

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
30 avril 2009 (30.04.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2009/053593 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H02J 15/00 (2006.01) F28D 20/00 (2006.01)
F01K 3/12 (2006.01)

Jacques [FR/FR]; 2, impasse des Bolets, F-78112
Fourqueux (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2008/051794

(74) Mandataire : DOMANGE, Maxime; CABINET BEAU
DE LOMENIE, 232, avenue du Prado, F-13295 Marseille
Cedex 08 (FR).

(22) Date de dépôt international :
3 octobre 2008 (03.10.2008)

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG,
ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL,
IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,
MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT,
RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
07 58431 19 octobre 2007 (19.10.2007) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
SAIPEM S.A. [FR/FR]; 1/7, avenue San Fernando,
F-78180 Montigny Le Bretonneux (FR).

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

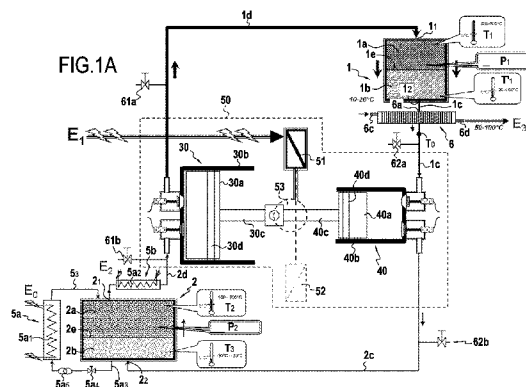
(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : RUER,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: INSTALLATION AND METHODS FOR STORING AND RESTORING ELECTRICAL ENERGY USING A PIS-
TON-TYPE GAS COMPRESSION AND EXPANSION UNIT

(54) Titre : INSTALLATION ET PROCEDES DE STOCKAGE ET RESTITUTION D'ENERGIE ELECTRIQUE A L'AIDE
D'UNE UNITE DE COMPRESSION ET DETENTE DE GAZ A PISTONS



(57) Abstract: The present invention relates to installations and methods for storing and restoring electrical energy comprising two, a first and a second, lagged chambers (1,2) containing porous refractory materials (11) through and between which a gas is circulated by causing the gas to circulate through two, a first and a second, compression/expansion sets (30, 40) interposed in the circuit of pipework (1c, 1d, 2c, 2d) between the upper ends (1₁, 2₁) and, respectively, lower ends (1₂, 2₂) of said first and second chambers, each compression/expansion set comprising a piston (30a, 40a) to which there is imparted a translational movement in a cylinder (30b, 40b), each set operating in a different mode, either in compression mode or in expansion mode, one of the two compression/expansion sets receiving a gas at a higher temperature than the other set such that, in compression mode, it is operated by an electric motor (41) which consumes electrical energy that is to be stored E₁, and in thermodynamic engine mode it operates an electric generator (52) able to restore electrical energy (E_R). The electrical energy is stored in the form of heat in masses of refractory products, and this stored thermal potential energy is restored in the form of electrical energy.

[Suite sur la page suivante]

WO 2009/053593 A1



ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

- relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)

(57) Abrégé : La présente invention concerne des installation et procédés de stockage et restitution d'énergie électrique comprenant deux première et seconde enceintes calorifugées (1,2) contenant des matériaux réfractaires poreux (11) à travers et entre lesquels l'on fait circuler un gaz en faisant circuler le gaz à travers deux premier et second groupes de compression/détente (30, 40) intercalés dans le circuit de canalisations (1c, 1d, 2c, 2d) entre les extrémités supérieures (1₁, 2₁) et, respectivement extrémités inférieures (1₂, 2₂) desdites première et seconde enceintes, chaque groupe de compression/détente comprenant un piston (30a, 40a) déplacé en translation dans un cylindre (30b, 40b), chaque groupe fonctionnant selon un mode différent soit en mode compression, soit en mode détente, l'un des deux groupes de compression/détente recevant un gaz à température plus élevée que l'autre groupe, de sorte que, en mode compression, il est actionné par un moteur électrique (41) qui consomme une énergie électrique à stocker E₁, et en mode moteur thermodynamique, il actionne un générateur électrique (52) permettant de restituer de l'énergie électrique (E_R). L'énergie électrique est stockée sous forme de chaleur au sein de masses de produits réfractaires, et cette énergie potentielle thermique stockée est restituée sous forme d'énergie électrique.

Installation et procédés de stockage et restitution d'énergie électrique
à l'aide d'une unité de compression et détente de gaz à pistons

La présente invention concerne une installation de stockage et restitution d'énergie électrique apte à stocker plusieurs dizaines, voire
5 plusieurs centaines de MWh, ainsi que des procédés de stockage d'énergie électrique sous forme d'énergie thermique dans lequel on utilise une installation selon l'invention et un procédé de restitution d'une énergie électrique (E_R) à partir d'une énergie thermique stockée par un procédé selon l'invention.

10 La présente invention concerne le stockage d'énergie à haute température et plus particulièrement le stockage d'énergie électrique, en vue de la restituer sur le réseau électrique lors des pointes de consommation.

La production de courant électrique est réalisée en général par des
15 centrales qui utilisent divers carburants pour produire l'énergie, tel le gaz, le pétrole, le charbon ou le lignite. Un autre moyen consiste à utiliser du combustible nucléaire pour produire de la chaleur qui sera alors transformée en énergie électrique dans des turbines à vapeur à haute pression.

20 On connaît aussi les énergies renouvelables qui participent pour une part très variable à la production d'électricité selon les pays. On peut citer entre autres l'énergie hydraulique des barrages, les éoliennes, les hydroliennes qui puisent leur énergie des courants marins, ainsi que divers dispositifs qui récupèrent l'énergie de la houle marine, ou encore l'énergie
25 solaire.

Si les installations qui produisent de l'électricité à partir de combustibles ou à partir d'eau retenue dans des barrages peuvent fonctionner de manière continue à puissance nominale ou maximale durant de très longues périodes, les énergies renouvelables sont caractérisées par
30 un fonctionnement intermittent, et leur intégration dans un réseau ne permet en général que de délester une partie des centrales

conventionnelles, certaines d'entre elles étant alors soit mise en régime ralenti, soit encore simplement arrêtées, en attente d'une demande de puissance de la part du réseau.

On connaît les diverses techniques utilisant des turbines ou des
5 moteurs thermiques alternatifs pour produire de l'énergie mécanique à partir de carburants, tel le gaz ou le pétrole, qui consistent à comprimer un comburant, en général de l'air, puis de le mélanger à un carburant, puis de l'enflammer dans une chambre de combustion, et enfin de récupérer lors de la détente l'énergie mécanique produite. Dans ce type de
10 machine tournante, on recherche un rendement maximal, lequel est fonction du niveau de température d'entrée de la turbine de détente ou du moteur. Les limites de température de fonctionnement sont dues à la tenue en température des aubes de la turbine de détente ou des parties métalliques des divers éléments actifs du moteur dans le cas d'un moteur
15 thermique à pistons, plus particulièrement au niveau des soupapes, de la culasse et de la tête de piston.

On connaît aussi les turbines à vapeur qui sont utilisées dans les centrales nucléaires pour convertir l'énergie de l'eau portée à très haute température sous forme de vapeur, en énergie mécanique, puis en énergie
20 électrique au sein de génératrices accouplées en bout d'arbre des turbines à vapeur. Ces turbines à vapeur fonctionnent en circuit fermé avec pour fluide caloporteur, de l'eau en phase vapeur en amont de la turbine et de l'eau liquide en aval de ladite turbine.

On a longtemps recherché à stocker l'énergie, de manière à pouvoir
25 en disposer de manière quasi instantanée lors de pointes de consommation. De nombreuses techniques ont été développées et on peut citer, entre autres, les accumulateurs électriques, en général accumulateurs au plomb, ou le pompage d'eau dans un barrage en altitude, en vue d'être returbinée lors des pointes de demande d'énergie.

30 Le stockage d'énergie au sein de batteries électrique au plomb est valable pour les petites ou moyennes capacités, mais lorsqu'il faut stocker l'équivalent d'une tranche de centrale nucléaire, c'est-à-dire environ

1200MW sur des périodes de 24 ou 36 heures, les installations requises deviennent alors gigantesques et irréalisables en pratique.

Si les barrages constituent un excellent moyen de stocker l'énergie, les sites sont en nombre limités et de plus le stockage de très grandes quantités d'énergie nécessite de mobiliser des quantités énormes d'eau qui doivent alors être prélevées sur les quotas disponibles, pour être ensuite relâchées à des périodes où l'on n'a pas besoin de ces quantités d'eau, par exemple pour l'irrigation, l'eau étant alors en partie perdue. Plusieurs sites sont cependant constitués d'un réservoir haut et d'un réservoir bas, en général des lacs de grande capacité et, en période de stockage, on pompe le contenu du lac inférieur vers le lac supérieur, pour le turbiner en sens inverse dès lors que des pointes de consommation nécessitent des appoints de puissance sur le réseau électrique.

Un autre moyen consiste à stocker l'énergie sous forme d'air comprimé, pour la retransformer ensuite en énergie mécanique par le biais de moteurs à pistons, à palettes ou encore de turbines.

On connaît le brevet WO-2005-108758 qui décrit un mode de stockage d'énergie sous forme de chaleur dans une enceinte sous-terreine, la chaleur étant engendrée par la compression d'air initialement à pression atmosphérique et à température ambiante, la température au sein du stockage enterré étant d'environ 700°C. Dans cette application, le gaz, de l'air, circule en circuit ouvert, depuis l'atmosphère libre vers la caverne lors de la phase de stockage, et, depuis la caverne vers l'atmosphère libre lors de la phase de restitution de l'énergie.

Dans un autre domaine technique, on connaît les régénérateurs couramment employés dans les industries du feu, c'est-à-dire dans les hauts fourneaux, dans l'industrie de la céramique et de la terre cuite, dans l'industrie du verre et les cimenteries, qui consistent à envoyer les gaz brûlés chauds dans des grandes tours pour réchauffer des masses réfractaires qu'elles comprennent de manière à récupérer les calories des gaz, avant de relâcher lesdits gaz dans l'atmosphère. Lorsque la température maximale est atteinte au sein des matériaux réfractaires, on

arrête la circulation de gaz chaud et l'on envoie à contre courant de l'air frais qui se réchauffe alors au contact des matériaux réfractaires pour être enfin dirigé vers l'entrée des fours, ou au niveau de brûleurs. Ces dispositions permettent de réduire considérablement les pertes de chaleur au sein de processus industriels gros consommateurs en énergie.

Le problème posé est de stocker l'énergie électrique de centrales conventionnelles, telles des centrales à charbon, à gaz, à pétrole, ou encore des centrales nucléaires, en vue de pouvoir la restituer très rapidement et en quantité considérable, dans le réseau électrique pendant les périodes de pointe lorsque la demande en énergie dépasse la capacité de production.

De même dans le cas des énergies renouvelables, telles les éoliennes, les hydroliennes, le problème est de pouvoir stocker des quantités d'énergie considérables en période de vent ou de courants importants, correspondant à des surplus de production, en vue de restituer cette énergie en phase de déficit de production, c'est à dire lorsque vent ou courant ne permettent pas de maintenir le niveau de production d'énergie à un seuil minimum.

Pour ce faire, la présente invention consiste essentiellement à stocker des quantités considérables d'énergie électrique sous forme de chaleur au sein de masses de produits réfractaires, le fluide permettant le transfert d'énergie étant un gaz, de préférence un gaz neutre, tel l'argon, puis de restituer cette énergie potentielle thermique stockée, sous forme d'énergie électrique.

Plus précisément, la présente invention fournit une installation de stockage et restitution d'énergie électrique caractérisée en ce qu'elle comprend :

A) une première enceinte calorifugée remplie d'un premier matériau réfractaire poreux apte à être traversée par un gaz circulant à travers ladite première enceinte entre 2 extrémités supérieure et inférieure de ladite première enceinte, et

B) une seconde enceinte calorifugée remplie d'un second matériau réfractaire poreux apte à être traversée par un gaz circulant à travers ladite seconde enceinte entre 2 extrémités supérieure et inférieure de ladite seconde enceinte, et

5 C) des canalisations calorifugées permettant la circulation de gaz en circuit fermé entre les 2 enceintes comprenant des première et seconde canalisations supérieures entre les extrémités supérieures des deux enceintes et des première et seconde canalisations inférieures entre les extrémités inférieures des deux enceintes , et

10 D) une unité de compression et détente de gaz comprenant

D1) au moins un premier groupe de compression/détente de gaz intercalé entre les extrémités supérieures desdites première et seconde enceinte auxquelles il est relié par des première et respectivement seconde canalisations supérieures, comprenant un premier piston apte à
15 être déplacé en translation dans un premier cylindre, ledit premier groupe de compression/détente de gaz étant couplé à un moteur électrique et un générateur électrique, ledit premier groupe de compression / détente de gaz pouvant fonctionner

- soit en mode compression, le dit premier piston étant déplacé en
20 translation par actionnement du dit moteur électrique alimenté par une énergie électrique à stocker pour compresser dans le dit premier cylindre le gaz provenant de ladite extrémité supérieure de la seconde enceinte et l'envoyer à ladite extrémité supérieure de la première enceinte,

- soit en mode détente ou « moteur thermodynamique » ledit premier
25 piston étant déplacé en translation par expansion dans ledit premier cylindre du gaz provenant de ladite extrémité supérieure de la première enceinte pour l'envoyer à ladite extrémité supérieure de la seconde enceinte par ladite seconde canalisation supérieure, le déplacement dudit premier piston permettant ainsi d'actionner ledit générateur électrique et
30 ainsi restituer de l'énergie électrique (E_R) et

D2) au moins un second groupe de compression / détente de gaz intercalé entre les extrémités inférieures des dites première et seconde enceinte auxquelles il est relié par les dites première et respectivement seconde canalisations inférieures, comprenant un second piston apte à

être déplacé en translation dans un second cylindre, le déplacement dudit second piston étant couplé à celui dudit premier piston de sorte que le dit second groupe de compression / détente de gaz est apte à fonctionner :

- soit en mode détente ou « moteur thermodynamique » quand ledit
5 premier groupe de compression/détente fonctionne en mode compression, pour détendre le gaz provenant de ladite extrémité inférieure de la première enceinte et l'envoyer à ladite extrémité inférieure de la seconde enceinte,

- soit en mode compression quand le dit premier groupe de
10 compression / détente fonctionne en mode détente, pour compresser le gaz provenant de la dite extrémité inférieure de la seconde enceinte et l'envoyer à ladite extrémité inférieure de la première enceinte, et

E) des premiers moyens de chauffage de gaz aptes à chauffer le gaz circulant dans une dite seconde canalisation supérieure entre l'extrémité
15 supérieure de ladite seconde enceinte et ledit premier groupe de compression/détente, et, de préférence, des seconds moyens de chauffage de gaz aptes à chauffer du gaz à l'intérieure de la dite seconde enceinte, et

F) des moyens de refroidissement de gaz de préférence un échangeur
20 thermique aptes à refroidir du gaz circulant dans des dites premières canalisations inférieures entre l'extrémité inférieure de la première enceinte et ledit second groupe de compression/détente.

On comprend que les déplacements des deux premier et second piston sont couplés de sorte que le déplacement dudit premier piston en
25 mode détente ou « moteur thermodynamique » par expansion du gaz dans le premier cylindre n'est pas entièrement restituée au dit générateur électrique car il provoque le déplacement dudit second piston en mode compression pour la compression du gaz dans le second cylindre, et, inversement, le déplacement dudit second piston en mode détente par
30 expansion du gaz dans le second cylindre participe au déplacement dudit premier piston en mode compression pour la compression du gaz dans le premier cylindre.

Plus particulièrement, les dits premier et second piston sont couplés mécaniquement à un même vilebrequin apte à être actionné en rotation

par ledit moteur électrique et apte à actionner ledit générateur d'électricité, les déplacements desdits premier et second pistons étant de préférence calés à 180° en opposition de phase.

On comprend donc que le dit premier piston est en fin de course de rapprochement maximum de la culasse au fond dudit premier cylindre (« point mort haut ») quand ledit second piston est en position initiale de retrait maximum par rapport à la culasse de fond du dit second cylindre (« point mort bas ») et vice versa.

Plus particulièrement encore, les deux premier et second cylindres comportent chacun au moins deux soupapes permettant l'admission et respectivement l'échappement de gaz desdits premier et second cylindres, les ouverture et fermeture desdites soupapes étant commandées en fonction de la position des pistons dans lesdits cylindres ou des valeurs de la pression du gaz dans les dits cylindres.

Plus particulièrement, les ouvertures et fermetures des deux soupapes d'un cylindre sont commandées comme suit.

1- Pour un piston d'un dit groupe de compression/détente fonctionnant en mode compression :

1a- l'ouverture de la soupape d'admission et fermeture de la soupape d'échappement sont commandées lorsque le piston est à son point mort haut et commence à s'éloigner de la culasse du cylindre,

1b- la fermeture de la soupape d'admission est commandée lorsque le piston est à son point mort bas et se redirige vers la culasse du cylindre en comprimant le gaz, et

1c- l'ouverture de la soupape d'échappement est commandée dès que la pression dans le cylindre atteint la valeur de la pression de l'enceinte en aval.

2- pour un piston d'un dit groupe de compression/détente fonctionnant en mode détente encore appelé « mode moteur thermodynamique » :

2a- l'ouverture de la soupape d'admission et fermeture de la soupape d'échappement sont commandées lorsque le piston est à son point mort haut et commence à s'éloigner de la culasse du cylindre,

2b- la fermeture de la soupape d'admission est commandée avant que le piston n'atteigne son point mort bas de sorte que la valeur de la pression dans le cylindre soit sensiblement égale à celle de l'enceinte en aval lorsque le piston sera à son point mort bas et se redirigera vers la culasse du cylindre, et

2c- l'ouverture de la soupape d'échappement est commandée dès que le piston aura atteint son point mort bas

Dans un mode préféré de réalisation, l'installation selon l'invention est remplie d'un gaz neutre notamment l'azote, de préférence de l'argon.

Comme explicité plus loin, ce gaz argon est avantageux car il s'agit d'un gaz permanent et neutre, donc non corrosif pour les canalisations, gaz mono-atomique présentant l'avantage de s'échauffer facilement, donc un taux de compression limité, et un coût réduit compte tenu de son abondance.

Dans des modes de réalisation particuliers, l'installation présente les caractéristiques selon lesquelles :

- lesdits première enceinte et premier matériau réfractaire poreux sont capables de résister à une température T1 d'au moins 300°C, de préférence d'au moins 300 à 1000°C, de préférence encore de 400 à 600°C et

- lesdits seconde enceinte et second matériau réfractaire poreux sont capables de résister à une température T2 d'au moins 100°C, de préférence d'au moins 100°C à 500°C, de préférence encore de 200 à 400°C.

Avantageusement, ledit premier cylindre est plus volumineux que ledit second cylindre.

Plus particulièrement, ledit premier cylindre est dimensionné pour compresser et respectivement détendre, et réchauffer et respectivement refroidir un gaz entre les dites températures T1 et T2, tandis que ledit second cylindre est dimensionné pour compresser et respectivement détendre et réchauffer et respectivement refroidir un gaz entre la température T3 de -50 à -20°C et la température ambiante T0.

De préférence, lesdits matériaux réfractaires présentent une capacité calorifique volumique intrinsèque d'au moins $2000 \text{ kJ} \times \text{m}^{-3} \times \text{K}^{-1}$, de préférence encore au moins $2800 \text{ kJ} \times \text{m}^{-3} \times \text{K}^{-1}$.

Avantageusement, lesdits premier et second matériaux réfractaires poreux présentent une porosité de 20 à 60 %.

Plus particulièrement, lesdits premier et second matériaux réfractaires poreux sont constitués de briques poreuses assemblées les unes contre les autres, de préférence traversées de perforations cylindriques disposées parallèlement dans une même direction longitudinale que la dite enceinte dans laquelle elles sont assemblées, les dites perforations étant de préférence encore de diamètre 2 à 20 mm.

Dans des modes de réalisation particuliers, lesdits premier et second matériaux réfractaires poreux sont constitués d'argile cuite, ou de produits céramique à teneurs élevées en composés choisis parmi les oxydes, magnésie, alumine et chaux.

On peut citer comme matériaux réfractaires les chamotte, magnésie, dolomie, mullite mais aussi carbone, les bétons réfractaires, voire un matériau naturel comme les graviers siliceux.

Plus particulièrement, ledit premier matériau réfractaire poreux est constitué d'argile de seconde cuisson ou chamotte, et ledit second matériau réfractaire poreux est constitué d'argile de première cuisson.

Dans un mode de réalisation particulier, lesdites première et seconde enceintes ont un volume chacune d'au moins 500 m^3 , de préférence de 1000 à 5000 m^3 .

Avantageusement, lesdites première et seconde enceintes sont constituées chacune d'une pluralité de colonnes verticales en acier dont les extrémités supérieures et inférieures sont reliées à une même dite canalisation supérieure et respectivement inférieure par l'intermédiaire d'un collecteur supérieur et respectivement collecteur inférieur.

La présente invention fournit également un procédé de stockage d'énergie électrique sous forme d'énergie thermique dans lequel on utilise une installation selon l'invention caractérisée en ce que, après une étape

initiale de préchauffage du gaz de ladite deuxième enceinte que l'on chauffe à température T_2 , ladite installation étant remplie d'un gaz permanent, initialement à température ambiante T_0 on réalise les étapes successives dans lesquelles :

5 1) le gaz sortant de l'extrémité supérieure de la seconde enceinte à une température T_2 est chauffé à une température T_1 supérieure à une température T_2 par compression dans un dit premier groupe de compression/détente fonctionnant en mode compression avant d'être
10 envoyé à l'extrémité supérieure de ladite première enceinte, dans laquelle il s'établit une pression P_1 supérieure à la pression P_2 de la deuxième
 enceinte, ledit premier groupe de compression étant entraîné par ledit
 moteur électrique alimenté par l'énergie électrique à stocker (E1), et

 2) le gaz traverse de part en part ladite première enceinte entre
15 ladite extrémité supérieure et sa dite extrémité inférieure et il ressort de
 ladite extrémité inférieure de la première enceinte à une température
 ambiante T_0 ou une température $T'1$ supérieure à T_0 mais inférieure à T_2 ,
 et

 3) le gaz est ensuite refroidi le cas échéant à une température
20 ambiante T_0 grâce à desdits moyens de refroidissement de gaz de
 préférence du type échangeur de chaleur, en aval de la sortie de
 l'extrémité inférieure de la première enceinte, et

 4) le gaz est ensuite détendu à travers un dit second groupe de
 compression/ détente fonctionnant en mode détente, à ladite pression P_2
25 de la seconde enceinte inférieure à la pression P_1 , le gaz se trouve ainsi
 refroidi à une température T_3 inférieure à T_0 avant d'entrer dans ladite
 seconde enceinte par son extrémité inférieure, et

 5) on fait circuler le gaz à travers ladite seconde enceinte entre
 lesdites extrémités inférieure et supérieure de la deuxième enceinte, ce
 qui a pour effet d'augmenter le volume de matériau réfractaire de la partie
30 inférieure de ladite seconde enceinte refroidie à la température T_3 , et de
 diminuer celui de sa partie supérieure à la température T_2 ou $T'2$
 inférieure à T_2 mais supérieure à T_0 et $T'1$, et si nécessaire, le cas
 échéant on réchauffe à la température T_2 le gaz sortant de la seconde

enceinte à l'extrémité la température $T'2$.à l'aide de seconds moyens de chauffage de gaz et

6) on réitère les étapes 1) à 5) ci-dessus jusqu'à ce que la partie supérieure de la première enceinte réchauffée à la température $T1$ occupe
5 au moins 80% du volume de ladite première enceinte, et que la partie inférieure de la seconde enceinte refroidie à la température $T3$ occupe au moins 80% du volume de la seconde enceinte.

On comprend que à chaque étape 2), lorsque le gaz arrive à la température $T1$ à l'extrémité supérieure de la première enceinte laquelle
10 se trouve initialement entièrement à la température $T0$, et que le gaz descend depuis l'extrémité supérieure vers l'extrémité inférieure de la première enceinte, le passage du gaz dans ledit premier matériau réfractaire poreux a pour effet que le gaz cède ses calories audit premier matériau réfractaire dans la partie supérieure de la première enceinte
15 laquelle se trouve alors réchauffée à la température $T1$ tandis que sa partie inférieure non réchauffée ou moins réchauffée est à une température $T'1$ entre $T0$ et $T1$, en pratique entre $T0$ et $T2$. Au fur et à mesure des passages successifs du gaz qui circule en boucle fermée, le front ou plutôt la couche de transition thermique entre les partie
20 supérieure chaude et partie inférieure froide de la première enceinte progresse vers le bas et la partie supérieure à la température $T1$ occupe un volume de plus en plus important. Parallèlement, à l'étape 5), le gaz arrive à une température froide $T3$ en bas la deuxième enceinte ce qui a pour effet de céder des frigories audit second matériau réfractaire poreux
25 et donc refroidir la partie inférieure de la seconde enceinte laquelle passe de la température $T2$ à la température $T3$. Et, au fur et à mesure des différents passages le front ou plutôt la couche de transition thermique entre les partie supérieure chaude et partie inférieure froide de la seconde enceinte progresse vers le haut et la partie inférieure à la température $T3$
30 occupe un volume de plus en plus important.

L'énergie électrique $E1$ mise en œuvre pour alimenter en énergie le premier groupe de compression/détente fonctionnant en mode compression est donc stockée sous forme d'énergie thermique en calories dans la

première enceinte et frigories dans la deuxième enceinte, cette énergie est facteur du gradient T1-T3.

De préférence, on interrompt le stockage de manière à ce que la partie inférieure de la première enceinte à ladite température T'1
5 représente au moins 10% du volume de la première enceinte, de préférence 10 à 20% du volume de la première enceinte, et/ou la partie supérieure de la seconde enceinte à la température T2 représente moins de 20%, de préférence de 10 à 20% du volume de ladite seconde enceinte.

Selon d'autres caractéristiques particulières avantageuses de la
10 présente invention, on met en œuvre desdits matériaux réfractaires dont les propriétés et les masses sont telles que :

- lesdites températures T1 et T2 sont telles que $T1/T2=1.2$ à 2 et $T1/T0$ est supérieur à 1.3, de préférence supérieur à 1.5 et de préférence encore inférieur à 2.5 et $P1/P2$ est de 2 à 4, et

15 - T1 est de 300°C à 1000°C, de préférence de 400 à 600°C, et T2 est de 100 à 500 °C, de préférence de 200 à 400°C, et

- les pressions P1 est de 20 à 300 bar absolu (2MPa à 30MPa), plus particulièrement de 30 à 150 bar absolu (3 à 15 MPa) et P2 est de 10 à 100 bar absolu (1MPa à 10MPa), plus particulièrement de 20 à 50 bar
20 absolu (2 à 5 MPa) et

- T0 est de 10° à 40°C et T3 est de -50°C à -20°C, T1' étant le cas échéant de 20° à 100°C. Avantageusement, l'on stocke une quantité d'énergie électrique de 20MWh à 1.000MWh. La présente invention fournit également un procédé de restitution d'une énergie électrique à partir
25 d'une énergie thermique stockée par un procédé selon l'invention telle que définie ci-dessus, caractérisé en ce que, après une phase initiale de démarrage dans laquelle on actionne les dits premier et dit second groupe de compression avec le dit moteur électrique (51), au cours de laquelle phase initiale on fait fonctionner les dits premier et second groupe en
30 mode détente et respectivement compression de manière à établir un gradient de pression entre la pression P'1 de la première enceinte et une pression P'2 inférieure à P'1 de la deuxième enceinte, de préférence P'1 étant supérieur à P1 et P'2 étant inférieur à P2 ,on réalise les étapes successives dans lesquelles :

1) le gaz sortant par l'extrémité supérieure (1₁) de la première enceinte à la dite température T1 est détendu et refroidi à la température T2 à travers le dit premier groupe de compression/détente fonctionnant en mode détente et actionnant ledit générateur d'électricité (52) permettant de délivrer une énergie électrique restituée(E_R), et

2) le gaz traverse ladite deuxième enceinte depuis son extrémité supérieure jusqu'à son extrémité inférieure, une partie supérieure de la deuxième enceinte étant réchauffée à ladite température T2, une partie inférieure de la deuxième enceinte restant à ladite température T3 et, et

3) le gaz sortant de l'extrémité inférieure de ladite deuxième enceinte à son extrémité inférieure à la température T3 est ensuite comprimé en passant par ledit second groupe de compression/détente fonctionnant en mode compression actionné par l'énergie libérée par ledit premier groupe de compression/détente fonctionnant en mode détente, de manière à le réchauffer à une température T4 supérieure à une température ambiante T0 et le cas échéant supérieur à T'1, mais inférieure à T2 en sortie dudit second groupe de compression/détente (40), et

4) de préférence, le gaz est ensuite refroidi à la température ambiante T0 ou T'1 grâce à des dits moyens de refroidissement avant d'être introduit dans ladite première enceinte par son extrémité inférieure pour rejoindre la partie inférieure de ladite première enceinte qui se trouve à ladite température T'1, et

5) on fait circuler le gaz à travers ladite première enceinte, ce qui a pour effet d'augmenter le volume de matériau réfractaire de la partie inférieure (1b) qui est à ladite température T'1 et de diminuer le volume de matériau réfractaire de la partie supérieure (1a) à ladite température chaude T1, et

6) on réitère les étapes 1) à 5) ci-dessus jusqu'à ce que la partie inférieure de la première enceinte à ladite température (T1) représente au moins 80% du volume de la première enceinte et la partie supérieure de ladite deuxième enceinte à ladite température (T2) représente au moins 80% en volume de ladite deuxième enceinte.

On comprend que, pour maintenir dans les enceintes les mêmes températures T1 et T2 que dans le procédé de stockage d'énergie selon

l'invention, on doit établir à l'étape initiale un gradient de pression entre les deux enceintes supérieur par rapport au gradient de pression entre les enceintes lors du procédé de stockage selon l'invention.

On comprend que à chaque étape 2) lorsque le gaz arrive à la
5 température T_2 à l'extrémité supérieure de la seconde enceinte laquelle se
trouve initialement à pas plus de 20 % à la température T_2 voire T'_2
inférieure à T_2 , et que le gaz descend depuis l'extrémité supérieure vers
l'extrémité inférieure de la seconde enceinte, le passage du gaz dans ledit
10 second matériau réfractaire poreux a pour effet que le gaz cède ses
calories audit second matériau réfractaire dans la partie supérieure de la
seconde enceinte laquelle se trouve alors réchauffée à la température T_2
tandis que sa partie inférieure non réchauffée reste à la température
 T_3 . Au fur et à mesure des différents passages du gaz, le front ou plutôt
15 la couche de transition thermique entre les partie supérieure chaude et
partie inférieure froide de la deuxième enceinte progresse vers le bas et la
partie inférieure à la température T_3 occupe un volume de moins en moins
important. Parallèlement, à l'étape 5), le gaz arrive à une température
ambiante T_0 ou T'_1 en bas la première enceinte ce qui a pour effet de
20 céder des frigories au dit premier matériau réfractaire poreux et donc
refroidir la partie inférieure de la première enceinte laquelle passe de la
température T_1 à la température T'_1 . Et, au fur et à mesure des différents
passages du gaz, le front ou plutôt la couche de transition thermique entre
les partie supérieure chaude et partie inférieure froide de la première
25 enceinte progresse vers le haut et la partie supérieure à la température T_1
occupe un volume de moins en moins important.

L'énergie électrique E_1 stockée sous forme d'énergie thermique en
calories dans la première enceinte et frigories dans la deuxième enceinte
est ainsi convertie en énergie électrique E_R à partir de l'énergie mécanique
libérée par ledit premier groupe de compression/détente lors de la détente
30 et refroidissement du gaz de la première enceinte

De préférence, à l'étape 6), on interrompt le procédé de restitution
d'énergie de façon à ce qu'on maintienne une partie supérieure de la
première enceinte à une dite température T_1 , ladite partie supérieure

représentant moins de 20%, de préférence de 10 à 20%, en volume de ladite première enceinte, et/ou une partie inférieure de la deuxième enceinte à ladite température froide T3 représente moins de 20%, de préférence de 10 à 20%, de volume de la deuxième enceinte.

- 5 Avantageusement, le rendement de restitution d'énergie électrique par ledit générateur d'électricité E_R/E_1 est supérieur à 60%, de préférence de 70 à 80%.

 Selon d'autres caractéristiques avantageuses du procédé de restitution d'énergie électrique selon l'invention : caractérisé en ce que

- 10 - $P'1/P'2$ est de 2.2 à 5, et
 - T4 est de 30 à 100°C, et
 - la pression P'1 est de 60 à 400 bar absolu (6MPa à 40MPa) et P'2 est de 15 à 90 bar absolu (1.5MPa à 9MPa).

 D'autres avantages et autres caractéristiques de la présente
15 invention apparaîtront à la lumière de la description détaillée qui va suivre, en référence aux figures suivantes dans lesquelles :

 La figure 1A représente le diagramme fonctionnel d'une installation selon l'invention dans un procédé de stockage d'énergie selon l'invention, c'est-à-dire en phase de rechargement de la première enceinte ou source
20 chaude,

 La figure 1B représente le diagramme fonctionnel de l'installation selon l'invention dans une restitution sous forme d'énergie électrique de l'énergie thermique stockée au sein de la première enceinte ou source
chaude,

25 Les figures 2A à 2D représentent différentes phases d'un cycle de fonctionnement des premier et deuxième groupes de compression/détente 30 et 40 fonctionnant respectivement en mode de compression et mode de moteur thermo dynamique dans le cadre d'un procédé de stockage d'énergie.

30 La figure 3 représente en coupe et en vue de côté une enceinte d'une installation selon l'invention avec un arrachement montrant des perforations cylindriques,

Les figures 3A et 3B représentent en coupe selon un plan horizontal, deux variantes d'arrangement des éléments de matériaux réfractaires respectivement de forme carrée et hexagonale.

La figure 4 représente un cycle thermodynamique de type gaz parfait, ainsi qu'une compression et une détente d'un gaz réel.

La figure 5 représente le cycle thermodynamique de rechargement de la première enceinte à partir d'une énergie électrique en provenance du réseau.

La figure 6 représente le cycle thermodynamique de restitution de l'énergie en provenance de la première enceinte en vue de sa réinjection dans le réseau.

Les figures 7, 7A et 7B représentent la progression d'une couche de transition thermique de hauteur h au sein d'une dite première enceinte (figure 7) entre les extrémités supérieure (figure 7A) et inférieure (figure 7 B).

Les figures 8A et 8B représentent en coupe et en vue de côté un ensemble de réservoirs en forme de colonnes verticales sous pression constituant une enceinte selon l'invention, le système d'isolation étant soit extérieur auxdits réservoirs (3C), soit interne auxdits réservoirs (3D).

Le dispositif de stockage d'énergie électrique et restitution d'énergie électrique selon l'invention comporte :

- une première enceinte calorifugée 1, comprenant une paroi en acier de 10 à 100 mm d'épaisseur et remplie d'un premier matériau réfractaire poreux capable de résister à des températures et pressions élevées d'un gaz neutre qu'elle contient, T_1 de 300 à 1000 °C, plus particulièrement 400°C et P_1 de 50 à 300 bara (bar absolu ou 5MPa à 30MPa).

- une deuxième enceinte calorifugée 2, de même volume de 1000 à 5000m³ par exemple, comprenant une paroi en acier de 10 à 100 mm et remplie d'un deuxième matériau réfractaire poreux capable de résister aux température T_2 et pression P_2 du gaz inerte qu'elle contient, à savoir T_2 de 100 à 500°C, plus particulièrement environ 250°C.

Lesdites première enceinte 1 et deuxième enceinte 2 sont substantiellement entièrement remplies d'un matériau réfractaire poreux 11 à fort volume calorifique, qui sera décrit plus loin.

Le dispositif comporte des conduites de circulation en circuit fermé 5 entre lesdites première enceinte 1 et deuxième enceinte 2 qui permettent au gaz contenu dans l'installation de traverser chaque enceinte entre deux extrémités opposées 1_1-1_2 et 2_1-2_2 , situées de préférence respectivement au niveau des extrémités haute et basses desdites enceintes.

Les conduites de circulation entre lesdites première et deuxième 10 enceintes comportent en outre des moyens de compression/détente du gaz (30 et 40) entre les deux enceintes, explicités ci-après.

Plus particulièrement, lesdites première et deuxième enceintes sont disposées verticalement.

Sur les figures 1A et B, la première enceinte 1 comprend à son 15 extrémité supérieure 1_1 une conduite supérieure 1d, débouchant dans la partie supérieure 1a de la première enceinte, et à son extrémité inférieure 1_2 une première conduite inférieure 1c débouchant dans la partie inférieure 1b de la première enceinte 1.

De même, la deuxième enceinte 2 comporte à son extrémité 20 supérieure 2_1 une deuxième conduite supérieure 2d, débouchant dans la partie supérieure 2a de la deuxième enceinte 2, et à son extrémité inférieure 2_2 une deuxième conduite inférieure 2c débouchant dans la partie inférieure 2b de la deuxième enceinte 2.

Lesdites première et deuxième conduites inférieures 1c, 2b, et 25 supérieures 1d, 2d, sont également calorifugées.

Ladite deuxième enceinte 2 est couplée avec un premier réchauffeur 5a, de préférence un réchauffeur comprenant une résistance électrique $5a_1$ et un circuit fermé de canalisation de réchauffement $5a_3$ entre deux extrémités de la deuxième enceinte, le gaz circulant dans la canalisation 30 de réchauffement $5a_3$ est réchauffé par ledit premier réchauffeur 5a.

Une unité de compression et détente 50 est intercalée entre lesdites première enceinte 1 et deuxième enceinte 2. Cette unité de compression et

détente 50 comprend un moteur électrique 51 alimenté par une énergie électrique E_1 , permettant d'actionner un premier groupe de compression/détente 30 à piston, fonctionnant en mode compression comme il sera explicité ci-après. L'unité 50 comprend également un
5 deuxième groupe de compression/détente à piston 40 couplé au premier groupe de compression/détente 30 et fonctionnant de manière complémentaire comme il sera explicité ci-après.

Ledit premier groupe 30 est relié en sortie à l'extrémité supérieure 1_1 de ladite première enceinte 1 par ladite première canalisation
10 supérieure 1d, et ledit premier groupe 30 est relié à son entrée à l'extrémité supérieure 2_1 de ladite deuxième enceinte 2 par ladite deuxième canalisation supérieure 2d. Ladite deuxième canalisation supérieure 2d constitue la canalisation d'alimentation du premier groupe 30 et ladite première canalisation supérieure 1d constituant la canalisation
15 d'évacuation du gaz du premier groupe 30 après compression en cycle de stockage et ledit premier groupe fonctionnant en mode compression, comme il sera explicité ci-après.

Un second réchauffeur 5b, de préférence comportant une seconde résistance électrique $5a_2$, coopère avec ladite deuxième canalisation
20 supérieure 2d, ledit second réchauffeur 5b étant intercalé entre l'extrémité supérieure 2_1 de la deuxième enceinte 2 et l'entrée du premier groupe 30.

Dans les figures 1A, 1B, on a décrit deux réchauffeurs 5a-5b séparés, mais on peut mettre en avant un même et unique réchauffeur dès
lors que l'on adapte le cheminement des conduites.

25 Un second groupe de compression/détente 40 est relié à l'extrémité inférieure 1_2 de ladite première enceinte 1 par ladite première canalisation inférieure 1c, et ledit second groupe de compression/détente 40 est relié à l'extrémité inférieure 2_2 de ladite deuxième enceinte 2 par ladite deuxième canalisation inférieure 2c. Ladite première canalisation inférieure 1c sert à
30 l'alimentation du second groupe de compression/détente 40 en gaz évacué depuis la partie basse 1b de la première enceinte 1, et le gaz s'évacuant dudit second groupe de compression/détente 40 rejoint la partie basse 2b de ladite deuxième enceinte 2 par l'intermédiaire de ladite deuxième

canalisation inférieure 2c, lorsque le dispositif fonctionne en cycle de stockage et ledit second groupe fonctionne en mode détente ou « moteur thermo dynamique » comme il sera explicité ci-après.

Un échangeur de chaleur 6 coopère avec ladite première canalisation inférieure 1c, entre l'extrémité inférieure 1₂ de ladite première enceinte 1 et ledit second groupe de compression/détente 40.

L'unité 50 comporte également un alternateur électrique 52, attelé audit premier groupe de compression/détente 30, de façon à restituer une énergie électrique E_R lorsque ledit premier groupe de compression/détente fonctionne en mode détente ou « moteur thermo dynamique », comme il sera explicité ci-après, dans un cycle de déstockage d'énergie.

Le premier groupe de compression/détente 30 est alimenté en gaz par ladite première conduite supérieure 1d, assurant la liaison avec l'extrémité supérieure 1₁ de la première enceinte 1. Et, le gaz détendu sortant dudit premier groupe de compression/détente 30, lorsque le dispositif fonctionne en cycle de déstockage, est évacué vers l'extrémité supérieure 2₁ de la deuxième enceinte 2 par l'intermédiaire de la deuxième conduite supérieure 2d assurant ainsi la liaison avec l'extrémité supérieure 2₁ de la deuxième enceinte.

Ledit deuxième groupe 40 est alimenté en gaz par ladite deuxième conduite inférieure 2c assurant ainsi sa liaison avec l'extrémité inférieure 2₂ de la deuxième enceinte. Et, le gaz est évacué dudit deuxième groupe 40 en direction de l'extrémité inférieure 1₂ de ladite première enceinte 1, par l'intermédiaire de ladite première conduite inférieure 1c.

Sur les figures 2A à 2D, on a illustré le détail des fonctionnements des premier groupe 30 et deuxième groupe 40 lors d'un cycle de stockage d'énergie.

Le moteur électrique 51 est connecté à un vilebrequin 53 lui-même connecté à une génératrice 52, ledit vilebrequin actionnant un premier groupe 30, jouant le rôle de compresseur en phase de stockage d'énergie, et de moteur thermodynamique en phase de restitution d'énergie. Ledit vilebrequin est aussi relié audit second groupe 40 jouant le rôle de moteur

thermodynamique en phase de stockage d'énergie, et de compresseur en phase de restitution d'énergie.

Le premier groupe 30 est constitué d'un premier cylindre 30b dans lequel se déplace axialement un premier piston 30a muni de préférence de segments 30d, et relié, de manière connue, par une première bielle 30c au maneton, non représenté, dudit vilebrequin 53. La première culasse 34 en tête de cylindre est équipée de deux premières soupapes 31a-31b actionnées, de manière connue, mécaniquement, électriquement ou de manière hydraulique par des premiers actionneurs 32a-32b, de manière à mettre en communication l'intérieur du volume du cylindre avec les orifices respectifs 33a-33b selon les séquences respectives du cycle de compression lors du stockage de l'énergie, ou du cycle thermodynamique de détente lors de la restitution d'énergie.

De la même manière, le second groupe 40 est constitué d'un second cylindre 40b dans lequel se déplace axialement un second piston 40a muni de préférence de segments 40d, et relié, de manière connue, par une seconde bielle 40c au maneton, non représenté, dudit vilebrequin 53. La seconde culasse 44 en tête de cylindre est équipée de deux deuxièmes soupapes 41a-41b actionnées, de manière connue, mécaniquement, électriquement ou de manière hydraulique par des seconds actionneurs 42a-42b, de manière à mettre en communication l'intérieur du volume du cylindre avec les orifices respectifs 43a-43b selon les séquences respectives du cycle thermodynamique de détente lors du stockage de l'énergie, ou du cycle de compression lors de la restitution d'énergie.

Les premier et second pistons se déplacent en translation, de manière connue de l'homme de l'art, respectivement dans des premiers et second cylindres munis respectivement de premières et secondes culasses, ces dernières étant équipées de dites soupapes d'admission/échappement pilotées de manière connue de l'homme de l'art, mécaniquement, électriquement ou hydrauliquement selon des séquences qui seront détaillées plus avant dans la description. Les deux pistons 30a et 40b sont montés en opposition de phase, c'est-à-dire à 180° sur le vilebrequin 53. Ainsi, lorsque le vilebrequin 53 est animé d'un mouvement de rotation, les

premier et second pistons sont animés de mouvements de translation selon l'axe de leur cylindre respectif de telle manière que lorsque l'un des pistons se rapproche de sa propre culasse, le piston opposé s'éloigne de sa propre culasse.

5 Ledit vilebrequin est relié d'une part à un moteur électrique 51 et d'autre part à une génératrice 52, de telle manière qu'en phase de stockage d'énergie, le moteur électrique 51 est actionné grâce à de l'énergie électrique E_1 en provenance du réseau, la génératrice 52 étant alors déconnectée dudit réseau, et en phase active de restitution de
10 l'énergie, le moteur électrique 51 est déconnecté du réseau, et la génératrice 52 produit de l'énergie électrique E_R qu'elle réinjecte dans ledit réseau.

Chacune desdites culasses comporte au moins deux soupapes, une soupape d'admission et une soupape d'échappement, actionnées de
15 manière individuelle, mécaniquement, électriquement ou de manière hydraulique, selon une séquence particulière dépendant du type de cycle : cycle de charge ou cycle de restitution d'énergie.

Dans le cycle de charge, le premier groupe 30 joue le rôle de compresseur, le second groupe 40 jouant le rôle de moteur
20 thermodynamique, restitue de l'énergie audit premier groupe 30 jouant le rôle de compresseur. Par contre, dans le cycle de restitution de l'énergie, les rôles sont inversés et le second groupe 40 joue le rôle de compresseur, le premier groupe 30 jouant le rôle de moteur thermodynamique, restitue de l'énergie audit second groupe 40 jouant le rôle de compresseur.

25 Le compresseur selon l'invention présente un jeu d'au moins deux soupapes jouant respectivement le jeu de soupape d'admission et de soupape d'échappement.

Ainsi, lors du fonctionnement d'un premier ou deuxième groupe en mode « compresseur », les soupapes sont commandées individuellement
30 de manière à laisser pénétrer le gaz à « basse pression – basse température », dans le cylindre lorsque le piston s'éloigne de la culasse, en actionnant la première soupape, la seconde soupape étant hermétiquement close, et à laisser sortir le gaz à « haute pression – haute

température », lorsque le piston se rapproche de la culasse, en actionnant la seconde soupape, la première soupape étant hermétiquement close. Le cycle de compression s'effectue sur un tour de vilebrequin. Lors du cycle de compression, pour éviter les retours de gaz de la conduite aval vers la

5 chambre de compression, l'ouverture de la soupape d'échappement sera avantageusement synchronisée avec la montée en pression dans ladite chambre, c'est-à-dire que son ouverture ne sera déclenchée que lorsque la pression à l'intérieur de ladite chambre sera au moins égale à la pression en aval. De même, la fermeture de la soupape d'échappement sera

10 actionnée rapidement dès que le piston sera au plus proche de la culasse et commencera son mouvement inverse, la soupape d'admission sera alors actionnée pour laisser passer le gaz en provenance de la conduite amont.

Les groupes 30 et 40 en mode détente ou moteur thermodynamique fonctionnent de manière similaire sur un cycle correspondant à un tour de

15 vilebrequin, mais l'actionnement des soupapes est inversé par rapport à celui du compresseur.

Ainsi, lors du fonctionnement des groupes 30 et 40 en mode détente ou mode « moteur thermodynamique », les soupapes sont commandées individuellement de manière à laisser pénétrer le gaz à « haute pression –

20 haute température », dans le cylindre lorsque le piston s'éloigne de la culasse, en actionnant la première soupape, la seconde soupape étant hermétiquement close, et à laisser sortir le gaz à « basse pression – basse température », lorsque le piston se rapproche de la culasse, en actionnant la seconde soupape, la première soupape étant hermétiquement close. Le

25 cycle « moteur thermodynamique » s'effectue sur un tour de vilebrequin.

Le premier groupe fonctionne à haute température entre T_1 et T_2 , tant en mode compresseur lors du stockage, qu'en mode moteur thermodynamique lors du déstockage, il présente une cylindrée importante.

30 Le second groupe fonctionne à basse température entre T_3 et T_0 ou T'_1 , tant en mode moteur thermodynamique lors du stockage, qu'en mode compresseur lors du déstockage, il présente une cylindrée plus faible que le premier groupe.

Sur les figures 2A à 2D, on a représenté en coupe et en vue de côté un cycle complet du dispositif correspondant à un tour complet du vilebrequin, en phase de stockage, c'est-à-dire que le piston de gauche agit en tant que compresseur, tandis que le piston de droite agit en tant que moteur thermodynamique.

Sur la figure 2A :

- le premier piston 30a (de gauche) a atteint son point mort bas et commence à se rediriger vers la culasse 34 en comprimant le gaz : les deux soupapes 31a-31b sont fermées, la pression augmente dans le cylindre, et simultanément,
- le second piston 40a (de droite) a atteint son point mort haut et commence à s'éloigner alors de la culasse 44 ; la soupape 41b est fermée et la soupape 41a s'ouvre de manière à laisser entrer le gaz chaud en provenance du bas de la première enceinte 1.

Sur la figure 2B :

- la soupape 31b étant en position fermée, le premier piston 30a (de gauche) se dirige vers la culasse 34 et comprime le gaz jusqu'à la valeur P_1 , correspondant à la pression en aval, c'est-à-dire sensiblement à la valeur de la pression dans la première enceinte. La soupape 31a est alors ouverte de manière à diriger les gaz vers la conduite aval, et simultanément
- la soupape 41b étant en position fermée, le second piston 40a (de droite) s'éloigne de la culasse 44, et le gaz en provenance de la première enceinte continue à pénétrer dans le deuxième cylindre par la soupape 41a en position ouverte jusqu'à ce que le second piston de droite ait effectué une course d'une longueur e dans le second cylindre.

Sur la figure 2C:

- lorsque le second piston (de droite) a effectué la course «e», la soupape 41a est alors fermée. La soupape 41b restant fermée, le gaz chaud effectue son expansion et fournit de l'énergie au système, ladite énergie étant directement transférée au premier piston (de gauche), toujours en phase de compression.

- La distance e est calculée et ajustée en temps réel, de telle manière que, lorsque le second piston de droite se trouve au point mort bas, la pression à l'intérieur dudit second cylindre soit sensiblement égale à la pression régnant dans la seconde enceinte (P_2).
- 5 Sur la figure 2D :
- le second piston (de droite) atteint son point mort bas, le second piston se redirige ensuite vers la culasse, la soupape 41b est alors ouverte de manière à diriger le gaz vers le bas de la seconde enceinte 2.
- 10 - De même, le premier piston (de gauche) atteint son point mort haut et la soupape 31a est fermée, puis immédiatement la soupape 31b est ouverte de manière à laisser entrer le gaz en provenance du haut de la seconde enceinte 2.

Le cycle recommence alors comme expliqué en référence à la figure 15 2A. Il convient de noter que la valeur de « e » déclenchant la fermeture de la soupape 41a, n'est pas liée à la valeur de la pression P_1 déclenchant l'ouverture de la soupape 31a.

Lors du cycle de stockage précédemment décrit, l'énergie est essentiellement fournie par le moteur électrique 51. L'énergie fournie par 20 le moteur thermodynamique (piston de droite), représente une très faible quantité d'énergie, par exemple 1-5% de l'énergie fournie par le moteur électrique, mais il est indispensable de réinjecter cette énergie dans le système de manière à éviter que le rendement global d'un cycle stockage-déstockage ne s'effondre.

25 Le cycle du déstockage est identique au cycle de stockage, donc symétrique en ce qui concerne les séquences d'ouverture-fermeture des soupapes, le piston de gauche devenant le moteur thermodynamique, et le piston de droite devenant le compresseur. Le moteur thermodynamique fournit alors une très grande quantité d'énergie, alors que le compresseur 30 de droite n'utilise qu'une faible proportion de cette énergie, par exemple 1-5%, le reliquat d'énergie actionnant alors la génératrice 52, laquelle réinjecte dans le réseau l'énergie E_R .

Lors du démarrage du cycle de déstockage, il convient de lancer le vilebrequin, donc les mouvements des pistons. A cet effet, la génératrice n'étant pas en charge, le moteur électrique 51 est actionné pendant une courte période, par exemple 10 minutes, le temps que le dispositif
5 atteigne son régime de fonctionnement. Il est ensuite déconnecté et la génératrice 52 est connectée au réseau pour réinjecter l'énergie produite dans ledit réseau.

Dans une version préférée de l'invention, moteur électrique et génératrice sont une seule et unique machine tournante, ce qui simplifie
10 d'autant la réalisation mécanique du dispositif selon l'invention.

Pour la clarté des explications, chacun des premier et second groupes 30 et 40 a été représenté sur les figures 1A et 1B avec un seul ensemble piston-cylindre, mais on multiplie avantageusement le nombre d'ensembles piston-cylindre pour augmenter la capacité de l'unité 50. Les
15 premiers groupes 30 peuvent avoir un nombre de cylindres différents de celui du second groupe 40, mais ils restent associés au même vilebrequin, donc au même moteur électrique 51 et à la même génératrice 52.

Pour les fortes puissances, on dispose avantageusement plusieurs ensembles 50 fonctionnant en parallèle. Dans ce cas, chacun des
20 ensembles 50 fonctionne simultanément avec les autres dans le même mode, soit le mode stockage, soit le mode déstockage. Il n'est cependant pas indispensable qu'ils fonctionnent tous simultanément : certains groupes peuvent être à l'arrêt, par exemple pour maintenance. Les conduites d'amenées et de départ de gaz propres audit groupe à l'arrêt,
25 sont alors isolées du système grâce à des vannes d'isolation 61a-61b et 62a-62b représentées sur les figures 1A et 1B.

Les enceintes 1 et 2 sont remplies d'un matériau réfractaire poreux 11, permettant au gaz de circuler à travers lesdites enceintes de part en part entre leurs extrémités supérieure 1_1-2_1 et inférieure 1_2-2_2 . Les
30 matériaux réfractaires poreux mis en œuvre dans les première et deuxième enceintes présentent une porosité (pourcentage de vide) de 20 à 60%, ce qui constitue un bon compromis entre un échange thermique suffisant entre le gaz et les matériaux réfractaires d'une part, et d'autre part, une

perte de charge suffisamment faible, tout en conservant une vitesse de circulation suffisamment élevée à travers ledit matériau poreux. En effet, en opération, le dispositif selon l'invention est entièrement rempli de gaz neutre, de préférence d'argon, à savoir les circuits de canalisation mentionnés ci-dessus, les turbines et compresseurs, les réchauffeurs, ainsi que lesdites première et deuxième enceintes.

Sur la figure 3B on a représenté en coupe et en vue de côté une enceinte comportant une enveloppe externe métallique étanche 13, un système d'isolation interne 12 disposé contre la paroi de l'enveloppe externe métallique 13 et un empilement de blocs ou briques de matériaux réfractaires 11 présentant des canaux verticaux 11₁ sous la forme de perforations, de préférence à section circulaire de diamètre de 2 à 15 mm, les traversant intégralement et agencés de manière sensiblement uniforme, plan par plan, sur toute la section horizontale de ladite première enceinte, comme détaillé sur les figures 3A et 3B.

Les canaux 11₁ de différents blocs 11 superposés sont alignés les uns par rapport aux autres de manière à permettre la circulation du gaz dans la direction longitudinale ZZ de l'enceinte 1, 2 entre les deux extrémités opposées de l'enceinte sans obstacle entre les canaux de différents blocs disposés de façon superposée dans la même direction longitudinale ZZ. Une structure de supportage largement ajourée 14, située en partie basse de ladite enceinte, permet de répartir les gaz entrant ou sortant par les conduites inférieures calorifugées attenantes 1c, 2c, de manière sensiblement uniforme sur toute la section de ladite enceinte et de les diriger ainsi de manière optimale, donc avec un minimum de pertes de charges, vers les canaux 11₁ traversant verticalement lesdits blocs de matériaux réfractaires 11 en cas d'alimentation par le bas. De même, des espaces vides 15 sont prévus en partie haute des enceintes, de manière à permettre une bonne répartition du gaz lorsque les enceintes sont alimentées en gaz par le haut. Dans la figure 3, les gaz arrivent par le bas et sortent dans la partie haute de ladite enceinte, ce qui correspond à la phase de stockage pour la deuxième enceinte et la phase de restitution pour la première enceinte, comme explicité ci-après.

La figure 3A est une coupe horizontale partielle en vue de dessus selon le plan AA de la figure 3. Les blocs de matériaux réfractaires 11 sont carrés et perforés de multiples trous cylindriques circulaires parallèles selon la direction verticale ZZ perpendiculaire au plan de la figure. Les blocs sont avantageusement espacés les uns des autres, par exemple de $e=5\text{mm}$, de manière à ce que la dilatation desdits blocs, lors des changements de température, puisse se faire sans dommages, dans l'épaisseur dudit espace interstitiel, et que ce dernier puisse aussi servir, le cas échéant, de canal vertical de passage du gaz depuis le bas de l'enceinte vers le haut de l'enceinte. Les blocs de matériaux réfractaires 11 sont avantageusement en contact direct avec la paroi de l'enceinte, au niveau de l'isolation 12 de ladite enceinte, de manière à limiter les passages directs et incontrôlés des gaz chauds ou froids dans cette zone. Dans une première version de l'invention, les blocs dans les plans successifs de blocs de matériaux réfractaires sont avantageusement décalés les uns des autres d'un demi module ou demi bloc en quinconce, de manière à assurer une stabilité d'ensemble au sein de ladite enceinte, comme représenté sur la figure 3. Dans une version préférée de l'invention, les blocs sont empilés verticalement les uns sur les autres sur toute la hauteur de l'enceinte, pour constituer des chandelles indépendantes les unes des autres et distantes de 5 à 10 mm en toutes directions, ce qui autorise les dilatations lors des cycles de stockage-restitution, tout en évitant les risques d'usure au niveau des plans horizontaux AA lors desdits cycles de stockage-restitution, lorsqu'ils sont montés en quinconce comme détaillé sur la figure 3.

Sur la figure 3b, on a représenté des blocs réfractaires 11a de section hexagonale, à proximité de la paroi isolante d'une enceinte de forme cylindrique. Le raccordement avec la paroi isolante se fait soit par contact direct de l'arête d'un bloc, soit par une forme de bloc isolant 12a adaptée à la courbure, ou encore par bourrage d'un matériau isolant 12a, par exemple du même type que l'isolant 12 de ladite enceinte, soit encore par une forme de bloc réfractaire 12b adaptée à la courbure.

Le dispositif selon l'invention peut, en effet, fonctionner selon deux modes différents, à savoir :

- un premier mode, avec des cycles de stockage ou chargement, et
- un deuxième mode, avec des cycles de restitution d'énergie ou cycles de déstockage d'énergie.

Le mode de chargement ou stockage d'énergie fonctionne de la
5 manière suivante. Initialement, le gaz inerte, tel que l'argon ou l'azote
est chargé dans le dispositif, à savoir dans les deux enceintes, les turbines
et compresseurs, et les canalisations ; il est à température ambiante, par
exemple $T=20^{\circ}\text{C}$.

Sur la figure 1A, on a représenté le dispositif en phase de stockage
10 d'énergie ou rechargement d'énergie dans la première enceinte 1.

Initialement, l'installation complète est à la température ambiante
 T_0 de 10 à 20°C , le gaz contenu dans les enceintes et canalisations étant
donc à cette dite température ambiante T_0 et les deux enceintes sont à
une même pression initiale liée à la pression de chargement, par exemple
15 de 1 à 1,2 bara (bar absolu).

On réchauffe alors la masse de matériaux réfractaires à l'intérieur de
la seconde enceinte 2 jusqu'à une température T_2 de 250°C . Pour ce
faire, on fait circuler en boucle fermée le gaz de la deuxième enceinte
entre ses extrémités supérieure 2_1 et inférieure 2_2 que l'on réchauffe à
20 l'extérieur de l'enceinte à l'aide du premier réchauffeur $5a$, qui chauffe le
gaz à l'intérieur de la canalisation de réchauffement $5a_3$ assurant la boucle
entre les extrémités inférieure 2_2 et supérieure 2_1 de la seconde enceinte
à l'extérieur de celle-ci. On fait circuler le gaz dans la canalisation de
chauffage $5a_3$ grâce à un ventilateur $5a_5$ et le premier réchauffeur $5a$
25 comprend une première résistance $5a_1$. Une vanne $5a_4$ permet d'isoler le
premier réchauffeur $5a$ lorsqu'il est hors service en fin de préchauffage
initial, évitant ainsi les transferts et recirculation indésirables de gaz en
cycle normal.

Lorsque toute la masse de matériaux réfractaires dans la deuxième
30 enceinte 2 est portée à la température T_2 de 250°C , on ferme la vanne $5a_4$
et on envoie le gaz par l'intermédiaire de la seconde conduite supérieure
 $2d$ dans le premier compresseur $3b$, de manière à le réchauffer à la

température T1 de 300 à 600°C, par exemple 400°C en sortie dudit premier groupe 30 en mode compresseur. Un gradient de pression s'établit entre les deux enceintes, la première enceinte étant portée à la pression P1 de 20 à 300 baras (bar absolu, 5MPa à 30MPa) , plus particulièrement de 30 à 150 baras et la pression P2 dans la deuxième enceinte étant
5 réduite à environ 10 à 100 baras (2MPa à 10MPa) plus particulièrement de 20 à 50 baras.

Dans la première enceinte, la partie supérieure 1a de matériau réfractaire tend donc vers la température T1 de 400°C tandis que la partie
10 inférieure 1b s'établit à une température T'1 de 20 à 100°C.

En sortie à l'extrémité inférieure 1₂ de la première enceinte, le gaz doit être détendu par le deuxième groupe 40 en mode moteur thermodynamique pour être rétabli à la pression P2 de la deuxième
15 enceinte avant d'être réintroduit dans la deuxième enceinte, détendu et refroidi à une température T3 en bas de la deuxième enceinte. Dans la mesure où l'énergie stockée par le système est liée au gradient de température T1-T3, on a intérêt à établir une température T3 la plus basse possible. Pour ce faire, on a intérêt à introduire et rentrer dans le
20 deuxième groupe 40 en mode moteur thermodynamique un gaz à une température la plus basse possible. C'est pourquoi en sortie à l'extrémité inférieure 1₂ de la première enceinte, on refroidit le gaz de la température T'1 à la température T0 de 10 à 20°C à l'aide d'un échangeur 6 avant de l'introduire dans la première turbine 3c.

Au fur et à mesure des différents cycles de circulation du gaz lors du
25 fonctionnement en mode de stockage, la partie supérieure 1a de matériaux réfractaires de la première enceinte chaude à la température T1 de 400°C occupe un volume de plus en plus important de l'enceinte, c'est-à-dire que le gaz chaud introduit à l'extrémité supérieure 1₁ de la première enceinte 1 cède ses calories auxdits matériaux réfractaires et réchauffe un volume
30 de plus en plus important de matériau réfractaire de la première enceinte. Un front 1e qui correspond en fait à une zone de transition de température est schématisé par une ligne sur les figures 1 et 2. Les parties supérieure 1a chaude à la température T1 et inférieure 1b froide à

la température $T'1$ de 20 à 100°C, se déplacent progressivement vers le bas au fur et à mesure des cycles de circulation du gaz lors du stockage. Inversement, la partie inférieure 2b de la deuxième enceinte à la température $T3$ d'au moins -50 à -20°C occupe un volume de plus en plus important de l'enceinte 2. Le front 2e schématisant une ligne de séparation qui est en fait une zone de transition entre la partie inférieure 2b à la température $T3$ et une partie supérieure 2a à la température $T2$, se déplace progressivement vers le haut au fur et à mesure des différents cycles de circulation du gaz.

10 Le premier groupe 30 en mode compresseur est actionné par un moteur électrique 51 qui consomme une énergie électrique E_1 . Le deuxième groupe 40 en mode détente est couplé au premier groupe 30 en mode compresseur, de sorte que le deuxième groupe 40 fournit de l'énergie au premier groupe 30 en complément à l'énergie fournie par le premier moteur 51.

Au cours des cycles successifs de circulation du gaz en mode de stockage d'énergie, la température de la partie supérieure 2a de la deuxième enceinte a tendance à diminuer à une température $T'2$ inférieure à $T2$, c'est-à-dire en dessous de 200°C par exemple, de 150 à 175°C.

20 Pour pallier cette baisse de température de la partie supérieure 2a de la deuxième enceinte, on réchauffe avantageusement le gaz sortant à l'extrémité supérieure 2_1 de la deuxième enceinte à l'aide d'un second réchauffeur 5b comprenant une deuxième résistance $5a_2$ permettant de chauffer le gaz circulant dans la conduite supérieure 2d pour le maintenir à une température $T2$ de 200 °C avant qu'il n'arrive dans le premier groupe 30 en mode compresseur. De même, on règle le moteur 51 de manière à maintenir la température de sortie du premier groupe 30 en mode compresseur à la température $T1$ constante de l'ordre de 400°C.

30 Pendant toute la durée des différents cycles de stockage d'énergie, on mesure la température du gaz en entrée du second réchauffeur 5b et on ajuste en temps réel la quantité d'énergie électrique E_2 injectée par seconde dans le second réchauffeur 5b pour porter le gaz à la température sensiblement constante $T2$. La puissance injectée dans l'installation

pendant ces cycles de stockage correspondra donc à l'énergie électrique E_1 alimentant le moteur électrique 51, additionnée de l'énergie électrique E_2 alimentant le second réchauffeur 5b.

Comme mentionné précédemment lors des cycles de stockage
5 d'énergie, il est nécessaire de refroidir le gaz sortant à l'extrémité inférieure 1_2 de la première enceinte pour diminuer sa température jusqu'à la température T_0 avant de le détendre dans la première turbine 3c. Ceci se fait à l'aide de l'échangeur 6. L'échangeur de chaleur 6 est alimenté par un fluide de refroidissement tel que de l'eau ou de l'air froid à 10-20°C
10 pour refroidir le gaz sortant de la première enceinte à la température T'_1 de 20 à 100°C et le porter à la température T_0 de 10 à 20°C. Le fluide de refroidissement de l'échangeur 6 sort de l'échangeur 6 en 6d à une température de 30 à 100°C selon le débit d'air ou d'eau de refroidissement. L'échangeur thermique 6 libère donc une énergie
15 thermique E_3 sous forme d'eau réchauffée à 30-100°C. Cette énergie thermique E_3 est une énergie qui ne peut pas être stockée dans le système, mais qui peut être récupérée soit au sein d'une pompe à chaleur ou encore servir dans des processus industriels ou encore pour du réchauffage urbain. E_3 constitue donc, lors d'un cycle complet de stockage,
20 une perte qui affecte le rendement global du dispositif.

Pour stabiliser le système et optimiser son fonctionnement lors de la succession des différents passages du fonctionnement en mode de stockage au fonctionnement en mode de restitution d'énergie, il est
25 préférable d'interrompre le stockage avant que la première enceinte soit entièrement portée à la température T_1 ou que la deuxième enceinte soit entièrement portée à la température T_3 .

En pratique, on maintient dans la première enceinte une partie inférieure $1b$ représentant 10 à 20% du volume total de l'enceinte qui reste à la température T'_1 de 20 à 100°C. Parallèlement, on maintient une
30 partie supérieure $2a$ de la deuxième enceinte à la température T_2 ou proche de la température T_2 , c'est-à-dire que l'on interrompt le stockage lorsque la partie inférieure $2b$ de la deuxième enceinte à la température de -50 à -20°C représente 80 à 90% du volume de la deuxième enceinte.

Ce volume de 10 à 20% correspond en fait au volume de la couche de transition thermique de hauteur a décrite plus loin en référence aux figures 7.

Sur la figure 1B, on a représenté le cycle de restitution d'énergie stockée au sein de la première enceinte 1, sous forme d'énergie électrique Er.

Initialement, en fin de phase de chargement, lorsque le moteur 51 est interrompu, le gaz est immobile et la pression est équilibrée dans les deux enceintes 1 et 2, à une valeur intermédiaire de 30 à 100 baras (1,5.10⁵ à 2,5.10⁵ Pa).

Pendant une phase de démarrage du mode de fonctionnement en cycle de restitution de déstockage d'énergie, on actionne le moteur électrique 51 qui actionne les premier et deuxième groupes 30 et 40 qui lui sont couplés, de manière à ce que s'établisse un gradient de pression entre les deux enceintes 1 et 2 respectivement avec une pression P'1 supérieure à P1 dans la première enceinte 1 et une température P'2 inférieure à P2 dans la deuxième enceinte 2.

En effet, lors du démarrage, le deuxième groupe 40 en mode compresseur aspire le gaz en provenance de la seconde enceinte et l'envoie dans la première enceinte, ce qui augmente la pression dans ladite première enceinte, alimentant ainsi en gaz le premier groupe 30 en mode moteur thermodynamique, pour revenir enfin dans la seconde enceinte et continuer son cycle de circulation. Dès que le premier groupe 30 atteint une inertie de fonctionnement en mode thermodynamique suffisante pour actionner le deuxième groupe 40 fonctionnant en mode compresseur, on arrête d'alimenter le moteur électrique 51.

En fonctionnement établi, le deuxième groupe 40 aspire le gaz de la partie supérieure de la première enceinte vers la deuxième enceinte en réalisant un refroidissement et une détente du gaz. Pour optimiser le fonctionnement de l'installation, il est souhaitable que le gaz en sortie du deuxième groupe 40 arrive sensiblement à la même température T2 que la température du gaz en partie supérieure de l'enceinte 2 en fin de cycle de stockage. Pour ce faire, les pertes au niveau des groupes 30 et 40 sont

telles que $P'1/P'2 > P1/P2$. En pratique, $P'1$ est de 60 à 400 baras et $P'2$ de 15 à 90 baras.

Lorsque le gradient de pression $P'1 / P'2$ est établi, on coupe le moteur 51. Le gaz dans la partie inférieure 2b de la deuxième enceinte est à la température $T3$ de -50 à -20°C qui était sa température en fin de cycle de stockage. Et le gaz est convoyé en direction du deuxième groupe 40 afin d'y être recomprimé à la pression $P'1$. Il est concomitamment réchauffé à la température $T4$, laquelle température $T4$, à cause des pertes du deuxième groupe 40 est supérieure à la température $T0$. Typiquement $T4$ est de l'ordre de 30 à 100°C .

Le gaz à la température $T4$ supérieure à $T0$ en sortie du deuxième groupe 40 doit donc être refroidi à la température $T'1$ à l'aide de l'échangeur thermique 6 avant d'être envoyé à l'extrémité inférieure 1_2 de la première enceinte 1, dont la partie inférieure $1b$ se trouve à la température $T'1$ de 20 à 100°C .

Le refroidissement du gaz en sortie du deuxième groupe 40 lors du cycle de déstockage a pour effet qu'une énergie thermique $E4$ est perdue par réchauffement du liquide de refroidissement. Mais, ce refroidissement du gaz de la température $T4$ à $T'1$ permet de faciliter, pendant les cycles de stockage d'énergie, le refroidissement du gaz en sortie de l'extrémité inférieure 1_1 de la première enceinte de la température $T'1$ jusqu'à la température $T0$ en aval de l'échangeur thermique afin que le gaz arrive à température ambiante $T0$, en entrant dans le deuxième groupe 40 lors des cycles de stockage d'énergie. Globalement, la perte de l'énergie thermique $E4$ lors des cycles de déstockage est compensée par une perte d'énergie thermique $E3$ au niveau de l'échangeur 6 moins importante lors des cycles de stockage. Les énergies thermiques $E3 + E4$ correspondent globalement aux pertes de l'installation liées au gradient $T4-T0$ et dues aux pertes au niveau des premier et deuxième groupes 30 et 40.

L'énergie restituée par le système E_R correspond à l'énergie libérée par le premier groupe 30 qui actionne un générateur-alternateur électrique 52 qui permet de restituer de l'énergie sous forme d'électricité. Globalement, E_R correspond plus précisément à l'énergie

libérée par le premier groupe 30 en mode moteur thermodynamique diminuée de l'énergie consommée par le deuxième groupe 40 qui lui est couplé. D'autre part, le rendement global de l'installation entre les cycles de stockage et déstockage s'écrit de la manière suivante : $E_R = E_1 + E_2 - (E_3 + E_4) - E_5$. E_5 représentant les pertes à travers l'isolation des enceintes, des conduites, des premier et deuxième groupes 30 et 40 et des divers accessoires.

Les pertes $E_3 + E_4 + E_5$ représentent 20 à 40% par rapport aux énergies $E_1 + E_2$ fournies, le rendement global de l'installation et du procédé de restitution d'énergie étant donc de 60 à 80%.

Pour optimiser le rendement énergétique de l'installation, il est avantageux de ne pas réchauffer complètement la première enceinte à la température T_1 en fin de cycle de stockage, de manière à conserver une couche de transition thermique dans la partie inférieure 1b à température T_0 ou T'_1 , et conserver une couche de transition thermique dans la partie supérieure 2b de la deuxième enceinte à la température T_2 . De même, lors des cycles de restitution d'énergie en fin de cycle, on arrête le déstockage avant que la première enceinte ne soit complètement refroidie et la deuxième enceinte ne soit complètement réchauffée de manière à conserver une couche de transition thermique dans la partie supérieure 1a correspondant à 10 à 20% du volume de l'enceinte qui reste à la température T_1 , et concomitamment, une couche de transition thermique dans la partie inférieure 2b de la deuxième enceinte qui reste à la température T_3 , cette couche représentant également 10 à 20% du volume de la deuxième enceinte.

Cette couche de transition thermique dans la partie supérieure 2b de la deuxième enceinte à température T_2 facilite le rétablissement du gradient de pression entre les deux enceintes P'_1/P'_2 en début de cycle de restitution d'énergie correspondant aux mêmes températures T_1/T_2 respectivement dans les première/deuxième enceintes.

Le maintien d'une couche de transition thermique à une extrémité des première et deuxième enceintes en fin de cycle de stockage et en fin de cycle de restitution est aussi avantageux en termes de rendement

énergétique global de l'installation. En effet, si l'on voulait réchauffer entièrement la première enceinte en fin de cycle de stockage, le gaz sortant à l'extrémité inférieure 1_1 de la première enceinte pendant le réchauffement du volume correspondant à la couche de transition thermique à l'extrémité inférieure de la première enceinte, sortirait à une température supérieure à la température $T'1$, ce qui impliquerait une énergie de refroidissement $E3$ supérieure et donc des pertes énergétiques supérieures.

Parallèlement, si en fin de cycle de restitution, on voulait réchauffer entièrement l'extrémité inférieure 2_2 de la deuxième enceinte, le gaz sortant à l'extrémité inférieure 2_2 de la deuxième enceinte sortirait à une température supérieure à $T3$ et arriverait en aval de l'échangeur thermique 6 à une température $T4$ augmentée, ce qui impliquerait une énergie thermique de refroidissement $E4$ supérieure et donc des pertes énergétiques là encore supérieures.

En outre, le maintien d'une partie inférieure $1b$ à la température $T'1$ en fin de stockage et une partie supérieure $2a$ à la température $T2$ dans la deuxième enceinte en fin de stockage facilite le démarrage du cycle de restitution, lequel nécessite une mise en œuvre du moteur 51 pendant un temps plus réduit pour établir un fonctionnement stable avec les gradients de température $T1$ et $T2$ dans les première et deuxième enceintes respectivement aux pressions $P'1$ et $P'2$ lors de la restitution. De même, le maintien d'une couche supérieure $1a$ chaude à la température $T1$ dans la première enceinte en fin de restitution et le maintien d'une couche inférieure froide $2b$ à la température $T3$ en fin de cycle de restitution, facilite le démarrage du cycle de stockage ultérieur, en diminuant l'énergie électrique $E2$ nécessaire pour maintenir le gaz entrant dans le premier groupe 30 à la température $T2$.

Les dimensionnements des premier cylindre 30b et second cylindre 40b sont différents, le premier cylindre 30b étant plus grand que le second cylindre 40b, compte tenu des pressions et températures de gaz auxquelles ils sont soumis.-En effet, le volume d'un gaz augmentant avec sa température, le cylindre fonctionnant avec des gaz entrant à

température élevée devra être de taille plus importante. Or, lors de la phase de stockage, le premier groupe 30 fonctionne à température T1 de 300 à 500°C, tandis que le deuxième groupe 40 fonctionne à température T3 d'environ -50°C à -20. Il y a lieu de relever que la mise en œuvre d'un
5 petit deuxième groupe 40 pendant la phase de stockage facilite son entraînement par le premier groupe 30. De même, la mise en œuvre d'un petit deuxième groupe 40 réduit les pertes énergétiques et l'énergie E_R correspond à l'énergie libérée par le premier groupe 30 diminuée de l'énergie consommée par le deuxième groupe 40. Il y a donc un intérêt
10 supplémentaire à mettre une température T3 la plus basse possible en entrée du deuxième groupe 40 pour également diminuer la consommation d'énergie affectant le rendement global énergétique du système.

La mise en œuvre d'un refroidissement à la fois lors des cycles de stockage d'énergie et de déstockage d'énergie en aval de l'extrémité
15 inférieure de la première enceinte lors du stockage d'énergie et en amont de l'extrémité inférieure de la première enceinte lors de la restitution d'énergie, à l'aide d'un même échangeur thermique, permet de diminuer la taille de l'échangeur thermique en comparaison d'un mode de réalisation dans lequel on ne refroidirait pas, par exemple lors des cycles de
20 restitution d'énergie, le gaz dans un échangeur thermique en aval de l'extrémité inférieure de la première enceinte.

Au fur et à mesure du déroulement successif des cycles de circulation du gaz lors de la phase de restitution d'énergie, le front 1e séparant la partie inférieure 1b froide à T'1 et la partie supérieure 1a
25 chaude à T1 de la première enceinte se déplace progressivement vers le haut, tandis que le front 2e séparant la partie supérieure chaude 2a à température T2 de la partie inférieure 2b froide à température T3 de la deuxième enceinte se déplace progressivement vers le bas.

On notera que la mise en service de l'échangeur 6 sur le circuit de
30 retour du gaz entre le deuxième groupe 40 et la partie inférieure de la première enceinte 1, d'une part et, d'autre part, le fonctionnement du premier groupe 30 sont ajustés de manière à maintenir lesdites températures T1 et T2 à des valeurs constantes respectivement, par

exemple de 1 300°C et 500°C, pendant tout le cycle de restitution d'énergie.

Il y a lieu également d'observer que, selon une caractéristique originale de la présente invention essentielle, les températures T1 et T2
5 sont constantes et identiques sur les cycles de chargement/stockage et déchargement/restitution d'énergie.

Sur la figure 4, on a représenté un graphique correspondant à un cycle thermodynamique dans lequel les abscisses représentent les volumes et les ordonnées représentent les pressions absolues (bara). On a
10 représenté quatre isothermes correspondant respectivement à :

- T0 (température ambiante de 20°C),
- T1 (température première enceinte : 400°C),
- T2 (température chaude seconde enceinte : 200°C),
- T3 (température froide seconde enceinte : -50°C /-20°C).

15 Entre les points A et B, on a représenté un cycle de compression-détente adiabatique d'un gaz parfait selon la loi : $PV^\gamma = \text{constante}$, entre les températures T1 et T2. Pour une machine réelle, le comportement est différent et, dans le cas d'une compression adiabatique entre T2 et T1, la courbe suivie est AB1, qui montre que la température T1 sera atteinte
20 pour une pression Pb1 inférieure à Pb et un volume Vb1 supérieur à Vb. De même, dans une détente adiabatique, la température T2 est atteinte pour une pression Pa1 inférieure à Pa et un volume Va1 supérieur à Va.

Il convient de noter que pour une gestion efficace de la chaleur dans
25 les 2 enceintes, il importe qu'au niveau de la partie haute de chacune de ces enceintes le gaz soit à des températures sensiblement identiques lors de la phase de stockage et lors de la phase de restitution. Pour expliciter ce point, considérons par exemple la partie haute de la première enceinte. Durant la phase de stockage, le gaz chaud pénètre depuis le haut dans le
30 stock de réfractaires. La température des solides ne peut pas dépasser celle du gaz mais seulement s'en approcher au mieux. Durant la phase de restitution, la température du gaz qui sort en partie haute du stock de matériaux réfractaires de la première enceinte peut au mieux être égale à

celle desdits matériaux réfractaires. On peut faire des remarques identiques pour la seconde enceinte. Or, dans le but d'obtenir le meilleur rendement possible il importe au niveau de la première enceinte, que toute la chaleur du gaz injectée durant la phase de stockage soit exploitée au mieux durant la phase de restitution, et au niveau de la seconde 5 enceinte que toute la chaleur récupérée du gaz durant la phase de stockage soit réutilisée au mieux durant la phase de restitution. Autrement dit, on a intérêt à rechercher des températures T1 et T2 qui soient aussi voisines que possible (idéalement identiques) lors 10 des phases de stockage et de restitution.

On vient de voir sur la figure 4 que si on vise les mêmes températures T1 et T2 lors d'une détente ou d'une compression avec des machines réelles, les rapports des pressions sont différents. Ceci signifie que les rapports des pressions des ensembles moteur-compresseur utilisés 15 lors des phases de stockage et de restitution doivent être différents. Par exemple sur la figure 4, lors du stockage la pression haute est P_{b1} et la pression basse P_a , alors que durant la phase de restitution la pression haute est P_b et la pression basse P_{a1} .

Dans les figures 5 et 6, on a représenté les cycles 20 thermodynamiques correspondant respectivement aux cycles de stockage et de restitution de l'énergie dont les installations et procédés sont décrits en liaison avec les figures 1 et 2. Ces cycles thermodynamiques correspondent à un volume unitaire de gaz, par exemple 1 m^3 , effectuant un cycle complet durant lequel il acquiert de l'énergie dans une enceinte 25 ou un compresseur, puis le restitue dans un moteur thermodynamique, ou l'autre enceinte. Ledit volume unitaire effectue ce cycle thermodynamique en un temps très court par rapport à la durée complète d'un cycle de stockage ou de restitution, et effectue ainsi des centaines ou des milliers, voire des dizaines de milliers de cycles thermodynamiques, c'est-à-dire 30 repasse autant de fois dans le compresseur, le moteur thermodynamique, les conduites et chacune des enceintes.

La figure 5 illustre la phase de stockage décrite dans la figure 1. Le gaz en provenance de la partie haute de la seconde enceinte entre dans le

premier groupe 30 en mode compresseur à la température T_2 au point A. Il est comprimé et ressort à la température T_1 au point B. Il pénètre la masse de réfractaire 11 de la première enceinte 1, traverse la masse de réfractaire en cédant ses calories, ce qui engendre une descente progressive du front de température vers le bas. le gaz ressort en partie basse de ladite première enceinte en 6a à une température de l'ordre de 20/100°C, puis passe dans l'échangeur 6 où il cède à l'extérieur l'énergie E3 pour ressortir dudit échangeur à une température sensiblement constante T_0 correspondant à la température ambiante de 20°C, correspondant au point C du diagramme. Il passe ensuite dans le moteur thermodynamique du deuxième groupe 40 et cède son énergie au premier groupe 30 en mode compresseur, et il ressort du deuxième groupe 40 en mode moteur thermodynamique dans la canalisation 2c à la température T_3 (-30°C), correspondant au point D du diagramme. Il entre enfin en partie basse de la seconde enceinte, ou il récupère des calories au sein de la masse de réfractaires qu'il parcourt du bas vers le haut, ce qui engendre une remontée progressive du front de température 2e vers le haut. Le gaz ressort enfin de la seconde enceinte en partie haute et est dirigé vers le compresseur 3b, dans lequel il rentre à la température T_2 , avec le cas échéant un passage dans le réchauffeur 5b, où il reçoit le cas échéant un quota d'énergie E2 visant à réajuster ladite température du gaz pour atteindre la valeur T_2 . Le gaz est alors revenu au point A du diagramme et effectue alors un nouveau cycle.

Le cycle thermodynamique de restitution de l'énergie détaillé sur la figure 6 se déroule comme suit. Le gaz à haute température T_1 quitte la première enceinte 1 par le haut, ce qui correspond au point B du diagramme. Le gaz passe ensuite dans le premier groupe 30 en mode moteur thermodynamique où il restitue l'énergie au générateur électrique (ER) et se retrouve au point A du diagramme à la température T_2 . Puis il entre par le haut de la seconde enceinte et cède ses calories à la masse de réfractaires 11, ce qui engendre une descente progressive du front de température 2e vers le bas, et ressort par le bas de ladite enceinte à une température T_3 correspondant au point D du diagramme. Le gaz passe ensuite dans le deuxième groupe 40 en mode

compresseur et ressort à une température T_4 supérieure à la température T_0 souhaitée : il passe alors dans l'échangeur de température 6 où il restitue à l'extérieur le quota d'énergie E_4 , pour se retrouver à la température T_0 , donc au point C dudit diagramme. Enfin, il pénètre bas
5 dans la première enceinte où il récupère de l'énergie et s'échauffe pour atteindre le point B dudit diagramme, ce qui engendre une remontée progressive du front de température $1e$ vers le haut, donc un refroidissement global de ladite première enceinte.

Sur la figure 7 on a représenté, sur la gauche en coupe en vue de
10 côté, la première enceinte et le front montant $1e$ séparant la zone inférieure à la température d'environ 20°C , et la partie supérieure à la température d'environ 400°C . Ce front montant correspond en fait à une zone de transition d'une hauteur h comme détaillé sur le graphique droit de la même figure 7. Lors de la phase de stockage de l'énergie, la zone de
15 transition se déplace vers le bas (figure 7B), et lors de la phase de restitution elle se déplace vers le haut (figure 7A). De manière à rester dans les plages de fonctionnement des moteurs thermodynamiques correspondant à leur meilleur rendement, avantageusement on ne charge complètement, ni ne décharge complètement la première enceinte, ce qui
20 correspond, comme détaillé sur la figure 7B, à limiter le cycle de charge/décharge à la hauteur maximale δH_1 , correspondant par exemple à 80-90% de la hauteur totale, donc de la capacité calorifique totale de ladite première enceinte. De même, cette zone de transition existe aussi
25 dans la seconde enceinte mais elle correspond à des températures différentes, par exemple -30°C en partie basse, et 200°C en partie haute. Le pourcentage de la masse calorifique utilisé correspond alors à une hauteur δH_2 , ledit pourcentage utilisé étant de préférence sensiblement identique à celui de ladite première enceinte, c'est-à-dire 80-90%.

30 Grâce à cette configuration incluant 2 enceintes à des températures différentes, dont les masses de matériaux réfractaires ne sont utilisées qu'à 80-90% de leur capacité calorifique, il est possible d'obtenir un rendement global très bon, de l'ordre de 60 à 80%.

Ceci est premièrement dû au fait que l'énergie est alternativement pompée et récupérée entre 2 niveaux de température T_2 à T_1 qui sont tous les deux largement supérieurs à la température ambiante. On sait d'après le théorème de Carnot que l'efficacité des machines thermiques s'améliore lorsque la température de la source chaude augmente.

Une seconde raison réside dans l'égalité des températures T_1 et T_2 durant les 2 phases de stockage/restitution, obtenues en utilisant des ensembles turbine-compresseur différents travaillant avec des rapports de pression différents (P_1/P_2 et P'_1/P'_2).

Une troisième raison de la bonne efficacité globale provient du fait que durant la phase de stockage les pertes du premier groupe 30 en mode compresseur sont extraites sous forme de chaleur dans le gaz. Cette énergie est stockée dans le réfractaire de la première enceinte 1 au même titre que la chaleur pompée depuis la seconde enceinte. Cette perte d'énergie du compresseur chaud est en grande partie récupérée sous forme de travail utile durant la phase de restitution.

La quatrième raison résulte de l'utilisation de régénérateurs pour échanger la chaleur avec le gaz. Il est en effet possible d'aménager des ensembles de pièces réfractaires capables de fonctionner à très haute température et présentant une très grande surface d'échange entre le gaz et les solides. Ceci permet d'approcher au mieux l'égalité des températures T_1 et T_2 durant les 2 phases. La capacité de stockage est liée à la masse de réfractaire. La disposition selon l'invention présente l'avantage que toute la quasi-totalité de la masse de réfractaire est mise à profit pour jouer un double rôle : stockage de la chaleur et échange de chaleur avec le gaz.

La dernière raison du bon rendement global résulte du fait que le froid produit dans la détente dans le premier groupe 30 en mode moteur thermodynamique durant la phase de stockage est également stocké dans l'enceinte 2. Durant la phase de restitution ceci permet de refroidir le gaz avant la compression par le deuxième groupe 40 en mode compresseur, ce qui diminue l'énergie absorbée par ce deuxième groupe 40 en mode compresseur, énergie qui vient en diminution de l'énergie restituée E_R .

La puissance d'une machine thermodynamique est donnée par la formule :

$$W = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

Où m est le débit massique de gaz en kg/s, C_p la capacité calorifique du gaz en J/kg/K, T_1 la température du gaz à l'entrée et T_2 celle à la sortie. Pour un moteur thermodynamique, $T_2 < T_1$ et W est alors négatif (puissance extraite du gaz). Pour un compresseur W est positif (puissance fournie au gaz).

Dans la formule thermodynamique : $PV^\gamma = \text{constante}$,
 10 $\gamma = 1.66$ pour un gaz mono-atomique,
 $\gamma = 1.4$ pour un gaz di-atomique, et
 $\gamma = 1.33$ pour un gaz tri-atomique,

Le rapport des températures T_1 , T_2 dépend du rapport des pressions P_1 , P_2 ou P'_1 , P'_2 selon la formule :

15
$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

On constate que pour un rapport de températures donné, le rapport des pressions est plus faible pour un gaz monoatomique ($\gamma = 1,66$) que pour un gaz diatomique ($\gamma = 1,4$) ou triatomique ($\gamma = 1,33$). Ceci présente un intérêt pratique pour la conception des enceintes. En effet, l'épaisseur des parois des enceintes est liée à la pression maximale du gaz. De plus, ce procédé ayant la capacité de stocker de très grandes quantités d'énergie mettra en œuvre des enceintes de grandes dimensions. On a donc économiquement intérêt à rechercher le niveau minimal de pression interne du gaz. Un moyen simple de parvenir à ce résultat est de limiter le
 20
 25 taux de compression du gaz, donc de choisir de préférence un gaz monoatomique.

Ainsi, le meilleur cycle sera obtenu avec un gaz mono-atomique, tel l'hélium, le néon, l'argon ou les autres gaz rares de masse molaire plus élevée.

Les gaz di-atomiques tel l'azote et tri-atomique tel l'air ou le CO2 sont très abondants et bon marché, mais à haute température, sont agressifs vis-à-vis des métaux constituant l'enveloppe des enceintes, les canalisations ou les aubes des turbines et compresseurs, c'est pourquoi on utilise avantageusement comme gaz au sein du dispositif un gaz neutre totalement inerte vis-à-vis des éléments métalliques du dispositif, tel l'hélium, le néon, l'argon ou les autres gaz rares de masse molaire plus élevée. Hélium, néon et argon sont présents dans l'air ambiant en pourcentages significatifs et ils sont disponibles en grande quantité à des couts acceptables. Dans ces trois gaz, l'argon représente le gaz le plus performant pour son utilisation dans le dispositif selon l'invention, car il est mono-atomique, il est inerte à haute et très haute température vis-à-vis des éléments métalliques composant le dispositif selon l'invention et il présente une masse molaire élevée ainsi qu'un coût d'acquisition faible.

Ledit premier matériau réfractaire de la première enceinte est par exemple de la chamotte, encore appelée argile de deuxième cuisson (« fire clay ») capable de résister à 1200 °Cm ou encore un produit à haute teneur en alumine et/ou magnésie. Le deuxième matériau réfractaire dans la deuxième enceinte peut être de l'argile de première cuisson, du béton réfractaire, voire un matériau naturel tel du gravier siliceux.

Comme mentionné précédemment, les matériaux réfractaires se présentent sous forme de briques perforées par des canaux parallèles de 5 à 20 mm de diamètre et traversants de part en part, et disposés de manière à permettre la circulation et le passage du gaz à travers le canaux dans la direction longitudinale de l'enceinte.

Les divers types de matériaux réfractaires à très haute température disponibles à des conditions économiques acceptables sont listés dans le tableau ci-dessous.

<i>Produit</i>	<i>Composition</i>	<i>T limite</i>	<i>Densité</i> <i>Kg . m⁻³</i>	<i>Capacité calorifique</i> <i>(J * kg⁻¹ * K¹)</i>	<i>Capacité calorifique</i> <i>(kJ * m⁻³ * K¹)</i>
Chamotte	Argile cuite (35% Al ₂ O ₃)	1250°C	2000	1000	2000

Magnésie	MgO	1800°C	3000	1200	3600
Dolomie	CaO-MgO	1800°C	2700	1100	2970
Mullite	70% Al ₂ O ₃	1700°C	2600	1088	2830
Carbone	C	2200°C	2200	1300	2860

La chamotte reste le plus économique de tous ces produits, mais sa capacité calorifique reste très nettement inférieure à celle des autres.

De plus, l'énergie stockée dans un mètre cube de réfractaire est donnée par la formule : $E = V \cdot C_p \cdot (T - T_0)$ dans laquelle E est exprimé en joules, V est le volume de réfractaire chauffé, C_p la capacité calorifique en J/m³/K, T la température de chauffage et T₀ la température initiale avant chauffage.

On constate ainsi que plus la température de stockage T est élevée, plus l'énergie stockée par unité de volume de réfractaire est importante.

Ainsi, la magnésie présente la meilleure performance en terme de capacité calorifique volumique avec une valeur $C_p = 3\,600 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$.

A titre d'exemple, un dispositif de 3000 MWh de capacité, capable de stocker et de restituer une puissance de 100 MW, correspondant à une charge en 40 heures et une restitution en 30 heures est constitué :

- d'une première enceinte cylindrique de 41m de diamètre et de 20m de hauteur, dans laquelle est installé 16500 m³ de magnésie, présentant une porosité de 25%, soit 37000t de matériaux réfractaires, et
- d'une seconde enceinte de 48m de diamètre et de 20m de hauteur dans laquelle est installé 22500 m³ de chamotte, présentant une porosité de 35%, soit 29500 t de matériaux réfractaires, un groupe de stockage composé d'un moteur électrique 3a de 100MW, un compresseur 3b de 117MW, une turbine 3c de 17MW, d'un groupe de restitution composé d'une génératrice 4a de 100MW, d'une turbine 4c de 156MW, d'un compresseur 4b de 56MW. Le volume interne de l'installation complète, y compris les conduites de raccordement, mais excluant le volume correspondant à la masse effective de réfractaire est d'environ 35000 m³. Une partie du gaz est confinée au sein des matériaux isolants qui isolent

les parois des enceintes des réfractaires chauds (environ 12000 m³) et seul un volume libre de 23000 m³ peut participer à la circulation du gaz. L'installation est chargée en argon avant démarrage à la pression de 1 bar, soit 2 baras, ce qui correspond à un volume de 70000Nm³ dont
5 46000 Nm³ peuvent circuler. En phase de stockage la pression est de 3 baras dans la première enceinte P1 et de 0,9 baras dans la seconde P2, tandis que durant le déchargement, ces pressions sont respectivement 3,3 (P'1) et 0,6 (P'2) baras. La température T1 s'établit à 1256°C tandis que la température T2 est de 600°C. En phase de stockage le débit de gaz
10 dans la turbine 3c ou le compresseur 3b est de 193 Nm³/s, c'est-à-dire à un temps de cycle thermodynamique selon la figure 5 de 238 secondes, ce qui correspond à 600 cycles de circulation du gaz pour la durée d'un chargement complet. On obtient des valeurs similaires pour le cycle de déchargement.

15 L'énergie stockée dans les première et seconde enceintes n'est pas perdue sauf en cas d'inactivité prolongée du dispositif en chargement-déchargement, les pertes s'effectuant alors vers le milieu extérieur, principalement par le biais de l'isolant 12 desdites enceintes.

Comme le procédé intéresse essentiellement le stockage d'énergie
20 en grande quantité, les enceintes sont relativement volumineuses ce qui veut dire que le rapport surface sur volume est faible. Les pertes thermiques pour les grandes enceintes ne représentent qu'une faible fraction de l'énergie stockée. L'isolation thermique est réalisée avec des matériaux présentant une grande porosité, comme des feutres de fibres
25 céramiques ou des mousses céramiques. Les calculs montrent que pour l'exemple cité précédemment une isolation de 1m d'épaisseur avec des matériaux fibreux classiques permet de limiter la perte d'énergie à moins de 1% par jour.

Le niveau de la température T1 (400°C) restant modeste, les
30 enceintes 1 et 2 seront avantageusement réalisées en acier, de préférence à partir de conduites acier de grand diamètre (1 à 2m). Les enceintes seront alors constituées d'une pluralité de colonnes ou conduites verticales
70 de grande hauteur, par exemple de 12-24m de hauteur, lesdites

conduites 70 étant reliées entre elles comme illustré sur les figures 8C & 8D. Toutes les colonnes seront de préférence identiques en termes de diamètre, de hauteur et de remplissage en matériau réfractaire, de manière à présenter une perte de charge identique pour chacune. Elles
5 seront reliées entre elles en partie haute 70a à un collecteur-diffuseur supérieur 71a et en partie basse 70b à un collecteur-diffuseur inférieur 71b. L'ensemble des colonnes pourra être isolé du milieu ambiant par l'extérieur, comme représenté sur la figure 8C, ou alors chacune des colonnes peut être isolée depuis l'intérieur de ladite colonne, ce qui réduit
10 de manière significative la capacité de charge en matériau réfractaire, mais qui permet en contre partie de faire fonctionner l'ensemble à plus haute température, car l'acier du réservoir sous-pression se trouve alors sensiblement à la température ambiante. On couple avantageusement les deux modes d'isolation intérieur-extérieur, ce qui a alors pour effet de
15 réduire la température à laquelle est soumise la paroi en acier par rapport au système d'isolation par l'extérieur précédemment décrit en référence à la figure 8C.

L'invention a été décrite avec les premier et second groupes de compression / détente de gaz dont les axes de déplacement des pistons
20 sont parallèles. Lorsque le premier piston se dirige vers sa culasse, le piston opposé s'en éloigne, car les bielles respectives sont reliées à un même maneton : les premier et second pistons sont alors calés en opposition de phase à 180° . Mais on reste dans l'esprit de l'invention si lesdites bielles sont associées à des manetons différents, soit en
25 quadrature (90°), soit en phase (0°), ou encore présentant tout autre angle de déphasage. De même, si les mouvement axiaux des pistons sont perpendiculaires l'un à l'autre, et si les bielles sont reliées au même maneton du vilebrequin, les pistons sont alors en quadrature de phase (90°).

30 La version préférée de l'invention est le mouvement en opposition de phase avec déplacements axiaux des pistons parallèles, car le travail fourni par le piston moteur est directement transféré au piston compresseur opposé. Dans le cas de déphasage autre que 180° , l'énergie fournie par le piston moteur est transférée sous forme d'énergie cinétique

de rotation au vilebrequin, pour être ensuite retransférée au piston compresseur avec le déphasage correspondant.

REVENDICATIONS

1. Installation de stockage et restitution d'énergie caractérisée en ce qu'elle comprend :

A) une première enceinte calorifugée (1) remplie d'un premier matériau réfractaire poreux apte à être traversée par un gaz circulant à travers ladite première enceinte entre 2 extrémités supérieure et inférieure (1₁,1₂) de ladite première enceinte, et

B) une seconde enceinte calorifugée (2) remplie d'un second matériau réfractaire poreux apte à être traversée par un gaz circulant à travers ladite seconde enceinte entre 2 extrémités supérieure et inférieure de ladite seconde enceinte (2₁,2₂), et

C) des canalisations calorifugées (1c,2c,1d,2d) permettant la circulation de gaz en circuit fermé entre les 2 enceintes comprenant des première et seconde canalisations supérieures (1d,2d) entre les extrémités supérieures (1₁, 2₁) des deux enceintes et des première et seconde canalisations inférieures (1c,2c) entre les extrémités inférieures (1₂,2₂) des deux enceintes , et

D) une unité de compression et détente de gaz (50) comprenant

D1) au moins un premier groupe de compression/détente de gaz (30) intercalé entre les extrémités supérieures (1₁, 2₁) desdites première et seconde enceintes (1, 2) auxquelles il est relié par des première et respectivement seconde canalisations supérieures, comprenant un premier piston (30a) apte à être déplacé en translation dans un premier cylindre (30b), ledit premier groupe de compression/détente de gaz étant couplé à un moteur électrique (51) et un générateur électrique (52), ledit premier groupe de compression/détente de gaz (30) pouvant fonctionner :

- soit en mode compression, ledit premier piston étant déplacé en translation par actionnement dudit moteur électrique alimenté par une énergie électrique à stocker (E1) pour compresser dans ledit premier cylindre le gaz provenant de ladite extrémité supérieure (2₁) de la seconde enceinte et l'envoyer à ladite extrémité supérieure (1₁) de la première enceinte ,

- soit en mode détente ou « moteur thermodynamique » ledit premier piston étant déplacé en translation par expansion dans ledit premier cylindre du gaz provenant de ladite extrémité supérieure (1₁) de la première enceinte pour l'envoyer à ladite extrémité supérieure (2₁) de la
5 seconde enceinte par ladite seconde canalisation supérieure (2d), le déplacement dudit premier piston (30a) permettant d'actionner ledit générateur électrique (52) et ainsi restituer de l'énergie électrique (E_R) et D2) au moins un second groupe de compression/détente de gaz (40) intercalé entre les extrémités inférieures desdites première et
10 seconde enceintes auxquelles il est relié par lesdites première et respectivement seconde canalisations inférieures (1c, 2c), comprenant un second piston (40a) apte à être déplacé en translation dans un second cylindre (40b), le déplacement dudit second piston étant couplé à celui dudit premier piston de sorte que ledit second groupe de
15 compression/détente de gaz (40) est apte à fonctionner :

- soit en mode détente ou « moteur thermodynamique » quand ledit premier groupe de compression/détente fonctionne en mode compression, pour détendre le gaz provenant de ladite extrémité inférieure (1₂) de la première enceinte et l'envoyer à ladite extrémité inférieure (2₂) de la
20 seconde enceinte,

- soit en mode compression quand ledit premier groupe de compression/détente fonctionne en mode détente, pour compresser le gaz provenant de ladite extrémité inférieure (2₂) de la seconde enceinte et l'envoyer à ladite extrémité inférieure (1₂) de la première enceinte, et

E) des premiers moyens de chauffage de gaz (5b) aptes à chauffer le gaz circulant dans une dite seconde canalisation supérieure (2d) entre l'extrémité supérieure de ladite seconde enceinte et ledit premier groupe de compression/détente (30), et, de préférence, des seconds moyens de chauffage de gaz (5a) aptes à chauffer du gaz à l'intérieure de ladite
25 seconde enceinte, et
30

F) des moyens de refroidissement de gaz de préférence un échangeur thermique (6) aptes à refroidir du gaz circulant dans desdites premières canalisations inférieures (1c) entre l'extrémité inférieure (1₂) de la première enceinte et ledit second groupe de compression/détente (40).

2. Installation de stockage et restitution d'énergie selon la revendication 1, caractérisée en ce que lesdits premier et second pistons sont couplés mécaniquement à un même vilebrequin (53) apte à être actionné en rotation par ledit moteur électrique (51) et apte à actionner ledit générateur d'électricité, les déplacements desdits premier et second pistons étant de préférence calés à 180° en opposition de phase.

3. Installation de stockage et restitution d'énergie selon la revendication 2, caractérisée en ce que les deux premier et second cylindres (30b, 40b) comportent chacun au moins deux soupapes (31a-31b, 41a-41b) permettant l'admission et respectivement l'échappement de gaz desdits premier et second cylindres, les ouvertures et fermetures desdites soupapes étant commandées en fonction de la position des pistons (30a, 40a) dans lesdits cylindres ou des valeurs de la pression du gaz dans lesdits cylindres.

4. Installation de stockage et restitution d'énergie électrique selon l'une des revendications 1 à 3 caractérisée en ce qu'elle est remplie d'un gaz neutre, de préférence de l'argon.

5. Installation de stockage et restitution d'énergie électrique selon l'une des revendications 1 à 4 caractérisée en ce que :

- lesdits première enceinte et premier matériau réfractaire poreux sont capables de résister à une température T1 d'au moins 300°C, de préférence d'au moins 300 à 1000°C, de préférence encore de 400 à 600°C, et

- lesdites seconde enceinte et second matériau réfractaire poreux sont capables de résister à une température T2 d'au moins 100°C, de préférence d'au moins 100°C à 500°C, de préférence encore de 200 à 400°C.

6. Installation de stockage et restitution d'énergie électrique selon l'une des revendications 1 à 5 caractérisée en ce que ledit premier cylindre est plus volumineux que ledit second cylindre.

7. Installation de stockage et restitution d'énergie électrique selon l'une des revendications 1 à 6 caractérisée en ce que ledit premier cylindre est dimensionné pour compresser et respectivement détendre ,et réchauffer et respectivement refroidir un gaz entre les dites 5 températures T1 et T2, tandis que ledit second cylindre est dimensionné pour compresser et respectivement détendre et réchauffer et respectivement refroidir un gaz entre la température T3 de -50 à -20°C. et la température ambiante T0.

8. Installation de stockage et restitution d'énergie électrique 10 selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisée en ce que lesdits premier et second matériaux réfractaires poreux présentent une porosité de 20 à 60 %.

9. Installation de stockage et restitution d'énergie électrique selon la revendication 8 caractérisée en ce que lesdits premier et second 15 matériaux réfractaires poreux sont constitués de briques poreuses (11) assemblées les unes contre les autres, de préférence traversées de perforations cylindriques (11₁) disposées parallèlement dans une même direction longitudinale que ladite enceinte dans laquelle elles sont assemblées, lesdites perforations étant de préférence encore de diamètre 20 5 à 20 mm .

10. Installation de stockage et restitution d'énergie électrique selon l'une des revendications 1 à 9 caractérisée en ce que lesdits premier et second matériaux réfractaires poreux sont constitués d'argile cuit à teneurs élevées en composés choisis parmi les magnésie, alumine 25 et chaux.

11. Installation de stockage et restitution d'énergie électrique selon l'une des revendications 1 à 10 caractérisée en ce que ledit premier matériau réfractaire poreux est constitué d'argile de seconde cuisson ou chamotte .

12. Installation de stockage et restitution d'énergie électrique selon l'une des revendications 1 à 11 caractérisée en ce que ledit second matériau réfractaire poreux est constitué d'argile de première cuisson.

13. Installation de stockage et restitution d'énergie électrique selon l'une des revendications 1 à 12 caractérisée en ce que lesdites première et seconde enceinte ont un volume chacune d'au moins 500 m³, de préférence de 1000 à 5000 m³.

14. Installation de stockage et restitution d'énergie électrique selon l'une des revendications 1 à 13 caractérisée en ce que lesdites première et seconde enceinte sont constituées chacune d'une pluralité de colonnes verticales (70.) en acier dont les extrémités supérieures (70a) et inférieures (70b) sont reliées à un même dite canalisation supérieure (1d,2d) et respectivement inférieure (1c,2c) par l'intermédiaire d'un collecteur supérieur (71a) et respectivement collecteur inférieur (71b).

15. Procédé de stockage d'énergie électrique (E1) sous forme d'énergie thermique dans lequel on utilise une installation selon l'une des revendications 1 à 14 caractérisée en ce que, après une étape initiale de préchauffage du gaz de ladite deuxième enceinte que l'on chauffe à température T_2 , ladite installation étant remplie d'un gaz permanent, initialement à température ambiante T_0 on réalise les étapes successives dans lesquelles :

1) le gaz sortant de l'extrémité supérieure (2_1) de la seconde enceinte (2) à une température T_2 est chauffé à une température T_1 supérieure à une température T_2 par compression dans un dit premier groupe de compression/détente (30) fonctionnant en mode compression avant d'être envoyé à l'extrémité supérieure (1_1) de ladite première enceinte, dans laquelle il s'établit une pression P_1 supérieure à la pression P_2 de la deuxième enceinte, ledit premier groupe de compression (30) étant entraîné par ledit moteur électrique (51) alimenté par l'énergie électrique à stocker (E1), et

2) le gaz traverse de part en part ladite première enceinte entre ladite extrémité supérieure (1_1) et sa dite extrémité inférieure (1_2) et il

ressort de ladite extrémité inférieure (1_2) de la première enceinte à une température ambiante T_0 ou une température $T'1$ supérieure à T_0 mais inférieure à T_2 , et

3) le gaz est ensuite refroidi le cas échéant à une température ambiante T_0 grâce à desdits moyens de refroidissement de gaz (6) de préférence du type échangeur de chaleur, en aval de la sortie de l'extrémité inférieure (1_2) de la première enceinte, et

4) le gaz est ensuite détendu à travers un dit second groupe de compression/ détente (40) fonctionnant en mode détente, à ladite pression P_2 de la seconde enceinte inférieure à la pression P_1 , le gaz se trouve ainsi refroidi à une température T_3 inférieure à T_0 avant d'entrer dans ladite seconde enceinte par son extrémité inférieure (2_2), et

5) on fait circuler le gaz à travers ladite seconde enceinte entre lesdites extrémités inférieure (2_2) et supérieure (2_1) de la deuxième enceinte, ce qui a pour effet d'augmenter le volume de matériau réfractaire de la partie inférieure ($2b$) de ladite seconde enceinte refroidie à la température T_3 , et de diminuer celui de sa partie supérieure ($2a$) à la température T_2 ou $T'2$ inférieure à T_2 mais supérieure à T_0 et $T'1$, et si nécessaire, le cas échéant on réchauffe à la température T_2 le gaz sortant de la seconde enceinte à l'extrémité la température $T'2$ à l'aide de seconds moyens de chauffage de gaz (5b) et

6) on réitère les étapes 1) à 5) ci-dessus jusqu'à ce que la partie supérieure ($1a$) de la première enceinte réchauffée à la température T_1 occupe au moins 80% du volume de ladite première enceinte, et que la partie inférieure ($2b$) de la seconde enceinte refroidie à la température T_3 occupe au moins 80% du volume de la seconde enceinte.

16. Procédé selon la revendication 15 caractérisé en ce que, à l'étape 6), on interrompt le stockage de manière à ce que la partie inférieure ($1b$) de la première enceinte à ladite température $T'1$ représente au moins 10% du volume de la première enceinte, de préférence 10 à 20% du volume de la première enceinte, et/ou la partie supérieure ($2a$) de la seconde enceinte à la température (T_2) représente moins de 20%, de préférence de 10 à 20% du volume de ladite seconde enceinte.

17. Procédé selon l'une des revendications 15 ou 16 caractérisé en ce que lesdites températures T1 et T2 sont telles que $T1/T2=1,2$ à 2 et $T1/T0$ est supérieur à 1,3, de préférence supérieur à 1,5 et de préférence encore inférieur à 2,5 et $P1/P2$ est de 2 à 4.

5 18. Procédé selon l'une des revendications 15 à 17 caractérisé en ce que T1 est de 300°C à 1000C, de préférence de 400 à 600°C, et T2 est de 100 à 500 °C, de préférence de 200 à 400°C.

10 19 Procédé selon la revendication 17 ou 18 caractérisé en ce que les pressions P1 est de 20 à 300 bar absolu (2MPa à 30 MPa)et P2 est de 10 à 100 bar absolu (1 à 10 MPa).

20. Procédé selon l'une des revendications 17 à 20 caractérisé en ce que T0 est de 10° à 40°C et T3 est de -50°C à -20°C, T1' étant le cas échéant de 20° à 100°C.

15 21. Procédé selon l'une des revendications 17 à 20 caractérisé en ce que l'on stocke une quantité d'énergie électrique de 20 MWh à 1000 MWh.

20 22. Procédé de restitution d'une énergie électrique (E_R) à partir d'une énergie thermique stockée par un procédé selon l'une des revendications 15 à 21 caractérisé en ce que, après une phase initiale de démarrage dans laquelle on actionne les dits premier et dit second groupe de compression (30,40) avec le dit moteur électrique (51), au cours de laquelle phase initiale on fait fonctionner les dits premier et second groupe en mode détente et respectivement compression de manière à établir un gradient de pression entre la pression P'1 de la première enceinte et une pression P'2 inférieure à P'1 de la deuxième
25 enceinte, de préférence P'1 étant supérieur à P1 et P'2 étant inférieur à P2 ,on réalise les étapes successives dans lesquelles :

30 1) le gaz sortant par l'extrémité supérieure (1_1) de la première enceinte (1) à la dite température T1 est détendu et refroidi à la température T2 à travers le dit premier groupe de compression/détente

fonctionnant en mode détente et actionnant ledit générateur d'électricité (52) permettant de délivrer une énergie électrique restituée (E_R), et

2) le gaz traverse ladite deuxième enceinte depuis son extrémité supérieure (2_1) jusqu'à son extrémité inférieure (2_2), une partie supérieure (2a) de la deuxième enceinte étant réchauffée à ladite température T2, une partie inférieure (2b) de la deuxième enceinte restant à ladite température T3 et, et

3) le gaz sortant de l'extrémité inférieure (2_2) de ladite deuxième enceinte à son extrémité inférieure (2_2) à la température T3 est ensuite comprimé en passant par ledit second groupe de compression/détente fonctionnant en mode compression actionné par l'énergie libérée par ledit premier groupe de compression/détente fonctionnant en mode détente, de manière à le réchauffer à une température T4 supérieure à une température ambiante T0 et le cas échéant supérieur à T'1, mais inférieure à T2 en sortie dudit second groupe de compression/détente (40), et

4) de préférence, le gaz est ensuite refroidi à la température ambiante T0 ou T'1 grâce à des dits moyens de refroidissement (6) avant d'être introduit dans ladite première enceinte (1) par son extrémité inférieure (1_2) pour rejoindre la partie inférieure (1b) de ladite première enceinte qui se trouve à ladite température T'1, et

5) on fait circuler le gaz à travers ladite première enceinte, ce qui a pour effet d'augmenter le volume de matériau réfractaire de la partie inférieure (1b) à ladite température T'1 et de diminuer le volume de matériau réfractaire de la partie supérieure (1a) à ladite température chaude T1, et

6) on réitère les étapes 1) à 5) ci-dessus jusqu'à ce que la partie inférieure (1b) de la première enceinte à ladite température (T1) représente au moins 80% du volume de la première enceinte et la partie supérieure (2a) de ladite deuxième enceinte à ladite température (T2) représente au moins 80% en volume de ladite deuxième enceinte.

23. Procédé selon la revendication 22 caractérisé en ce que, à l'étape 6, on interrompt le procédé de restitution d'énergie de façon à ce qu'on maintienne une partie supérieure (1a) de la première enceinte à

une dite température T1, ladite partie supérieure (1a) représentant moins de 20%, de préférence de 10 à 20%, en volume de ladite première enceinte, et/ou une partie inférieure (2b) de la deuxième enceinte à ladite température froide T3 représente moins de 20%, de préférence de 10 à 20%, de volume de la deuxième enceinte.

24. Procédé selon l'une des revendications. 22 ou 23 caractérisé en ce que le rendement de restitution d'énergie électrique par ledit générateur d'électricité (4a) E_R/E_1 est supérieur à 60%, de préférence de 70 à 80%.

25. Procédé selon l'une des revendications 22 à 24 caractérisé en ce que $P'1/P'2$ est de 2,2 à 5.

26. Procédé selon l'une des revendications 22 à 25 caractérisé en ce que T4 est de 30 à 100°C.

27 Procédé selon l'une des revendications 22 à 26 caractérisé en ce que la pression P'1 est de 60 à 400 bar absolu (6 à 40 MPa) et P'2 est de 15 à 90 bar absolu (1,5 à 9 MPa).

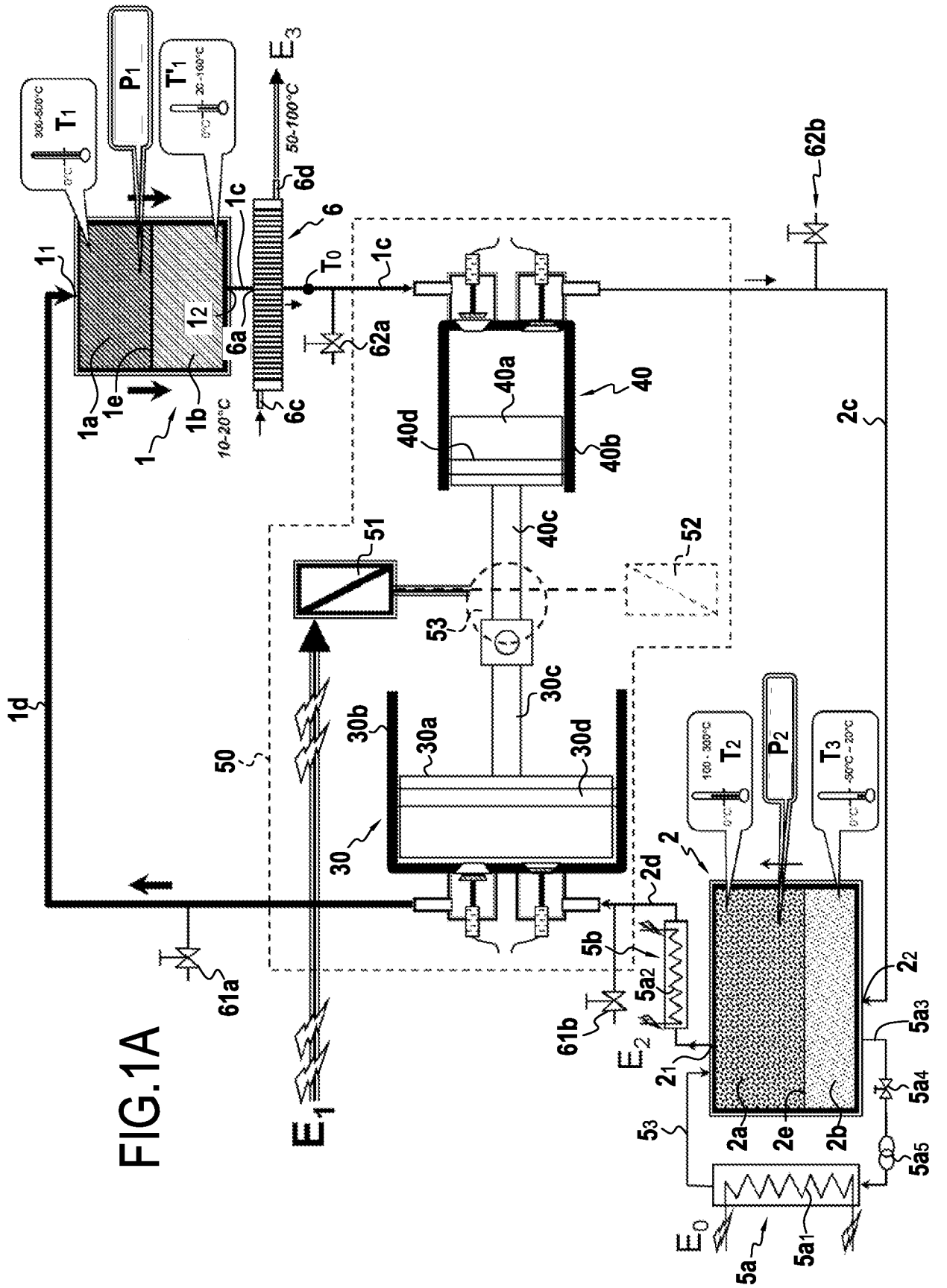


FIG.1A

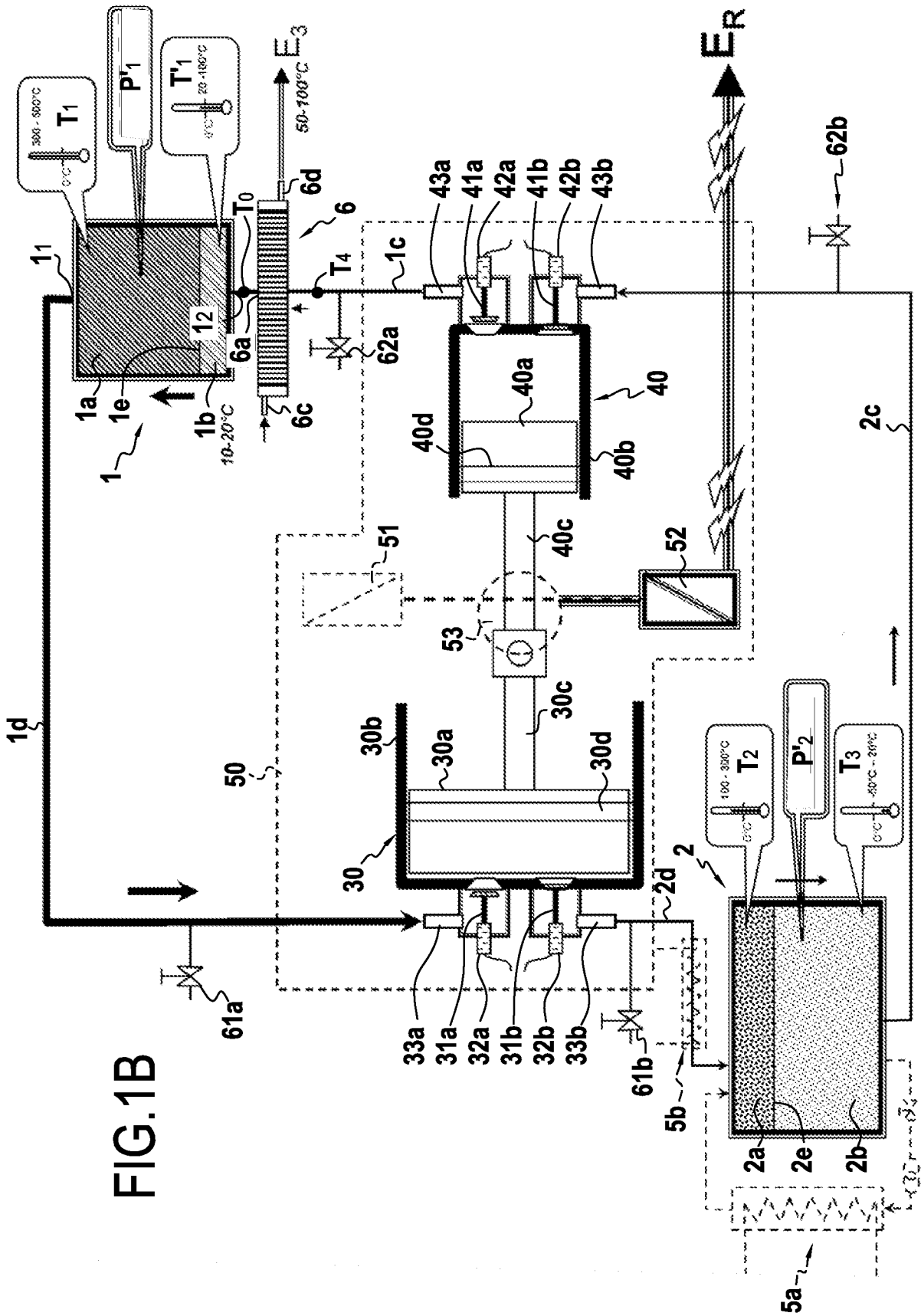


FIG.1B

3/9

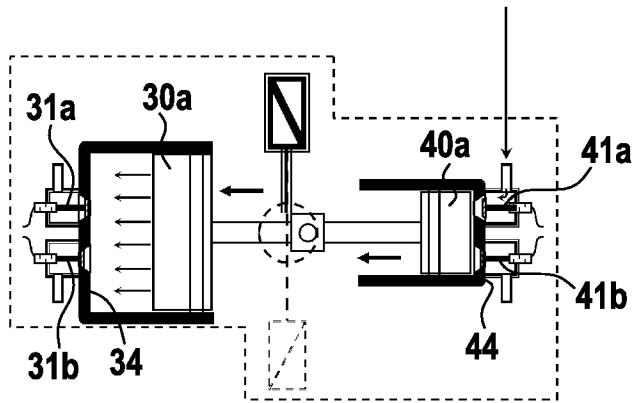


FIG. 2A

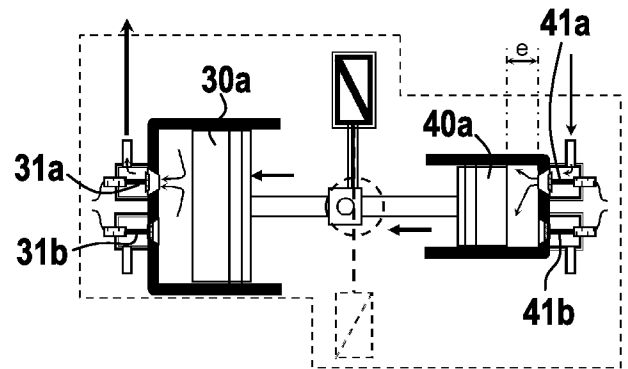


FIG. 2B

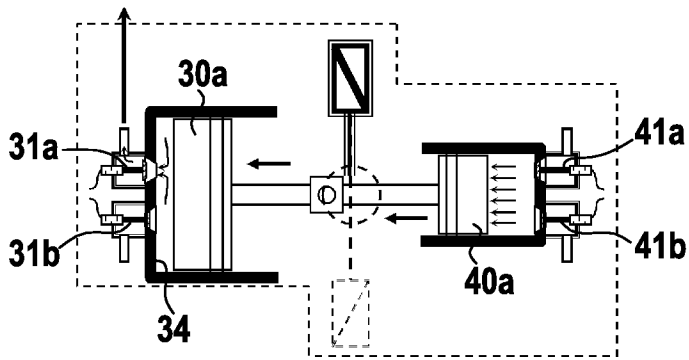


FIG. 2C

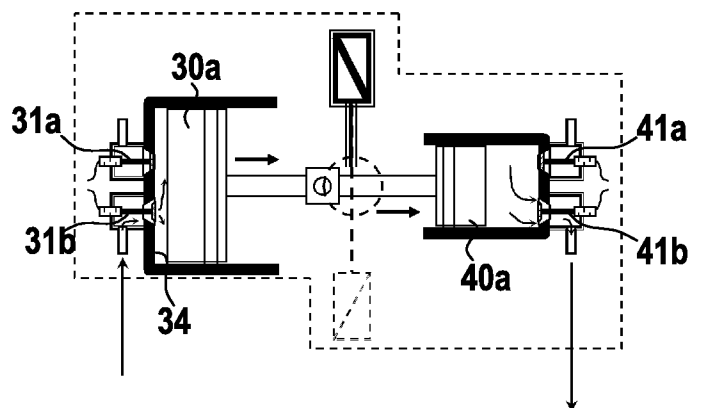


FIG. 2D

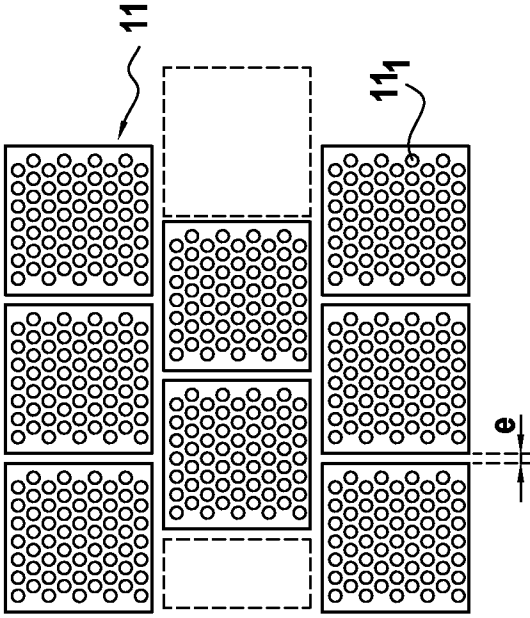


FIG. 3A

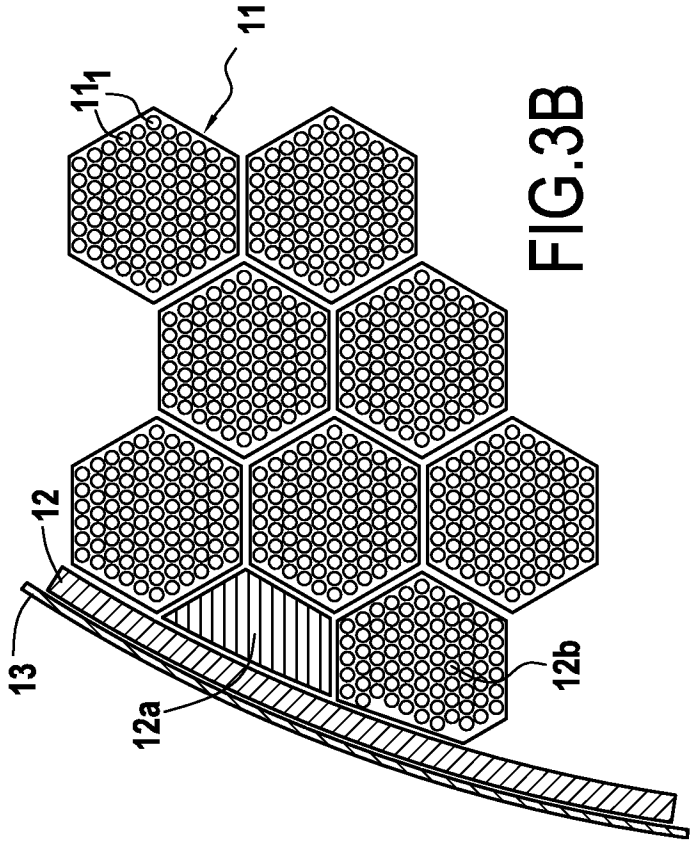


FIG. 3B

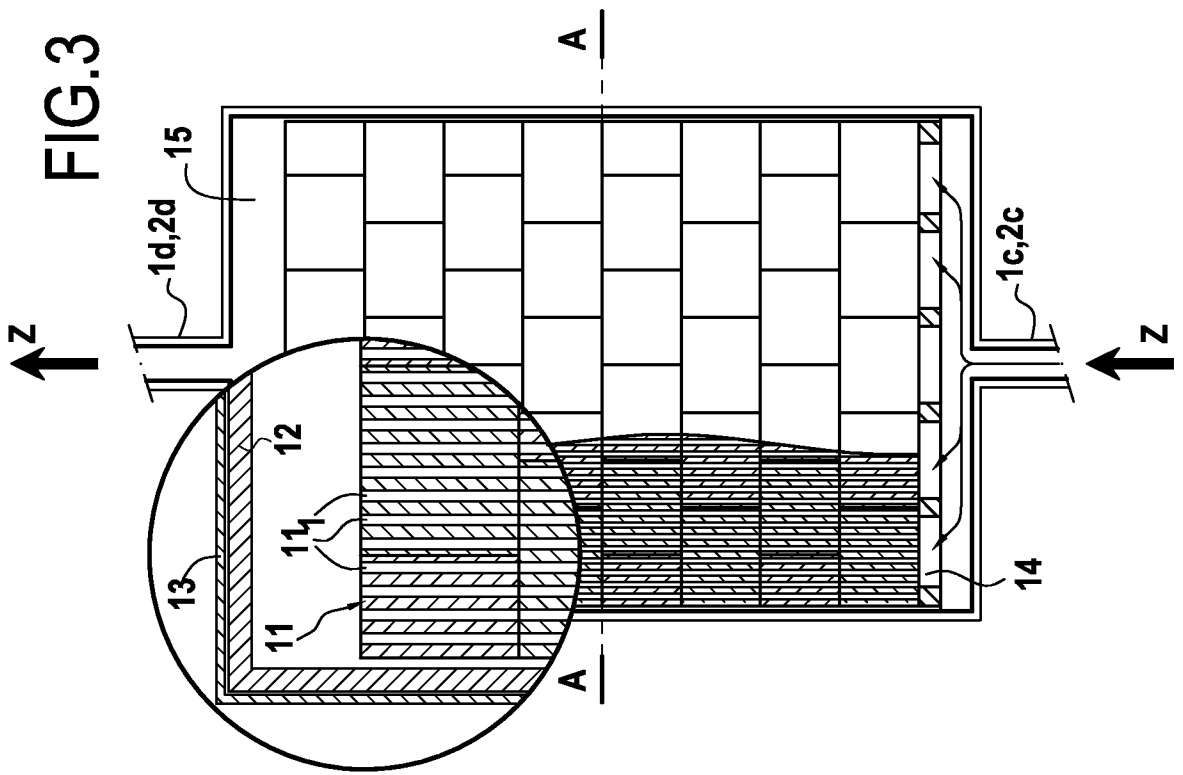


FIG. 3

FIG.4

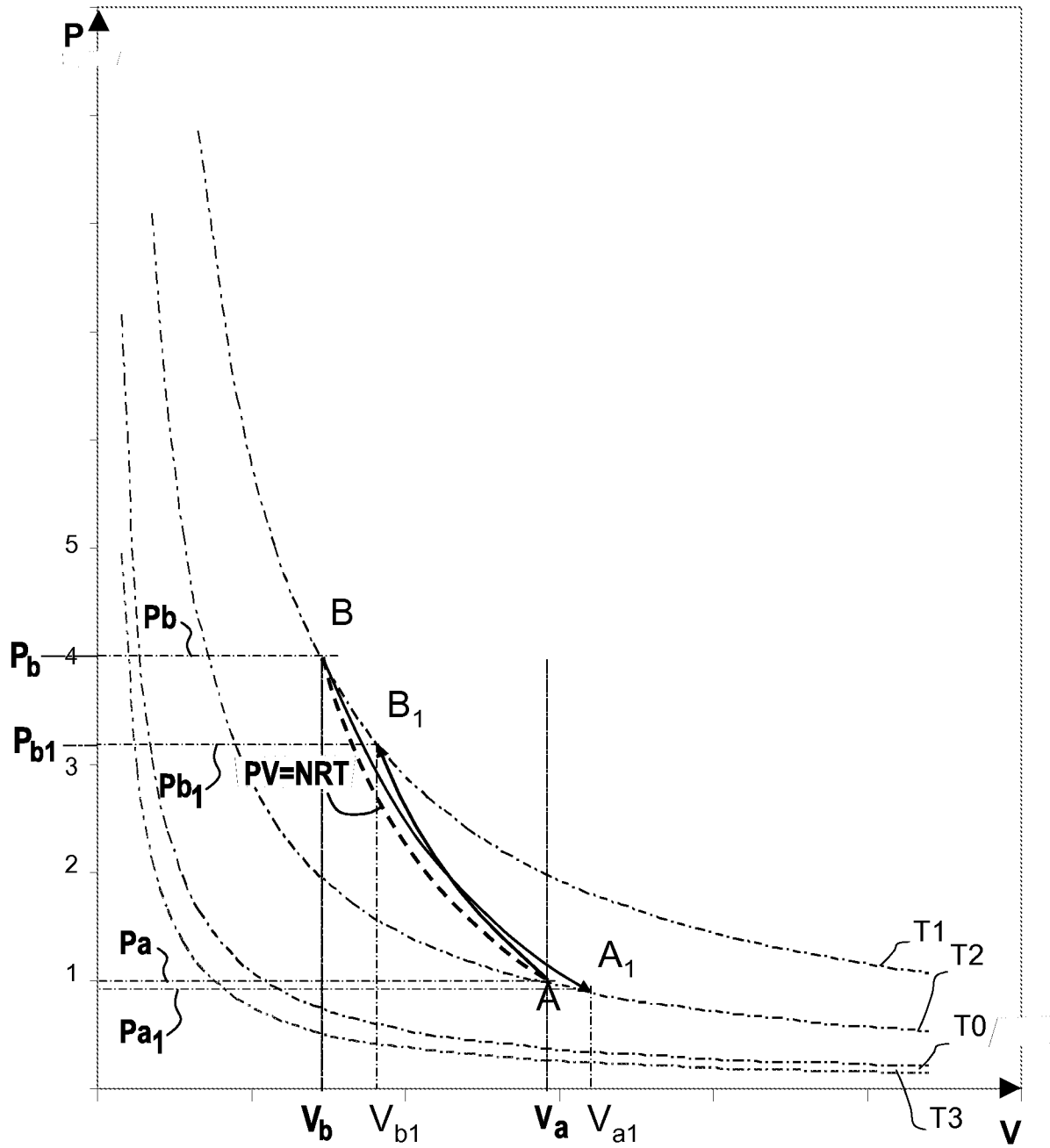


FIG.5

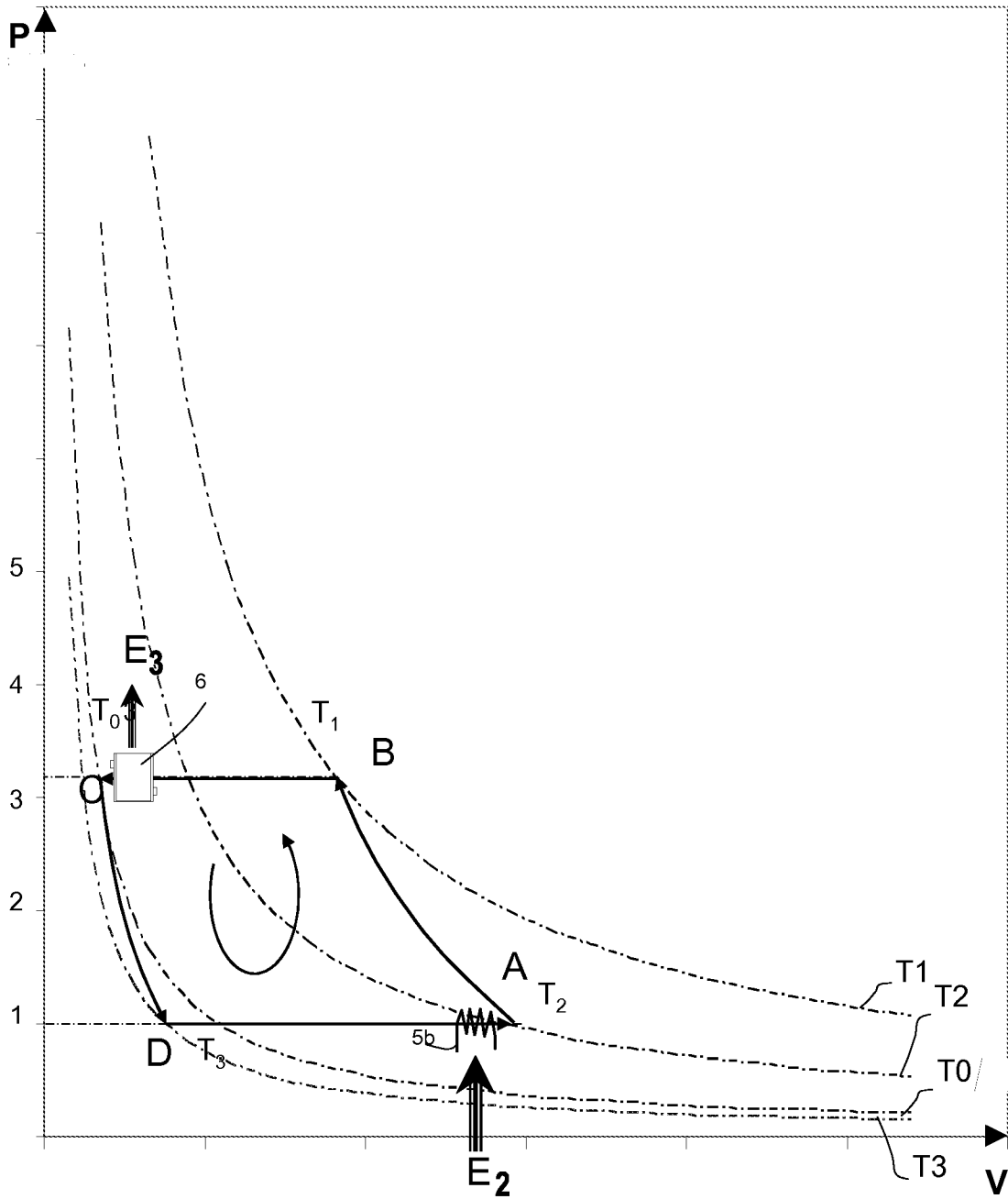
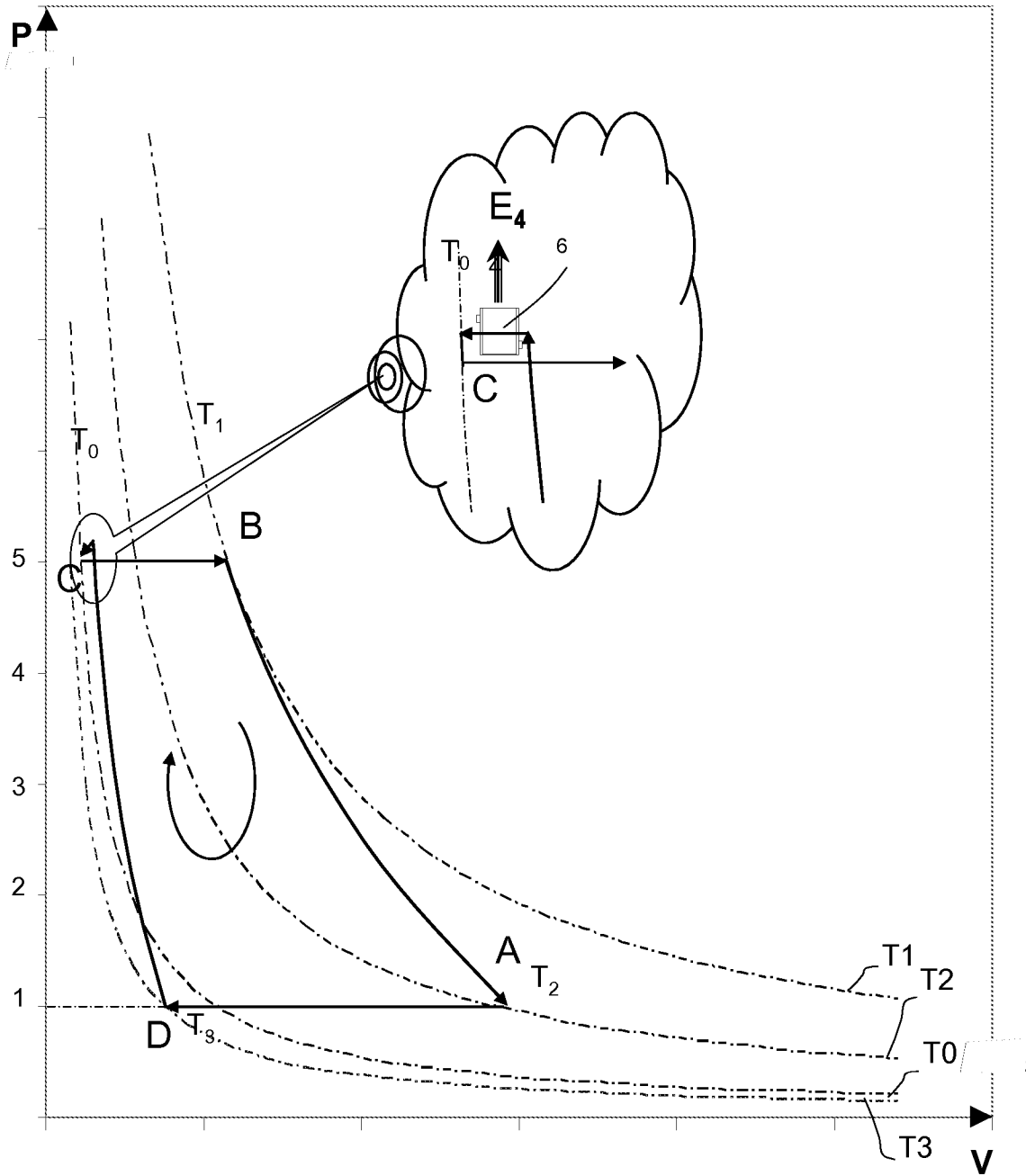


FIG.6



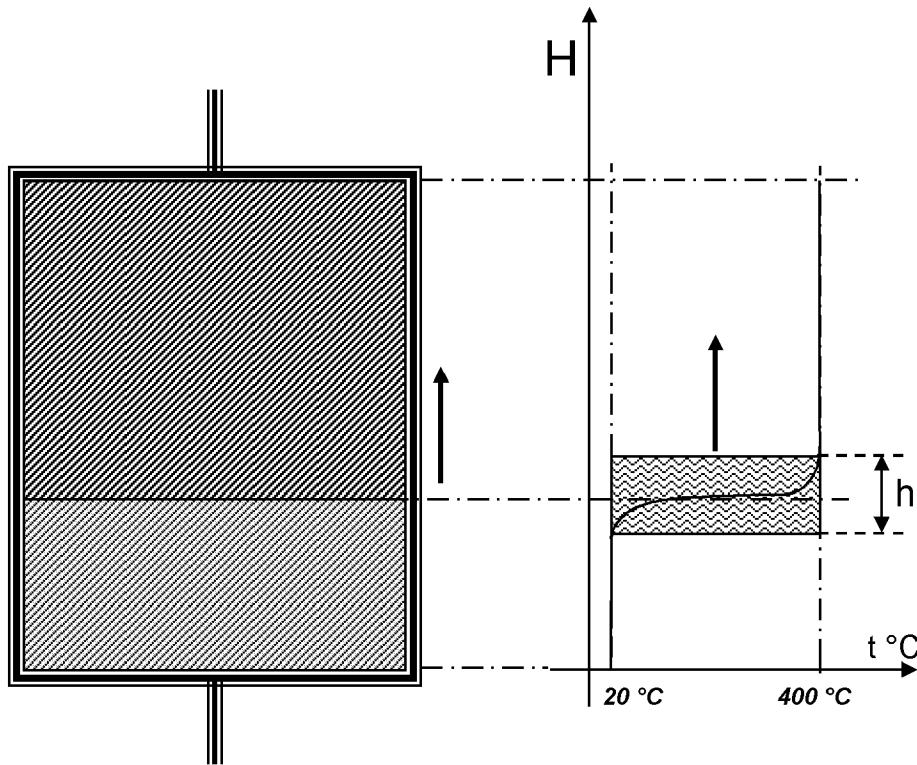


FIG.7

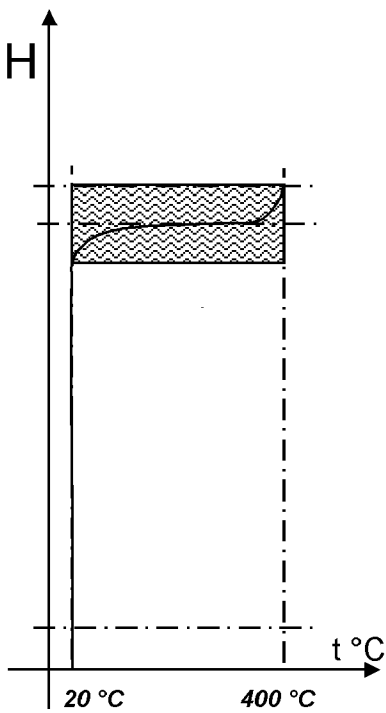


FIG.7A

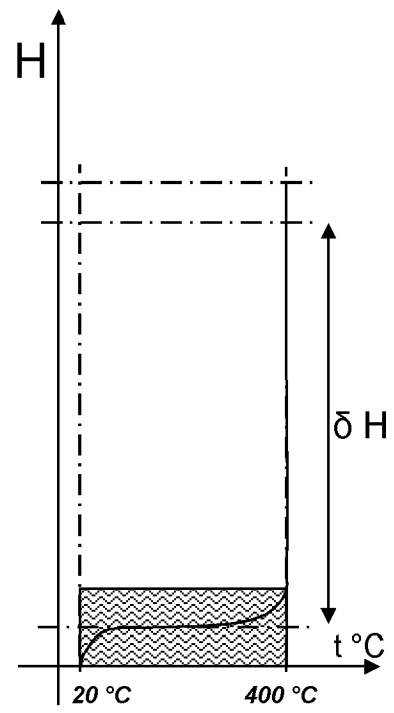


FIG.7B

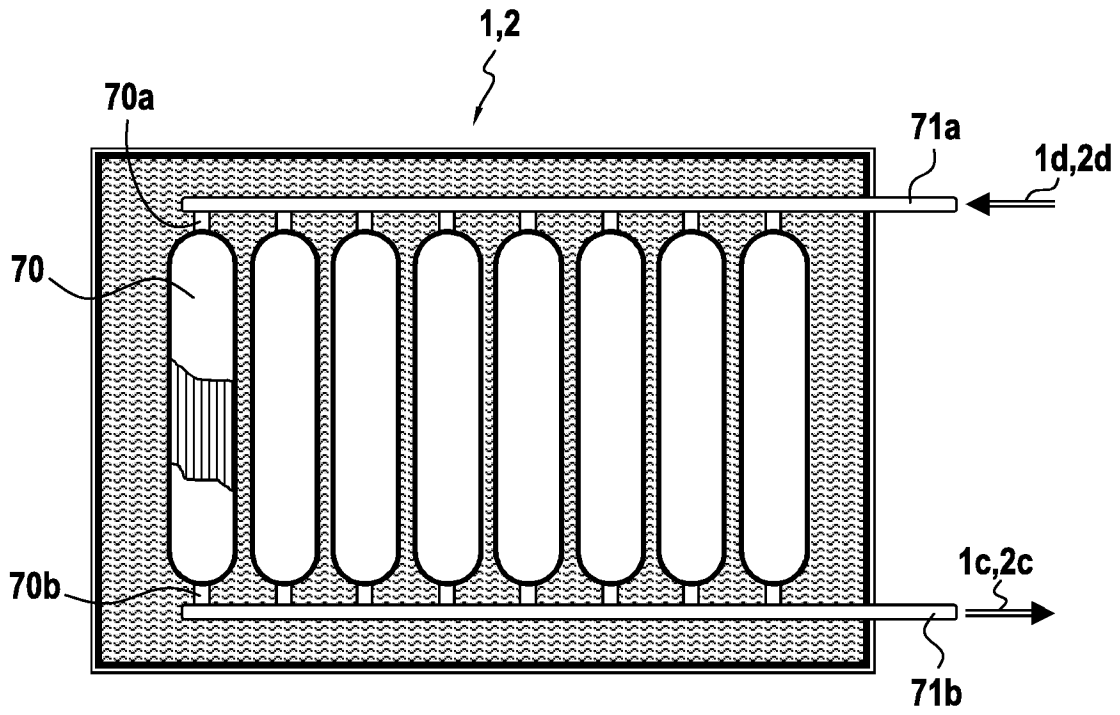


FIG. 8B

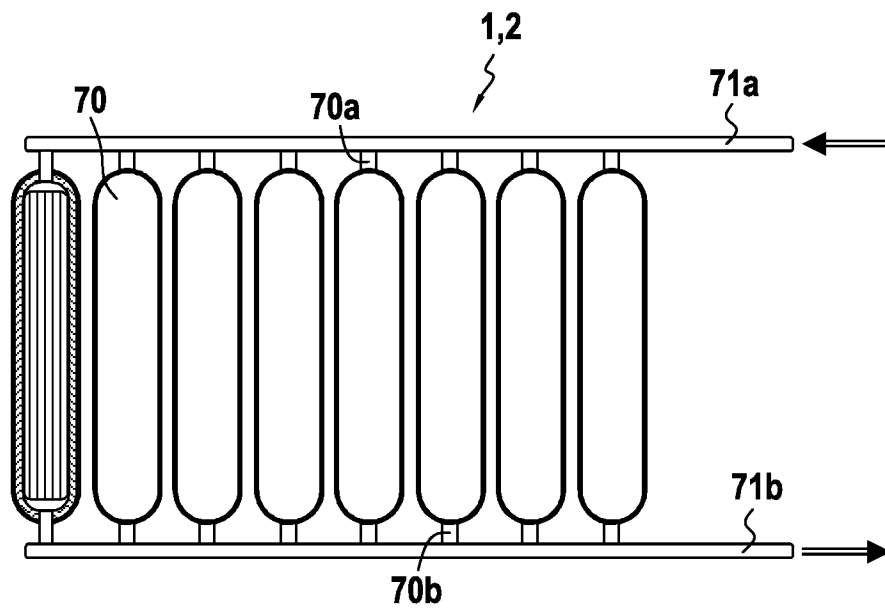


FIG. 8B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2008/051794

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H02J15/00 F01K3/12 F28D20/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 F01K F28D H02J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
 EPO-Internal

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 353 214 A (GARDNER JAMES H) 12 October 1982 (1982-10-12) the whole document -----	1-27
A	WO 2006/072185 A (NEW WORLD GENERATION INC [CA]; NAYEF DURAI D S [CA]; NAYEF NA AL S [CA]) 13 July 2006 (2006-07-13) page 2, line 26 - page 5, line 27; figures 1-3 -----	1-27
A	US 4 094 148 A (NELSON HAZEN E) 13 June 1978 (1978-06-13) column 2, line 54 - column 5, line 48; figure 1 -----	1-27
A	EP 0 003 980 B (MESSERSCHMITT BOELKOW BLOHM [DE]) 7 October 1981 (1981-10-07) the whole document -----	1-27
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

- * Special categories of cited documents :
- | | |
|---|---|
| *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance | *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention |
| *E* earlier document but published on or after the international filing date | *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone |
| *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. |
| *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means | *Z* document member of the same patent family |
| *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed | |

Date of the actual completion of the international search 3 avril 2009	Date of mailing of the international search report 15/04/2009
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Leclaire, Thomas
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2008/051794

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 781 619 A (NEGRE GUY [FR]) 28 January 2000 (2000-01-28) the whole document -----	1-27
A	US 2006/218924 A1 (MITANI SHINICHI [JP]) 5 October 2006 (2006-10-05) abstract; figure 1 -----	1-27

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2008/051794

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4353214	A	12-10-1982	CA 1141974 A1	01-03-1983
WO 2006072185	A	13-07-2006	US 2008134681 A1	12-06-2008
US 4094148	A	13-06-1978	CA 1080984 A1	08-07-1980
			DE 2809527 A1	21-09-1978
			IT 1092556 B	12-07-1985
			JP 1403512 C	09-10-1987
			JP 53115432 A	07-10-1978
			JP 62011166 B	11-03-1987
EP 0003980	B	07-10-1981	DE 2810890 A1	27-09-1979
			EP 0003980 A1	19-09-1979
FR 2781619	A	28-01-2000	AU 4917199 A	21-02-2000
			CA 2338158 A1	10-02-2000
			CN 1311915 A	05-09-2001
			EP 1121742 A1	08-08-2001
			WO 0007278 A1	10-02-2000
			HU 0103136 A2	28-12-2001
			JP 2002522000 T	16-07-2002
			MA 24938 A1	01-04-2000
			NZ 510220 A	28-02-2003
			OA 11641 A	22-11-2004
			PL 345707 A1	02-01-2002
			SK 1282001 A3	11-09-2001
			TR 200100285 T2	23-07-2001
			TW 456092 B	21-09-2001
			US 6327858 B1	11-12-2001
US 2006218924	A1	05-10-2006	EP 1752613 A2	14-02-2007
			JP 2006283698 A	19-10-2006

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2008/051794

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
 INV. H02J15/00 F01K3/12

F28D20/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

F01K F28D H02J

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 4 353 214 A (GARDNER JAMES H) 12 octobre 1982 (1982-10-12) le document en entier	1-27
A	WO 2006/072185 A (NEW WORLD GENERATION INC [CA]; NAYEF DURAIID S [CA]; NAYEF NA AL S [CA]) 13 juillet 2006 (2006-07-13) page 2, ligne 26 - page 5, ligne 27; figures 1-3	1-27
A	US 4 094 148 A (NELSON HAZEN E) 13 juin 1978 (1978-06-13) colonne 2, ligne 54 - colonne 5, ligne 48; figure 1	1-27
A	EP 0 003 980 B (MESSERSCHMITT BOELKOW BLOHM [DE]) 7 octobre 1981 (1981-10-07) le document en entier	1-27
	-/--	

 Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

 Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *&* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

3 avril 2009

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

15/04/2009

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Leclaire, Thomas

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale n°

PCT/FR2008/051794

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 781 619 A (NEGRE GUY [FR]) 28 janvier 2000 (2000-01-28) le document en entier -----	1-27
A	US 2006/218924 A1 (MITANI SHINICHI [JP]) 5 octobre 2006 (2006-10-05) abrégé; figure 1 -----	1-27

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2008/051794

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4353214	A	12-10-1982	CA 1141974 A1	01-03-1983
WO 2006072185	A	13-07-2006	US 2008134681 A1	12-06-2008
US 4094148	A	13-06-1978	CA 1080984 A1	08-07-1980
			DE 2809527 A1	21-09-1978
			IT 1092556 B	12-07-1985
			JP 1403512 C	09-10-1987
			JP 53115432 A	07-10-1978
			JP 62011166 B	11-03-1987
EP 0003980	B	07-10-1981	DE 2810890 A1	27-09-1979
			EP 0003980 A1	19-09-1979
FR 2781619	A	28-01-2000	AU 4917199 A	21-02-2000
			CA 2338158 A1	10-02-2000
			CN 1311915 A	05-09-2001
			EP 1121742 A1	08-08-2001
			WO 0007278 A1	10-02-2000
			HU 0103136 A2	28-12-2001
			JP 2002522000 T	16-07-2002
			MA 24938 A1	01-04-2000
			NZ 510220 A	28-02-2003
			OA 11641 A	22-11-2004
			PL 345707 A1	02-01-2002
			SK 1282001 A3	11-09-2001
			TR 200100285 T2	23-07-2001
			TW 456092 B	21-09-2001
			US 6327858 B1	11-12-2001
US 2006218924	A1	05-10-2006	EP 1752613 A2	14-02-2007
			JP 2006283698 A	19-10-2006