le quatrième fluide caloporteur comprend essentiellement du butane ;
- le troisième fluide caloporteur comprend essentiellement de l'eau.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui en est donnée ci-dessous, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence à la figure unique annexée représentant schématiquement un dispositif de production d'électricité conforme à l'invention.

Le dispositif représenté sur la figure annexée est destiné à la production d'électricité. Il comporte une turbine à vapeur, intercalée sur un circuit eau/vapeur, la chaleur nécessaire pour fournir de la vapeur d'eau à haute pression à la turbine étant obtenue par l'intermédiaire de plusieurs pompes à chaleur placées en série.

Ainsi, la chaleur nécessaire pour la production de vapeur à haute pression est essentiellement prélevée dans l'atmosphère.

Plus précisément, le dispositif de production d'électricité comporte :

- des première, seconde et troisième pompes à chaleur 3, 5 et 7 ;
- un circuit eau/vapeur 9 ;
- une turbine à vapeur 11 intercalée sur le circuit eau/vapeur 9 ;
- une génératrice électrique 13, mécaniquement entraînée par la turbine 11.

La première pompe à chaleur 3 comporte un premier circuit fermé 15 dans lequel circule un premier fluide caloporteur, un premier échangeur de chaleur 17 entre le premier fluide caloporteur et l'air atmosphérique, un compresseur 19, et une valve d'expansion 21.

Le premier fluide caloporteur comprend essentiellement du propane. Avantagement, le premier fluide caloporteur est du propane techniquement pur.

Le premier échangeur de chaleur 17 comporte un premier côté dans lequel circule l'air atmosphérique, et un second côté dans lequel circule le propane. De préférence, le dispositif comporte des moyens pour forcer la circulation d'air du premier côté de l'échangeur de chaleur 17. Ces moyens peuvent par exemple comporter des ventilateurs ou tout type d'équipement analogue.

La seconde pompe à chaleur 5 comprend un second circuit fermé 23 dans lequel circule un second fluide caloporteur, un second échangeur de chaleur 25 entre le second fluide caloporteur et le fluide circulant dans le circuit eau/vapeur 9, un compresseur 27 et une valve d'expansion 29.

Le second fluide caloporteur comprend essentiellement de l'hexane. Par exemple, le second fluide caloporteur est de l'hexane techniquement pur.

Le second échangeur de chaleur 25 comporte un premier côté dans lequel circule le second fluide caloporteur, et un second côté dans lequel circule de l'eau sous forme liquide ou vapeur. L'eau constitue un troisième fluide caloporteur.

L'eau circulant dans le circuit eau/vapeur 9 pénètre dans l'échangeur de chaleur 25 sous forme vapeur par l'entrée 31 et sous forme liquide par l'entrée 33, reçoit la chaleur cédée par le second fluide caloporteur, et sort de l'échangeur de chaleur 25 sous la forme de vapeur d'eau par les sorties 35 et 37.

La troisième pompe à chaleur 7 comporte un troisième circuit fermé 39 dans lequel circule un quatrième fluide caloporteur, un troisième échangeur de chaleur 41 entre ledit quatrième fluide caloporteur et le premier fluide caloporteur de la première pompe à chaleur 3, un quatrième échangeur de chaleur 43 entre
5 ledit quatrième fluide caloporteur et le second fluide caloporteur de la seconde pompe à chaleur 5, un compresseur 45 et une valve d'expansion 47. L'échangeur de chaleur 41 présente un premier côté dans lequel circule le premier fluide d'échange de chaleur, et un second côté dans lequel circule le quatrième fluide d'échange de chaleur.

10 Le quatrième échangeur de chaleur 43 présente un premier côté dans lequel circule le quatrième fluide d'échange de chaleur et un second côté dans lequel circule le second fluide d'échange de chaleur.

Le quatrième fluide d'échange de chaleur comprend de préférence essentiellement du butane. Par exemple, le quatrième fluide de chaleur est du
15 butane techniquement pur.

Le circuit eau/vapeur 9 comporte des premières et secondes boucles 49 et 51. Le même fluide caloporteur circule dans les deux boucles.

La première boucle 49 comprend une première ligne chaude 53 reliant la sortie vapeur 35 du second échangeur de chaleur à une entrée haute pression 55
20 de la turbine 11. La première boucle comporte également une ligne de retour 57 reliant une sortie basse pression 59 de la turbine à l'entrée de vapeur 31 du second échangeur de chaleur. La première boucle 49 comporte encore un compresseur 61 intercalé sur la première ligne chaude 53.

La seconde boucle 51 du circuit eau/vapeur comporte une seconde ligne
25 chaude reliant la seconde sortie vapeur 37 de l'échangeur de chaleur 25 à l'entrée haute pression 55 de la turbine à vapeur.

La seconde boucle comporte encore un échangeur de chaleur intermédiaire 65 entre le premier fluide caloporteur et le troisième fluide caloporteur, une ligne intermédiaire 67 reliant la sortie basse pression 59 de la turbine à vapeur à une
30 entrée 69 de l'échangeur intermédiaire, et une seconde ligne de retour reliant une sortie 73 de l'échangeur intermédiaire à l'entrée de liquide 33 du second échangeur de chaleur 25. La seconde boucle comporte en outre un compresseur 75 intercalé sur la ligne de retour 71.

L'échangeur intermédiaire 65 comporte un premier côté dans lequel circule le premier fluide caloporteur, et un second côté dans lequel circule le troisième fluide caloporteur, depuis l'entrée 69 jusqu'à la sortie 73.

Le circuit fermé 15 relie une sortie de refoulement du compresseur 19 à une entrée du premier côté de l'échangeur de chaleur 41. Le circuit 15 relie par ailleurs la sortie dudit premier côté à l'entrée de la valve d'expansion 21. La sortie de la valve d'expansion 21 est reliée par le circuit 15 à une entrée du second côté de l'échangeur de chaleur 17. Le circuit relie par ailleurs la sortie du second côté de l'échangeur 17 à l'entrée du premier côté de l'échangeur 65 et la sortie du premier côté de l'échangeur 65 à l'aspiration du compresseur 19.

Le premier fluide caloporteur est gazeux entre la sortie de l'échangeur 17 et l'entrée de l'échangeur 41. Il est liquide entre la sortie de l'échangeur 41 et l'entrée de l'échangeur 17. Dans l'échangeur 17, le premier fluide caloporteur est en contact thermique avec l'air circulant du premier côté de cet échangeur. L'air cède de la chaleur au premier fluide caloporteur. Le premier fluide caloporteur est vaporisé lors de son passage dans le premier échangeur de chaleur 17.

Dans l'échangeur intermédiaire 65, le premier fluide caloporteur circulant du premier côté de l'échangeur est en contact thermique avec la vapeur d'eau circulant du second côté de l'échangeur. La vapeur d'eau est au moins condensée partiellement en traversant l'échangeur intermédiaire et cède de la chaleur au premier fluide caloporteur.

Le premier fluide caloporteur circulant du premier côté de l'échangeur de chaleur 41 est en contact thermique avec le quatrième fluide caloporteur circulant du second côté de l'échangeur 41. Le premier fluide caloporteur est condensé en traversant l'échangeur 41 et cède de la chaleur au troisième fluide caloporteur.

Le troisième circuit fermé 39 relie le refoulement du compresseur 45 à une entrée du premier côté de l'échangeur de chaleur 43. Il relie également la sortie dudit premier côté de l'échangeur de chaleur 43 à une entrée de la valve d'expansion 47. Le circuit fermé 39 relie encore la sortie de la valve d'expansion 47 à une entrée du second côté de l'échangeur de chaleur 41. Enfin, le circuit 39 relie une sortie dudit second côté de l'échangeur 41 à l'aspiration du compresseur 45.

Comme indiqué ci-dessus, le quatrième fluide caloporteur est en contact thermique avec le premier fluide caloporteur en traversant l'échangeur de chaleur 41 et reçoit de celui-ci de la chaleur. Le quatrième fluide caloporteur est vaporisé dans l'échangeur de chaleur 41. Le quatrième fluide caloporteur traversant le premier côté de l'échangeur de chaleur 43 est en contact thermique avec le second fluide caloporteur circulant du second côté de l'échangeur 43. Le quatrième fluide caloporteur est condensé en traversant l'échangeur de chaleur de chaleur 43 et cède de la chaleur au second fluide caloporteur.

Le quatrième fluide caloporteur est à l'état gazeux entre la sortie du second côté de l'échangeur de chaleur 41 et l'entrée du premier côté de l'échangeur de chaleur 43. Il est à l'état liquide entre la sortie du premier côté de l'échangeur 43 et l'entrée du second côté de l'échangeur 41.

Le second circuit fermé 23 relie le refoulement du compresseur 27 à une entrée du premier côté de l'échangeur de chaleur 25. Il relie également une sortie du premier côté de l'échangeur de chaleur 25 à une entrée de la valve d'expansion 29. Le circuit 23 relie encore la sortie de la valve d'expansion 29 à l'entrée du second côté de l'échangeur 43, et la sortie dudit second côté à l'aspiration du compresseur 27. Le second fluide caloporteur en traversant le second côté de l'échangeur 43 est en contact thermique avec le quatrième fluide caloporteur. Il reçoit de la chaleur du quatrième fluide caloporteur en traversant l'échangeur 43 et est vaporisé.

Le second fluide caloporteur est en contact thermique avec le troisième fluide caloporteur dans l'échangeur de chaleur 25. En traversant le premier côté de l'échangeur de chaleur 25, il est condensé et cède de la chaleur au troisième fluide caloporteur.

Le second fluide caloporteur est à l'état gazeux entre la sortie du second côté de l'échangeur 43 et l'entrée du premier côté de l'échangeur de chaleur 25. Il est à l'état liquide entre la sortie du premier côté de l'échangeur de chaleur 25 et l'entrée du second côté de l'échangeur de chaleur 43.

L'échangeur de chaleur 25 est par exemple un échangeur à deux zones, une première zone permettant de réchauffer la vapeur d'eau circulant dans la première boucle, et une seconde zone permettant de vaporiser l'eau circulant dans la seconde boucle. Le second fluide caloporteur circulant du premier côté de

l'échangeur de chaleur 25 est d'abord mis en contact thermique avec le fluide circulant dans la seconde boucle, puis mis en contact thermique avec le fluide circulant dans la première boucle. Le second côté de l'échangeur thermique 25 comporte deux circuits distincts, l'un entre l'entrée 33 et la sortie 37 et l'autre entre l'entrée 31 et la sortie 35. Ces deux circuits sont fluidiquement séparés.

L'eau est à l'état de vapeur dans la première boucle entre la sortie 35 et l'entrée haute pression 55 de la turbine. Elle est à l'état de vapeur, proche de la température de saturation, entre la sortie basse pression 59 de la turbine et l'entrée 31 du second échangeur de chaleur. Dans la seconde boucle, l'eau est à l'état de vapeur entre la sortie 37 du second échangeur de chaleur et l'entrée haute pression 55 de la turbine. Elle est à l'état de vapeur, proche de la température de saturation, entre la sortie basse pression 59 de la turbine et l'entrée 69 de l'échangeur intermédiaire 65. La vapeur est au moins partiellement condensée dans l'échangeur 65. L'eau est sous forme liquide entre le refoulement du compresseur 75 et l'entrée 33 du second échangeur de chaleur.

Le fonctionnement du dispositif décrit ci-dessus va maintenant être détaillé.

L'air atmosphérique circulant du second côté de l'échangeur de chaleur 17 cède sa chaleur au premier fluide caloporteur. Par exemple, l'air atmosphérique présente une différence de température de 12°C entre l'entrée et la sortie de l'échangeur 17. Le débit d'air atmosphérique est d'environ 1 million m³/h. Par exemple, l'air présente à l'entrée de l'échangeur 17 une température de 12°C et une température de 0°C à la sortie de l'échangeur 17.

Le débit de propane dans le premier circuit fermé 15 est d'environ 40 t/h. Le propane est vaporisé dans l'échangeur 17. Il présente une pression de 4 bars et une température d'environ 0°C à l'entrée de l'échangeur 17, et une température de 10°C à la sortie de l'échangeur 17. Le propane est réchauffé dans l'échangeur intermédiaire 65. Il présente une pression de 4 bars et une température de 179°C environ à la sortie de l'échangeur intermédiaire 65. Le propane est comprimé par le compresseur 19 et présente une pression de 20 bars et une température d'environ 245°C au refoulement du compresseur 19. En traversant l'échangeur de chaleur 41, le propane est condensé. Il présente à la sortie de l'échangeur de chaleur 41 une pression d'environ 20 bars et une température d'environ 60°C. Le

propane subit enfin une détente en traversant la valve d'expansion 21, et présente à la sortie de cette valve une pression de 4 bars et une température d'environ 0°C.

Le butane circulant dans le quatrième circuit fermé 39 présente une pression de 4 bars et une température d'environ 50°C à l'entrée de l'échangeur de chaleur 41. Il est vaporisé en traversant cet échangeur et présente à la sortie une pression de 4 bars et une température d'environ 240°C. Le butane est ensuite comprimé par le compresseur 45 jusqu'à une pression de 19 bars et une température d'environ 310°C. Il est condensé en traversant l'échangeur de chaleur 43, et présente une pression d'environ 19 bars et une température d'environ 116°C à la sortie de l'échangeur de chaleur 43. Le butane subit ensuite une détente en traversant la valve d'expansion 47, jusqu'à une pression de 4 bars et une température d'environ 50°C. Le débit de butane dans le quatrième circuit fermé est d'environ 52 t/h.

Le débit d'hexane dans le second circuit fermé 23 est d'environ 50t/h. Il présente une pression de 2,5 bars et une température de 110°C à l'entrée de l'échangeur de chaleur 43. L'hexane est vaporisé dans l'échangeur de chaleur 43 et présente une pression de 2,5 bars et une température de 305°C à la sortie de l'échangeur 43. L'hexane est ensuite comprimé par le compresseur 27 jusqu'à une pression de 15 bars et une température de 365°C. L'hexane est condensé en traversant l'échangeur de chaleur 25 et subit ensuite une détente en traversant la valve d'expansion 29.

Le débit d'eau dans le troisième circuit fermé 9 est au total d'environ 65,2 t/h. Le débit d'eau dans la première boucle est d'environ 62 t/h et le débit d'eau dans la seconde boucle est d'environ 3,2 t/h. A l'entrée 31 dans le second échangeur de chaleur, la vapeur d'eau circulant dans la première boucle présente une pression de 9 bars et une température d'environ 180°C. Elle est surchauffée en traversant l'échangeur de chaleur 25, la vapeur d'eau présentant à la sortie 35 une pression de 9 bars et une température d'environ 360°C. La vapeur d'eau est comprimée par le compresseur 61 jusqu'à une pression de 30 bars et une température de 405°C.

L'eau circulant dans la seconde boucle présente à l'entrée 33 du second échangeur de chaleur une pression de 30 bars et une température d'environ 180°C. Cette eau est vaporisée dans l'échangeur de chaleur 25 jusqu'à une

température d'environ 370 °C et une pression de 30 bars environ. Les premières et secondes boucles sont raccordées à la même entrée 55 de la turbine. En variante, elles peuvent être raccordées à des entrées différentes.

5 La vapeur d'eau entraîne la turbine et subit dans le même temps une expansion. Elle présente une pression de 9 bars et une température de 180 °C environ à la sortie basse pression de la turbine.

La vapeur d'eau est subdivisée en deux flux et est orientée pour partie vers la ligne de retour 57 de la première boucle et pour partie vers la ligne intermédiaire 67 de la seconde boucle.

10 La vapeur d'eau est condensée au moins partiellement dans l'échangeur intermédiaire 65, la pression et température restant sensiblement constantes. L'eau présente à l'entrée du compresseur 75 une pression de 9 bars et une température de 180 °C et au refoulement dudit compresseur, une pression de 30 bars et une température de 180 °C.

15 Le bilan énergétique du dispositif est le suivant : l'air atmosphérique cède au propane environ 3 700 000 kcal/heure. Celui-ci reçoit dans l'échangeur intermédiaire 65 environ 1 660 000 kcal/heure. Il reçoit également lors de la compression par le compresseur 19 environ 550 000 kcal/heure. Le propane cède au butane dans l'échangeur de chaleur 41 environ 5 900 000 kcal/heure.

20 Le butane reçoit lors de la compression par le compresseur 45 environ 600 000 kcal/heure. Il cède environ 6 500 000 kcal/heure dans l'échangeur 43.

L'hexane reçoit environ 600 000 kcal/heure lors de la compression par le compresseur 27. Il cède environ 7 000 100 kcal/heure à l'eau dans l'échangeur de chaleur 25. Par ailleurs, l'eau circulant dans la première boucle reçoit lors de la compression par le compresseur 61 environ 550 000 kcal/heure. On négligera l'énergie reçue par l'eau circulant dans la deuxième boucle, lors de la compression par le compresseur 75.

30 Ainsi, l'énergie apportée à la turbine est d'environ 6 000 000 de kcal/heure compte tenu de la chaleur cédée par la vapeur de la seconde boucle dans l'échangeur intermédiaire 65. Le rendement électrique de l'ensemble turboalternateur 11 et 13 est d'environ 70%. L'alternateur 13 produit donc environ 4 000 200 kcal/heure d'électricité, soit une puissance électrique de 4.900 kW.

La consommation électrique des différents compresseurs 19, 27, 45, 61 et 75 sont respectivement 750 kW, 900 kW, 900 kW, 800 kW, 20 kW. La consommation des ventilateurs destinés à forcer la circulation d'air atmosphérique à travers l'échangeur 17 est estimée à environ 100 kW.

5 Le dispositif de production d'électricité présente donc un solde énergétique positif d'environ 1400 kW.

Le dispositif de production d'électricité décrit ci-dessus présente de multiples avantages.

Du fait que ce dispositif comprend :

10 - une première pompe à chaleur, pourvue d'un premier circuit fermé dans lequel circule un premier fluide caloporteur, et d'un premier échangeur de chaleur entre le premier fluide caloporteur et un fluide d'air atmosphérique dans lequel le flux d'air atmosphérique cède une quantité de chaleur au premier fluide caloporteur,

15 - au moins une seconde pompe à chaleur, pourvue d'un second circuit fermé dans lequel circule un second fluide caloporteur, et d'un second échangeur de chaleur entre le second fluide caloporteur et un troisième fluide caloporteur dans lequel le second fluide caloporteur cède une quantité de chaleur au troisième fluide caloporteur ;

20 - des moyens pour transférer une quantité de chaleur du premier fluide caloporteur au second fluide caloporteur ;

- un troisième circuit fermé dans lequel circule le troisième fluide caloporteur ;

25 - une turbine intercalée sur le troisième circuit fermé et entraînée par le troisième fluide caloporteur ; et

- une génératrice électrique, mécaniquement entraînée par la turbine, le dispositif de production d'électricité prélève de la chaleur dans l'environnement, tout en produisant de l'électricité. Le dispositif tire partie du fait que, dans les pompes à chaleur, pour un 1 kW d'énergie appliquée notamment pour la
30 compression du gaz caloporteur, il est possible d'obtenir de 5 kW d'énergie thermique. Le fait de placer plusieurs pompes à chaleur en série, les unes derrières les autres, permet d'élever à chaque étape la température du fluide caloporteur, jusqu'à une température permettant de produire de la vapeur en

quantité suffisante pour entraîner une turbine à vapeur couplée à une génératrice électrique. Ainsi, le fait d'utiliser plusieurs pompes à chaleur en série permet de palier le défaut des pompes à chaleur, qui est de ne permettre qu'une faible différence de température entre le flux de chaleur absorbée et le flux de chaleur
5 rendue par la pompe à chaleur.

Les fluides caloporteurs sont choisis de telle sorte que la température de condensation du fluide d'une pompe à chaleur donnée corresponde sensiblement à la température d'ébullition du fluide caloporteur de la pompe à chaleur suivante dans la série.

10 Ainsi, en comprimant chaque fluide caloporteur par un compresseur, puis en le condensant par échange thermique avec un fluide plus volatil, cette étape étant suivie d'une expansion, il est possible de faire absorber la chaleur de chaque fluide caloporteur par le fluide moins volatil utilisé par la pompe à chaleur suivante de la série. On obtient ainsi une augmentation progressive par palier de la
15 température du fluide caloporteur jusqu'à atteindre environ 400°C.

Deux pompes à chaleur en série peuvent être suffisantes pour produire de l'électricité, mais il est avantageux d'en utiliser au moins trois pour obtenir un rendement énergétique suffisant.

20 L'utilisation de propane, de butane et d'hexane comme fluides caloporteurs dans les trois pompes à chaleur placées en série est particulièrement avantageuse, car ces fluides présentent des caractéristiques bien adaptées pour le but recherché.

De même, les profils de pression et de température décrits ci-dessus pour les fluides caloporteurs des trois pompes à chaleur sont particulièrement bien
25 adaptés.

Le fait de subdiviser le circuit au vapeur en deux boucles, avec une boucle permettant de surchauffer le fluide caloporteur de la première pompe à chaleur avant compression, permet d'optimiser le rendement énergétique total du dispositif. Le roulement électrique de l'ensemble turbine/alternateur est ainsi
30 supérieur à 60%, par exemple de l'ordre de 70%.

Le dispositif de production d'électricité décrit ci-dessus peut présenter de multiples variantes.

Il peut ne comporter que deux pompes à chaleur ou trois pompes à chaleur, ou plus de trois pompes à chaleur en série les unes avec les autres, en fonction de la puissance à obtenir et des fluides caloporteurs utilisés.

5 Les fluides caloporteurs utilisés dans les différentes pompes à chaleur peuvent être de tout type, sous réserve que la température de condensation d'un fluide caloporteur utilisé dans une pompe à chaleur donnée corresponde sensiblement à la température d'ébullition du fluide caloporteur utilisé dans la pompe à chaleur suivante dans la série.

10 De même, les profils de pression et de température peuvent varier pour chacune des pompes à chaleur, en fonction de la puissance thermique à transférer et des fluides caloporteurs utilisés.

Le circuit eau / vapeur pourrait ne comporter qu'une seule boucle.

15 L'échangeur de chaleur 25 entre le second fluide caloporteur et l'eau peut être constitué d'un échangeur à plusieurs zones ou peut être constitué de plusieurs échangeurs de chaleur physiquement indépendants les uns des autres.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif (1) de production d'électricité, comprenant :

5 - une première pompe à chaleur (3), pourvue d'un premier circuit fermé (15) dans lequel circule un premier fluide caloporteur, et d'un premier échangeur de chaleur (17) entre le premier fluide caloporteur et un flux d'air atmosphérique dans lequel le flux d'air atmosphérique cède une quantité de chaleur au premier fluide caloporteur,

10 - au moins une seconde pompe à chaleur (5), pourvue d'un second circuit fermé (23) dans lequel circule un second fluide caloporteur, et d'un second échangeur de chaleur (25) entre le second fluide caloporteur et un troisième fluide caloporteur dans lequel le second fluide caloporteur cède une quantité de chaleur au troisième fluide caloporteur ;

15 - des moyens pour transférer une quantité de chaleur du premier fluide caloporteur au second fluide caloporteur ;

- un troisième circuit fermé (9), dans lequel circule le troisième fluide caloporteur ;

- une turbine (11) intercalée sur le troisième circuit fermé (9) et entraînée par le troisième fluide caloporteur ;

20 - une génératrice électrique (13), mécaniquement entraînée par la turbine (11).

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens pour transférer une quantité de chaleur du premier fluide caloporteur au second fluide caloporteur comprennent une troisième pompe à chaleur (7), pourvue d'un quatrième circuit fermé (39) dans lequel circule un quatrième fluide caloporteur, d'un troisième échangeur de chaleur (41) entre le premier fluide caloporteur et le quatrième fluide caloporteur dans lequel le premier fluide caloporteur cède une quantité de chaleur au quatrième fluide caloporteur, et d'un quatrième échangeur (43) de chaleur entre le quatrième fluide caloporteur et le second fluide caloporteur dans lequel le quatrième fluide caloporteur cède une quantité de chaleur au second fluide caloporteur.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que le premier fluide caloporteur présente à une entrée du troisième échangeur de chaleur (41) une

pression comprise entre 18 et 22 bars et une température comprise entre 220 et 270 °C, le premier fluide caloporteur présentant à une entrée du premier échangeur de chaleur (17) une pression comprise entre 2 et 6 bars et une température comprise entre 0 et 20 °C.

5

4. Dispositif selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que le quatrième fluide caloporteur présente à une entrée du quatrième échangeur de chaleur (43) une pression comprise entre 17 et 22 bars et une température comprise entre 290 et 330 °C, le quatrième fluide caloporteur présentant à une entrée du troisième échangeur de chaleur (41) une pression comprise entre 2 et 6 bars et une température comprise entre 30 et 70 °C.

10

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que le second fluide caloporteur présente à une entrée du second échangeur de chaleur (25) une pression comprise entre 13 et 17 bars et une température comprise entre 340 et 390 °C, le second fluide caloporteur présentant à une entrée du quatrième échangeur de chaleur (43) une pression comprise entre 1 et 5 bars et une température comprise entre 90 et 130 °C.

15

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendication 1 à 5, caractérisé en ce que le troisième circuit fermé (9) comprend des première et seconde boucles (49, 51) dans lesquelles circule le troisième fluide caloporteur, chacune des première et seconde boucles (49, 51) ayant une ligne chaude (53, 63) reliant une sortie (35, 37) du second échangeur de chaleur (25) à une entrée haute pression (55) de la turbine (11), la première boucle (49) ayant une première ligne de retour (57) reliant une sortie basse pression (59) de la turbine (11) à une entrée (31) du second échangeur de chaleur (25), la seconde boucle (51) ayant un échangeur de chaleur intermédiaire (65) entre le premier fluide caloporteur et le troisième fluide caloporteur dans lequel le troisième fluide caloporteur cède une quantité de chaleur au premier fluide caloporteur, une ligne intermédiaire (67) reliant une sortie basse pression (59) de la turbine (11) à une entrée (69) de l'échangeur de chaleur intermédiaire (65), et une seconde ligne de retour (71) reliant une sortie

20

25

30

(73) de l'échangeur intermédiaire (65) à une entrée (33) du second échangeur de chaleur (25).

5 7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le premier fluide caloporteur comprend essentiellement du propane.

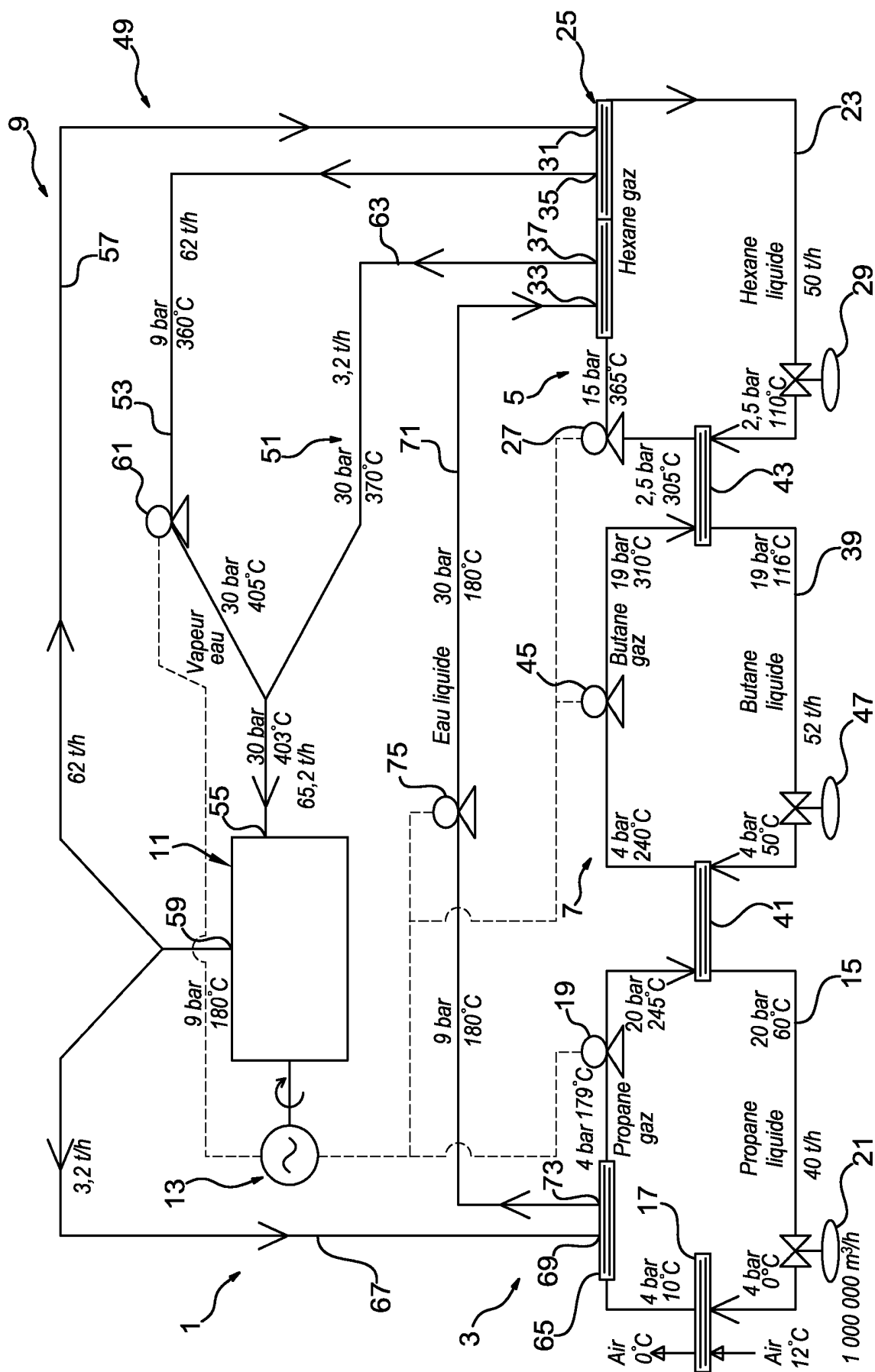
8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le second fluide caloporteur comprend essentiellement de l'hexane.

10 9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que le quatrième fluide caloporteur comprend essentiellement du butane.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le troisième fluide caloporteur comprend essentiellement de l'eau.

15

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la turbine (11) et la génératrice électrique (13) présentent ensemble un rendement électrique supérieur à 60%.





RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 715635
FR 0858836

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	DE 10 2004 006837 A1 (OSER ERWIN [DE]) 25 août 2005 (2005-08-25)	1-5,7-11	F01K7/16
Y		1,2	
A	* figure 1 * * revendications 1-3,7,16,21,23 * -----	6	
Y	DE 34 33 366 A1 (KOCH PETER) 20 mars 1986 (1986-03-20) * figure 2 * -----	1,2	
Y	GB 2 016 668 A (CARRIER DRYSYS LTD) 26 septembre 1979 (1979-09-26) * figures 5,6 * -----	1,2	
A	US 2005/076639 A1 (SHIRK MARK A [US] ET AL) 14 avril 2005 (2005-04-14) * figure 1 * -----	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	DE 199 25 257 A1 (HACHT GERHARD VON [DE]; HACHT CHRISTA VON [DE]) 22 février 2001 (2001-02-22) * le document en entier * -----	1	
			F01K F25B F24J
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
6 août 2009		Lepers, Joachim	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0858836 FA 715635**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **06-08-2009**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102004006837 A1	25-08-2005	EP 1714009 A1 WO 2005078243 A1	25-10-2006 25-08-2005

DE 3433366 A1	20-03-1986	AUCUN	

GB 2016668 A	26-09-1979	CA 1087410 A1 DE 2908927 A1 FR 2420104 A1 JP 54129548 A US 4173125 A	14-10-1980 27-09-1979 12-10-1979 08-10-1979 06-11-1979

US 2005076639 A1	14-04-2005	US 2005198961 A1	15-09-2005

DE 19925257 A1	22-02-2001	AUCUN	
