

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :

2 965 341

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

10 57771

⑤1 Int Cl⁸ : F 28 D 20/00 (2006.01), F 01 K 7/16, F 24 J 2/34

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 27.09.10.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 30.03.12 Bulletin 12/13.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : AREVA SOLAR, INC. — US.

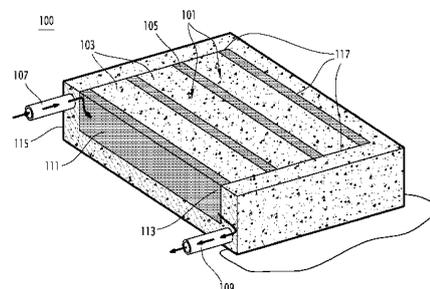
⑦2 Inventeur(s) : MILLS DAVID, R. et CHENG WEILI.

⑦3 Titulaire(s) : AREVA SOLAR, INC..

⑦4 Mandataire(s) : CABINET LAVOIX.

⑤4 FLUIDE POUR SYSTEME DE STOCKAGE DE MILIEU POUR VAPEUR D'EAU A HAUTE TEMPERATURE.

⑤7 L'invention concerne des systèmes de stockage d'énergie thermique comportant un dispositif de stockage d'énergie thermique qui stocke de l'énergie thermique en créant une thermocline mobile. Le dispositif de stockage d'énergie thermique peut comprendre de multiples canaux (105) formés par un milieu de stockage d'énergie thermique. Une thermocline peut être formée dans chacun des multiples canaux. En outre, le système peut comprendre un ou plusieurs amplificateurs de surchauffe couplés à un échangeur de chaleur pour charger un ou plusieurs dispositif(s) de stockage d'énergie thermique. Les dispositifs de stockage d'énergie thermique peuvent être utilisés pour préchauffer ou surchauffer un fluide de travail. Le fluide de travail chauffé peut être utilisé par une turbine à condensation et par une turbine sans condensation pour générer de l'électricité. La turbine sans condensation peut réduire la pression du fluide de travail pour ainsi permettre au fluide d'être chauffé à une température plus élevée afin de charger le dispositif de stockage d'énergie thermique.



FR 2 965 341 - A1



FLUIDE POUR SYSTÈME DE STOCKAGE DE MILIEU POUR VAPEUR D'EAU À HAUTE TEMPÉRATURE

ARRIÈRE-PLAN

5 1. Domaine :

La présente demande concerne de manière générale le stockage d'énergie thermique et plus précisément, le stockage d'énergie thermique pour de la vapeur d'eau à haute température.

10

2. Art antérieur :

Des systèmes de stockage d'énergie thermique peuvent, dans diverses circonstances, être intégrés à des centrales électriques thermiques et à des systèmes à vapeur de traitement ou industriels, parmi lesquels ceux qui utilisent des réacteurs nucléaires, des chaudières autonomes et des systèmes collecteurs d'énergie solaire. Les systèmes de stockage d'énergie thermique peuvent être nécessaires en tant que tampons en cas de demandes transitoires qui dépassent les capacités de production en régime stable des centrales électriques, en cas de réduction temporaire de la quantité de chaleur fournie ou, en variante, pour assurer un stockage d'énergie thermique à long terme lorsque les capacités de production de chaleur ne peuvent pas être synchronisées, pour diverses raisons, avec les demandes de charge. L'une ou l'autre ou la totalité de ces exigences peuvent concerner des centrales électriques thermiques et des systèmes à vapeur de traitement ou industriels, parmi lesquels ceux qui comprennent des systèmes collecteurs d'énergie solaire destinés à être utilisés pour produire de l'énergie thermique.

Les systèmes collecteurs d'énergie solaire peuvent par exemple comprendre des systèmes à réflecteurs paraboliques, un récepteur central avec des systèmes héliostatiques à deux axes, ou des systèmes à collecteurs linéaires de Fresnel (LFR pour Linear Fresnel Collector). Les systèmes LFR utilisent un champ de réflecteurs et des récepteurs situés en hauteur qui sont éclairés par le rayonnement réfléchi afin d'effectuer un échange d'énergie avec un fluide acheminé à travers les récepteurs. Un système LFR est généralement utilisé lors du chauffage d'un fluide de travail destiné à être fourni à une centrale électrique, soit pour sa fourniture directe à une turbine, soit à des fins d'échange de chaleur avec un fluide qui est détendu à travers la turbine. Le fluide de travail chauffé peut également être utilisé dans des systèmes à vapeur de traitement ou industriels. Un exemple de réflecteur ayant été mis au point pour une utilisation dans un système LFR est divulgué dans les demandes de brevets internationales N^{os} PCT/AU2004/000883 et

PCT/AU2004/000884, toutes deux datées du 1er juillet 2004, et un exemple de récepteur destiné à un système de ce type est décrit dans la demande de brevet internationale N° PCT/AU2005/000208, datée du 17 février 2005.

5 Les systèmes collecteurs d'énergie solaire ne fonctionnent que lorsqu'un rayonnement solaire incident approprié est présent. Pour prolonger le rapport cyclique des systèmes générateurs d'électricité solaires, pour favoriser une adaptation à des diminutions transitoires du rayonnement solaire, ou pour créer un système tampon s'adaptant aux charges transitoires, l'énergie thermique produite en excès par rapport à la demande au
10 cours des périodes de fort rayonnement solaire ou de faible consommation d'énergie peut être stockée.

L'énergie thermique stockée dans des systèmes de stockage d'énergie thermique peut être extraite par chauffage d'un fluide de travail qui peut être délivré à une centrale
15 électrique soit pour son admission directe à une turbine, soit à des fins d'échange de chaleur avec un fluide qui est détendu à travers la turbine. Les turbines à vapeur d'eau utilisant de la vapeur d'eau surchauffée ont un meilleur rendement que celles qui utilisent de la vapeur d'eau saturée. En outre, l'énergie thermique stockée dans le système de
20 stockage d'énergie thermique peut être extraite en vue d'une utilisation dans des systèmes à vapeur de traitement ou industriels. Il peut en outre être souhaitable d'utiliser de la vapeur d'eau surchauffée dans ces applications.

Par conséquent, il est souhaitable de disposer de systèmes de stockage d'énergie thermique qui puissent stocker de l'énergie thermique et qui puissent produire de la
25 vapeur d'eau surchauffée lors de leur décharge.

BREF RÉSUMÉ DE L'INVENTION

Des dispositifs de stockage d'énergie thermique sont décrits, lesquels dispositifs
30 comprennent un réservoir ayant au moins une entrée permettant l'introduction d'un fluide de transfert d'énergie thermique dans le réservoir et au moins une sortie permettant d'extraire le fluide de transfert d'énergie thermique du réservoir. Le dispositif de stockage d'énergie thermique comprend en outre un milieu de stockage d'énergie thermique disposé à l'intérieur du réservoir et une pluralité de canaux formés entre des parties du
35 milieu de stockage d'énergie thermique, la pluralité de canaux étant configurée pour acheminer le fluide de transfert d'énergie thermique de l'entrée vers la sortie, et le milieu de stockage d'énergie thermique et la pluralité de canaux étant configurés pour créer un gradient de température entre l'entrée et la sortie.

Dans certains exemples, le milieu de stockage d'énergie thermique comprend une pluralité de blocs de ciment, chacun de la pluralité de canaux étant formé entre des paires de la pluralité de blocs de béton. Chacun de la pluralité de blocs de béton peut être blindé
5 par un métal. Dans d'autres exemples, le milieu de stockage d'énergie thermique comprend une pluralité de nodules de minerai de fer.

Dans certains exemples, le fluide de transfert d'énergie thermique peut comprendre un sel fondu. Dans d'autres exemples, le fluide de transfert d'énergie thermique peut
10 comprendre une huile.

Dans certains exemples, le dispositif de stockage d'énergie thermique peut être configuré de façon à créer une température suffisante pour produire de la vapeur d'eau surchauffée lors de la décharge du dispositif.
15

Des procédés sont décrits pour le stockage d'énergie thermique. Ces procédés peuvent consister à recevoir un fluide de transfert d'énergie thermique, à faire s'écouler le fluide de transfert d'énergie thermique à travers une pluralité de canaux formés par un milieu de stockage d'énergie thermique, et à former un gradient de température dans le milieu de
20 stockage d'énergie thermique. Dans certains exemples, le milieu de stockage d'énergie thermique peut comprendre une pluralité de blocs de béton, chacun de la pluralité de canaux étant formé entre des paires de la pluralité de blocs de béton. Dans d'autres exemples, le milieu de stockage d'énergie thermique peut comprendre une pluralité de nodules de minerai de fer.

25 Des systèmes de stockage d'énergie thermique sont connus, lesquels systèmes comprennent un premier dispositif de stockage d'énergie thermique destiné à stocker de l'énergie thermique, un premier amplificateur de surchauffe comprenant un cycle de resurchauffe, et un premier échangeur de chaleur couplé thermiquement au premier
30 dispositif de stockage d'énergie thermique et au premier amplificateur de surchauffe, le premier échangeur de chaleur étant configuré pour échanger de la chaleur entre un fluide de travail dans le premier amplificateur de surchauffe et un premier fluide de transfert d'énergie dans le premier dispositif de stockage d'énergie thermique. Dans certains exemples, le premier amplificateur de surchauffe peut être configuré pour produire de la
35 vapeur d'eau surchauffée.

Dans certains exemples, le système peut en outre comprendre une turbine à condensation destinée à générer de l'électricité en utilisant le fluide de travail et une

turbine sans condensation destinée à générer de l'électricité en utilisant le fluide de travail, la sortie de la turbine sans condensation étant reliée au premier amplificateur de surchauffe. Dans certains exemples, le fluide de travail est à une première pression à l'entrée de la turbine à condensation et de la turbine sans condensation, le fluide de travail est à une seconde pression à l'entrée du premier amplificateur de surchauffe et la seconde pression est inférieure à la première pression.

Dans certains exemples, le système peut en outre comprendre un deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique destiné à stocker de l'énergie thermique et un deuxième échangeur de chaleur thermiquement couplé au deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique, le deuxième échangeur de chaleur étant configuré pour échanger de la chaleur entre le fluide de travail et un deuxième fluide de transfert d'énergie thermique dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique, et le deuxième échangeur de chaleur étant configuré pour échanger le fluide de travail avec le premier échangeur de chaleur.

Dans certains exemples, pendant la décharge du système, le deuxième échangeur de chaleur est configuré pour préchauffer le fluide de travail en utilisant l'énergie thermique stockée dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique, le premier échangeur de chaleur étant configuré pour surchauffer le fluide de travail préchauffé provenant du deuxième échangeur de chaleur en utilisant l'énergie thermique stockée dans le premier dispositif de stockage d'énergie thermique.

Dans certains exemples, le fluide de travail comprend de la vapeur d'eau, le premier fluide de transfert d'énergie thermique comprend un sel fondu, et le deuxième fluide de transfert d'énergie thermique comprend une huile.

Dans certains exemples, le système peut en outre comprendre un troisième dispositif de stockage d'énergie thermique destiné à stocker de l'énergie thermique, un deuxième amplificateur de surchauffe comprenant un cycle de resurchauffe, et un troisième échangeur de chaleur thermiquement couplé au troisième dispositif de stockage d'énergie thermique, au deuxième amplificateur de surchauffe et au premier échangeur de chaleur, le troisième échangeur de chaleur étant configuré pour échanger de la chaleur entre le fluide de travail dans le deuxième amplificateur de surchauffe et un troisième fluide de transfert d'énergie thermique dans le troisième dispositif de stockage d'énergie thermique, et le troisième échangeur de chaleur étant configuré pour échanger le fluide de travail avec le premier échangeur de chaleur.

Dans certains exemples, pendant la décharge du système, le deuxième échangeur de chaleur peut être configuré pour préchauffer le fluide de travail en utilisant l'énergie thermique stockée dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique, le premier échangeur de chaleur peut être configuré pour chauffer de façon supplémentaire le fluide de travail préchauffé provenant du deuxième échangeur de chaleur en utilisant l'énergie thermique stockée dans le premier dispositif de stockage d'énergie thermique, et le troisième échangeur de chaleur peut être configuré pour chauffer de façon supplémentaire le fluide de travail chauffé provenant du premier échangeur de chaleur en utilisant l'énergie thermique stockée dans le troisième dispositif de stockage d'énergie thermique.

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

La figure 1A illustre un exemple de dispositif de stockage d'énergie thermique.

La figure 1B illustre un autre exemple de dispositif de stockage d'énergie thermique.

La figure 2 illustre une vue en coupe transversale de l'exemple de dispositif de stockage d'énergie thermique de la figure 1A.

La figure 3 illustre un exemple de système de collecte d'énergie solaire comprenant un exemple de dispositif de stockage d'énergie thermique.

La figure 4 illustre un autre exemple de système de collecte d'énergie solaire comprenant un exemple de dispositif de stockage d'énergie thermique.

La figure 5 illustre un exemple de système informatique qui peut être utilisé pour mettre en œuvre certaines ou la totalité des fonctionnalités de traitement des divers modes de réalisation de la présente invention.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

La description présentée ci-après permettra à un homme du métier de mettre en œuvre et d'utiliser les divers modes de réalisation. Des descriptions de dispositifs, de techniques et d'applications spécifiques sont fournies à titre non limitatif d'exemple. Diverses variantes des exemples décrits ici apparaîtront facilement à l'homme du métier et les principes généraux définis ici pourront être appliqués à d'autres exemples et applications sans qu'il s'écarte de l'esprit et du cadre des divers modes de réalisation. Les divers modes de

réalisation ne doivent donc pas être considérés comme étant limités aux exemples décrits et illustrés ici.

Divers modes de réalisation des systèmes de stockage d'énergie thermique sont décrits ci-après. Dans un exemple, le système de stockage d'énergie thermique peut comprendre un dispositif de stockage d'énergie thermique qui stocke de l'énergie thermique en créant une thermocline mobile. Le dispositif de stockage d'énergie thermique peut comprendre de multiples canaux formés par un milieu de stockage d'énergie thermique. Une thermocline peut être formée dans chacun des multiples canaux. En outre, un système de stockage d'énergie thermique utilisant le dispositif de stockage d'énergie thermique est proposé. Le système peut comprendre un ou plusieurs amplificateur(s) de surchauffe couplé(s) à un échangeur de chaleur pour charger un ou plusieurs dispositif(s) de stockage d'énergie thermique. Les dispositifs de stockage d'énergie thermique peuvent être utilisés pour préchauffer ou surchauffer un fluide de travail. Le fluide de travail chauffé peut être utilisé par une turbine à condensation et par une turbine sans condensation pour générer de l'électricité. La turbine sans condensation peut réduire la pression du fluide de travail, cela permettant de chauffer le fluide à une température plus élevée afin de charger le dispositif de stockage d'énergie thermique.

20 DISPOSITIF DE STOCKAGE D'ÉNERGIE THERMIQUE

La figure 1A illustre un exemple de dispositif de stockage d'énergie thermique 100 destiné à stocker de l'énergie thermique. Le dispositif de stockage d'énergie thermique 100 peut être configuré de façon à stocker de l'énergie thermique provenant d'un fluide de transfert d'énergie thermique en formant une thermocline mobile. Pour former la thermocline mobile, le dispositif de stockage d'énergie thermique 100 peut recevoir un fluide de transfert d'énergie thermique chauffé, faire s'écouler le fluide à travers de multiples canaux et faire s'écouler le fluide en sortie du dispositif. La figure 2 représente une vue en coupe transversale du dispositif de stockage d'énergie thermique 100 de la figure 1A suivant une coupe latitudinale (dans la direction orientée suivant les orifices 107 et 109 du dispositif).

Dans certains exemples, comme illustré sur la figure 1B, un dispositif de stockage d'énergie thermique combiné 150 peut comprendre de multiples dispositifs de stockage d'énergie thermique 100 configurés en parallèle, en série ou de façon combinée en parallèle et en série. Dans ces exemples, le dispositif de stockage d'énergie thermique combiné 150 peut être configuré de façon à avoir une taille et une capacité de stockage thermique souhaitées en assemblant le nombre approprié de dispositifs de stockage

d'énergie thermique 100. En outre, dans ces exemples, chaque dispositif de stockage d'énergie thermique 100 peut avoir une longueur (dans une direction orientée suivant les canaux 105) d'environ 12 m, une largeur d'environ 2 m et une hauteur d'environ 2 m. Cependant, il est à noter que des réservoirs ayant d'autres tailles et formes peuvent être utilisés selon l'application souhaitée. En outre, le module de stockage d'énergie thermique 150 peut comprendre entre 5 et 50 dispositifs de stockage d'énergie thermique 100. Cependant, il est possible de raccorder les uns aux autres un nombre quelconque de dispositifs de stockage d'énergie thermique 100. Les divers composants du dispositif de stockage d'énergie thermique 100 sont décrits ci-après en détail.

Réservoir

Le dispositif de stockage d'énergie thermique 100 peut comprendre un réservoir 115 destiné à contenir un fluide de transfert d'énergie thermique et les composants du dispositif de stockage d'énergie thermique 100. Le réservoir 115 peut être formé d'un matériau rigide quelconque, tel qu'un agrégat (par exemple de la roche (par exemple de la quartzite, du granite, du basalte, du carbonate de calcium, des schistes, de l'hématite, de l'alumine, de la périclase (MgO), etc.) ou du béton), des métaux (par exemple de l'acier au carbone, de l'acier doux, et des aciers faiblement alliés contenant du nickel chrome, du molybdène, du vanadium, du cuivre, du niobium, de l'aluminium ou du titane), des oxydes de métaux (par exemple de l'hématite, du fer, du sable, de l'alumine, de la périclase (MgO)), un verre (par exemple un verre recyclé), des silicates, des carbonates de métaux, du graphite, des nitrates de métaux, des nitrites de métaux, des nitrures de métaux (par exemple du nitrure d'aluminium), un matériau polymère, un carbure de silicium, de la zircone fondue, ou d'autres céramiques à très haute résistance.

Le réservoir 115 peut avoir diverses formes et diverses tailles. A titre d'exemple, le réservoir 115 peut être rectangulaire, carré ou de toute autre forme. Dans certains exemples, le réservoir 115 peut avoir une longueur comprise entre 60 et 240 m, une largeur comprise entre 20 et 50 m et une hauteur comprise entre 2 et 4 m. Cependant, il est à noter que des réservoirs ayant des tailles et des formes différentes peuvent être utilisés selon l'application souhaitée.

Dans certains exemples, la surface intérieure, la surface extérieure ou les deux surfaces du réservoir 115 peuvent être protégées par une garniture 117. Dans certains exemples, la garniture 117 peut comprendre un matériau résistant aux hautes températures. A titre d'exemple, la garniture 117 peut comprendre un matériau qui résiste à des températures d'au moins 300 °C, 350 °C, 400 °C, 420 °C, 500 °C, ou plus. Des exemples non limitatifs de

matériaux pouvant être utilisés pour la garniture 117 comprennent un matériau polymère, du carbure de silicium, de la zircone fondue, d'autres céramiques à très haute résistance, ou un métal tel qu'un acier au carbone, un acier à faible teneur en carbone, un acier à teneur en carbone moyenne, un acier inoxydable, du fer noir, un acier au carbone-manganèse, un acier doux et des aciers faiblement alliés contenant du nickel chrome, du molybdène, du vanadium, du cuivre, du niobium, de l'aluminium ou du titane. Dans certains exemples, la garniture 117 peut en outre être résistante à la corrosion par le milieu de stockage d'énergie thermique, au fluide de transfert d'énergie thermique ou les deux. Dans certains exemples, la garniture 117 peut comprendre un matériau isolant empêchant les fuites de chaleur depuis le dispositif de stockage d'énergie thermique 100. Dans certains exemples dans lesquels le réservoir 115 comporte une garniture à la fois sur la surface intérieure et sur la surface extérieure, la garniture utilisée sur la surface intérieure peut être identique à, ou différente de la garniture utilisée sur la surface extérieure du réservoir 115.

Il est à noter que le réservoir 115 représenté ne comporte pas de partie supérieure à des fins non limitatives d'illustration. Le réservoir 115 peut comporter un ou plusieurs côté(s) partiellement ou entièrement ouvert(s) ou peut être fermé sur tous les côtés du dispositif.

Milieu de stockage d'énergie thermique

Le dispositif de stockage d'énergie thermique 100 contient en outre un milieu de stockage d'énergie thermique dans le réservoir 115 pour stocker l'énergie thermique provenant du fluide de transfert d'énergie thermique. De manière générale, le milieu de stockage d'énergie thermique peut comprendre un ou plusieurs matériaux, composants ou constituants. Divers exemples de milieux sont décrits ici. Lorsqu'il est placé à l'intérieur du réservoir 115 du dispositif de stockage d'énergie thermique 100, le milieu peut être agencé de telle façon que la convection ou que la conduction thermique soient supprimées à l'intérieur du milieu, de manière à ce qu'un gradient de température puisse être formé dans le milieu de stockage d'énergie thermique suivant une dimension (par exemple la longueur, la largeur, ou la hauteur) du milieu pendant la charge ou la décharge thermique du système. Dans certains exemples, le gradient de température peut être formé dans le milieu de stockage d'énergie thermique entre une entrée du réservoir 115 destinée à recevoir le fluide et une sortie du réservoir 115 destinée à l'extraction du fluide. Le gradient de température peut être entretenu au cours du temps de telle manière que des températures permettant de surchauffer un fluide de travail puissent être extraites du dispositif pendant un intervalle de temps soutenu (par exemple au moins environ 30 minutes, au moins environ 1 heure, au moins environ 2 heures, au moins environ

3 heures, au moins environ 4 heures, au moins environ 6 heures, au moins environ 8 heures, ou plus). Divers processus peuvent être utilisés pour supprimer la convection et la conduction, le milieu lui-même pouvant par exemple supprimer la convection et la conduction longitudinalement (par exemple au moyen de solides ou de mélanges de solides ayant une faible conductivité globale, de bouillies de sel fondu visqueuses, etc.), et par des moyens physiques (par exemple des chicanes ou des barrières thermiquement isolantes placées à l'intérieur du milieu ou une isolation physique de régions du milieu).

Le milieu de stockage d'énergie thermique peut comprendre des matériaux tels que des nodules de minerai de fer, un agrégat (par exemple de roche (comme la quartzite, le granite, le basalte, des silicates, de la pierre à chaux, des schistes, l'hématite, l'alumine, la périclase (MgO), etc.), du gravier (par exemple la quartzite, le granite, le basalte, des silicates, de la pierre à chaux, des schistes, de l'hématite, de l'alumine, de la périclase (MgO), etc.), ou des morceaux de béton), du sable, de la terre (par exemple de la terre arable ou du sol naturel), de l'argile, du limon, des matières organiques du sol, des métaux, des oxydes de métaux (par exemple de l'hématite, du fer, du sable, de l'alumine, de la périclase (MgO)), du verre (par exemple du verre recyclé), des silicates, des carbonates de métaux, du graphite, des nitrates de métaux, des nitrites de métaux, des nitrures de métaux (par exemple le nitrure d'aluminium), des sels fondus (par exemple des sels de nitrate et de nitrite de lithium, de sodium, de potassium et de calcium), des minéraux solubles (par exemple des carbonates et des nitrates solubles), et des liquides (par exemple de la silicone, une huile minérale, du glycérol, des alcools de sucre, du rétène, du tétracosane). Dans certains exemples, les matériaux utilisés dans le milieu de stockage d'énergie thermique peuvent ne pas se décomposer dans la gamme de températures de fonctionnement du système.

Le milieu de stockage d'énergie thermique particulier utilisé dans un dispositif de stockage d'énergie thermique 100 particulier peut dépendre de certains facteurs tels que la température de fonctionnement du système, la quantité totale d'énergie devant être stockée par le système, le temps de réponse en charge ou en décharge exigé par le système, la longueur de l'intervalle de temps pendant lequel une sortie constante est souhaitée, la largeur des canaux 105 (décrite plus en détail ci-après), le fluide de transfert d'énergie thermique particulier utilisé, le débit du fluide de transfert d'énergie thermique, etc.

Les divers matériaux peuvent être utilisés seuls ou en mélange, ou peuvent être utilisés sous leur forme naturelle, sous forme broyée, ou sous une forme consolidée, par exemple sous la forme de briques ou de blocs, sous réserve que lorsque le milieu de stockage

d'énergie thermique est un "milieu de stockage d'énergie thermique granulaire", les formes consolidées soient des matériaux granulaires du milieu. Les matériaux du milieu, lorsqu'ils sont sous forme consolidée, peuvent par exemple comprendre des blocs de béton composés d'une faible fraction de ciment, ou de briques par exemple formées de
5 particules d'oxyde d'aluminium liées. Les matériaux peuvent, dans certains modes de réalisation, être lissés, soit naturellement (tels que des galets de rivière) soit artificiellement.

En outre, le milieu de stockage d'énergie thermique peut être compacté au mouillé ou à
10 sec pour rendre maximales la densité et la conductivité. Dans le cas de milieux de stockage d'énergie thermique granulaires, le milieu peut conserver son intégrité granulaire après exposition à de l'eau. Lorsqu'une compaction au mouillé est utilisée, l'inclusion des particules les plus petites, notamment d'argiles d'une taille inférieure à environ 15 microns ou moins ou de moins d'environ 10 microns, peut faciliter la compaction mais peut
15 également conduire à un retrait au séchage, provoquant de fortes contraintes thermiques. En général, pour les milieux de stockage d'énergie thermique granulaires, lorsque de l'argile est présente, elle est présente à une concentration suffisamment faible pour que si le milieu s'humidifie, celui-ci conserve son intégrité granulaire et l'argile ne se comporte pas comme un liant.

20 Dans certains exemples, le milieu de stockage d'énergie thermique peut être sensiblement homogène ou comprendre un mélange sensiblement homogène, et peut être constitué d'un ou plusieurs matériaux ou composants répartis de manière uniforme suivant une dimension du milieu. Dans d'autres exemples, les matériaux ou les
25 composants du milieu de stockage d'énergie thermique peuvent être répartis de manière non uniforme suivant une dimension du milieu. A titre d'exemple, le dispositif de stockage d'énergie thermique peut comprendre deux matériaux ou composants de stockage d'énergie thermique différents ou plus. En outre, le milieu de stockage d'énergie thermique peut être le même suivant la totalité d'une dimension du milieu, ou bien le
30 milieu de stockage d'énergie thermique peut varier suivant la dimension du milieu. Lorsque le milieu de stockage d'énergie thermique est non uniforme, la non-uniformité peut se présenter sous la forme d'un gradient régulier (c'est-à-dire progressif) ou échelonné de matériaux (par exemple, un gradient d'un matériau A à un matériau B, soit continu soit par pas discontinus multiples) ou se présenter sous la forme d'une séparation
35 nette entre les matériaux.

Dans certains exemples, le milieu de stockage d'énergie thermique peut être configuré de façon à transférer une quantité limitée de chaleur dans une direction longitudinale suivant

une dimension du milieu au moyen d'un transfert de chaleur par convection ou au moyen d'un transfert de chaleur par conduction. Les propriétés de transfert de chaleur du milieu de stockage d'énergie thermique peuvent être sélectionnées de façon à ce qu'un transfert de chaleur suffisant se produise pour permettre un niveau souhaité de stockage d'énergie dans le milieu sur une longueur souhaitée du milieu, mais limitée de telle manière qu'un gradient thermique formé suivant une dimension du milieu pendant la charge soit sensiblement conservé pendant une période de stockage souhaitée, de manière à ce qu'au moins une partie du milieu de stockage soit à une température suffisamment élevée pour permettre la récupération de la vapeur d'eau surchauffée à la pression de fonctionnement. La période de stockage souhaitée peut être sélectionnée en fonction de la source d'énergie thermique et de l'application finale de l'énergie thermique stockée. A titre d'exemple, dans le cas de sources d'énergie thermique solaires, la période de stockage peut être d'environ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ou 14 heures, ou même plus longue. Le transfert de chaleur par convection et conduction limité peut au moins en partie être dû à des propriétés intrinsèques du matériau, telles qu'une viscosité élevée, une faible conductivité thermique des matériaux contenus dans le milieu de stockage d'énergie thermique, à des barrières physiques ou à des combinaisons de ceux-ci.

Lorsque la conduction thermique est supprimée uniquement par les matériaux particuliers utilisés en tant que milieu de stockage d'énergie thermique, la conductivité thermique (à la température de fonctionnement du système) de chacun des matériaux du milieu de stockage d'énergie thermique est généralement inférieure à environ 20, inférieure à environ 10, inférieure à environ 5, inférieure à environ 2 ou comprise entre environ 0,1 et environ 5 W/(m-K). Cependant, dans certains cas, la conductivité thermique de la masse des matériaux utilisés dans le milieu de stockage d'énergie thermique peut se situer dans ces gammes, et une plus petite partie d'un ou plusieurs matériaux peut avoir une conductivité plus élevée, sous réserve que la conductivité thermique globale du milieu de stockage d'énergie thermique fournisse les caractéristiques utiles décrites ici du gradient thermique. En général, la conductivité thermique globale du milieu, lorsqu'aucune barrière d'isolation thermique physique n'est présente, est généralement inférieure à environ 30, inférieure à environ 20, inférieure à environ 10, inférieure à environ 5, inférieure à environ 2, comprise entre environ 0,3 et environ 5, entre environ 0,5 et environ 3, ou entre environ 1 et environ 3 W/(m-K).

Le milieu de stockage d'énergie thermique peut être réalisé sous diverses formes. Dans un exemple illustré sur les figures 1A, 1B et 2, le milieu de stockage d'énergie thermique peut comprendre du béton mis sous la forme de multiples blocs 101 rectangulaires. Les blocs 101 peuvent être placés suivant la largeur du réservoir 115, chaque bloc 101

couvrant la longueur du réservoir 115. Les dimensions de chaque bloc 101 peuvent varier avec la taille du réservoir 115. A titre d'exemple, les dimensions des blocs 101 peuvent se conformer à la hauteur et à la longueur des surfaces intérieures du réservoir 115. La largeur (épaisseur) des blocs 101 peut également varier, sur la base, au moins en partie, de facteurs tels que le milieu de stockage d'énergie thermique particulier utilisé (par exemple sa conductivité, sa capacité thermique, son contact thermique, etc.), la quantité totale d'énergie devant être stockée par le dispositif, le temps de réponse requis en charge ou en décharge, la longueur de l'intervalle de temps pendant lequel une sortie constante est souhaitée, le fluide de transfert d'énergie thermique particulier utilisé, la gamme de températures à laquelle le fluide de transfert d'énergie thermique fonctionne, le débit du fluide de transfert d'énergie thermique, la dilatation thermique admise, la mise en charge thermique cyclique, etc. Dans un exemple, les blocs 101 peuvent avoir des dimensions de 12 m sur 4 m sur 2 m. La largeur des blocs 101 peut être uniforme ou non uniforme suivant la longueur (distance latérale entre orifices 107 et 109) du bloc. En outre, la largeur d'un bloc 101 peut être identique à, ou différente de la largeur d'autres blocs 101 présents dans le réservoir 115. Bien que certains exemples spécifiques soient proposés ci-dessus, il est à noter que des blocs 101 d'autres tailles, constitués d'un matériau quelconque, peuvent être utilisés selon l'application souhaitée.

Dans un exemple, illustré sur les figures 1A, 1B et 2, les blocs 101 du milieu de stockage d'énergie thermique peuvent être blindés par une ou plusieurs feuilles 103 comprenant de l'acier. Cependant, d'autres matériaux qui sont résistants aux hautes températures peuvent être utilisés. A titre d'exemple, les feuilles 103 peuvent comprendre un matériau qui est résistant à des températures d'au moins 300°C, 350°C, 400°C, 420°C, 500°C ou plus. Des exemples non limitatifs de matériaux pouvant être utilisés pour les feuilles 103 peuvent comprendre un matériau polymère, du carbure de silicium, de la zircone fondue, d'autres céramiques à très haute résistance, ou un métal tel qu'un acier au carbone, un acier à faible teneur en carbone, un acier à teneur moyenne en carbone, un acier inoxydable, du fer noir, un acier au carbone-manganèse, un acier doux et des aciers faiblement alliés contenant du nickel chrome, du molybdène, du vanadium, du cuivre, du niobium, de l'aluminium ou du titane. Dans certains exemples, la surface externe des feuilles 103 peut être résistante à la corrosion par le milieu de stockage d'énergie thermique, le fluide de transfert d'énergie thermique, ou les deux. Le matériau utilisé pour les feuilles 103 peut être semblable au ou différent du matériau utilisé pour la garniture 117.

Dans certains exemples, les feuilles 103 peuvent être thermiquement couplées à des blocs 101, de telle façon que l'énergie thermique reçue par les feuilles 103 puisse être

transférée par conduction ou convection à des blocs 101 et inversement. Pour rendre maximale l'efficacité du transfert thermique au milieu de stockage d'énergie thermique, le matériau de la feuille 103 peut être sélectionné pour une conductivité thermique élevée.

- 5 Dans certains exemples, l'épaisseur des feuilles 103 peut être comprise entre environ 0,5 mm et environ 3 mm, par exemple d'environ 1 mm à environ 2 mm. Dans certains exemples, l'épaisseur des feuilles 103 peut être d'environ 2,3 mm. Dans d'autres exemples, l'épaisseur des feuilles 103 peut être d'au moins environ 0,75 mm.
- 10 De plus, dans certains exemples, le milieu de stockage d'énergie thermique utilisé dans les blocs 101 et les feuilles 103 peut être configuré pour s'adapter à la dilatation thermique. Dans un exemple, le milieu de stockage d'énergie thermique peut avoir des propriétés de dilatation thermique identiques ou semblables à celles de la feuille 103. Par conséquent, au fur et à mesure de l'augmentation de la température du milieu de
- 15 stockage d'énergie thermique et des feuilles 103, les matériaux peuvent se dilater à une vitesse identique, ou du moins semblable. Des processus permettant d'adapter les caractéristiques de dilatation thermique entre les matériaux sont connus de l'homme du métier et des procédés quelconques de ce type peuvent être utilisés.
- 20 Dans certains exemples, des paires de blocs 101 peuvent être séparés de façon à former des canaux 105. Les canaux 105 peuvent être utilisés pour contenir, guider, ou à la fois pour contenir et pour guider un fluide de transfert d'énergie thermique à travers le réservoir 115 et le long d'une surface des blocs 101 de milieu de stockage d'énergie thermique, des feuilles 103, ou des deux. Les canaux 105 peuvent être formés entre les
- 25 milieux de stockage d'énergie thermique ou du moins, être partiellement entourés par celui-ci selon un agencement quelconque approprié pour le transport du fluide de transfert d'énergie thermique afin de stocker de l'énergie thermique dans le milieu de stockage. Dans certains exemples, les canaux 105 peuvent être plans. Cependant, il est à noter que d'autres configurations sont possibles et peuvent être utilisées dans le dispositif de
- 30 stockage d'énergie thermique 100.

Les dimensions des canaux 105 peuvent varier en fonction de la taille du réservoir 115. A titre d'exemple, les dimensions des canaux 105 peuvent se conformer à la hauteur et à la longueur des surfaces intérieures du réservoir 115. La largeur des canaux 105 peut

35 également varier en fonction au moins en partie de facteurs tels que le milieu de stockage d'énergie thermique particulier utilisé (par exemple sa conductivité, sa capacité thermique, son contact thermique, etc.), la quantité totale d'énergie devant être stockée par le dispositif, le temps de réponse requis en charge ou en décharge, la longueur de

l'intervalle de temps pendant lequel une sortie constante est souhaitée, le fluide de transfert d'énergie thermique particulier utilisé, la gamme de températures à laquelle le fluide de transfert d'énergie thermique fonctionne, le débit du fluide de transfert d'énergie thermique, la taille et la géométrie des particules solides utilisées dans les canaux, le soutien global que le matériau englobant du réservoir 115 doit assurer, etc. Dans un exemple, les canaux 105 peuvent avoir une largeur de 0,15 à 0,35 m, et peuvent avoir une hauteur et une longueur correspondant aux dimensions intérieures du réservoir 115.

Comme mentionné ci-dessus, l'épaisseur des blocs 101 peut être uniforme ou non uniforme suivant la longueur du bloc. Comme les canaux 105 sont définis par des blocs 101, la largeur des canaux 105 peut également être uniforme ou non uniforme. En outre, la largeur de chaque canal 105 peut être identique ou varier par rapport à la largeur des canaux 105 à l'intérieur du réservoir 115.

Dans un autre exemple (non représenté), le milieu de stockage d'énergie thermique peut être réalisé sous la forme de nodules sphériques, ou du moins sensiblement sphériques, ayant un diamètre moyen d'environ 2-3 mm, d'environ 3-5 mm, d'environ 5-8 mm, d'environ 8-13 mm ou d'environ 13-20 mm. Dans cet exemple, de multiples nodules peuvent être utilisés pour remplir, ou du moins remplir partiellement, le réservoir 115.

Dans un exemple, les nodules peuvent comprendre de multiples nodules de minerai de fer. Dans cet exemple, les nodules peuvent ne pas former de canaux discrets, comme illustré sur les figures 1-2. Au lieu de cela, des espaces entre nodules peuvent former un réseau de canaux utilisés pour canaliser le fluide de transfert d'énergie thermique à travers le réservoir 115. Bien que des nodules ayant un matériau et une forme spécifiques soient décrits ci-dessus, il est à noter que d'autres matériaux peuvent être utilisés dans des nodules ayant d'autres formes. En outre, les nodules peuvent être revêtus d'un deuxième matériau, par exemple d'un métal.

Le dispositif de stockage d'énergie thermique 100 peut être situé au-dessus du niveau du sol, en dessous du niveau du sol, ou partiellement en dessous du niveau du sol. Lorsqu'il est situé au moins partiellement en dessous du niveau du sol, la terre locale disponible obtenue sur le site par creusement de la fosse de réception peut avantageusement être utilisée dans le milieu de stockage d'énergie thermique, cela réduisant les coûts de transport liés à l'envoi des matériaux destinés à être utilisés sur le site du système. Cette terre peut être filtrée pour éliminer les matières organiques ainsi que pour trier le matériau en fonction du rayon des grains. Lorsque le système de stockage est situé au-dessus du sol, il est possible d'utiliser divers procédés de réception du milieu, tels que des parois en béton, comme cela apparaîtra à l'homme du métier.

Orifices d'entrée/sortie

Le dispositif de stockage d'énergie thermique 100 peut en outre comporter des orifices
5 107 et 109 permettant l'écoulement d'un fluide de stockage d'énergie thermique en entrée
et en sortie du réservoir 115. Les orifices 107 et 109 peuvent avoir une forme quelconque
en coupe transversale et peuvent avoir une superficie quelconque en coupe transversale
selon l'application souhaitée. A titre d'exemple, la forme et la taille des orifices 107 et 109
peuvent être sélectionnées, au moins en partie, sur la base du débit souhaité du fluide de
10 transfert d'énergie thermique, du temps de réponse requis en charge et en décharge, du
fluide de transfert d'énergie thermique particulier utilisé, etc.

Dans un exemple, l'orifice 107 peut être situé à un angle supérieur du réservoir 115 et
peut être utilisé pour faire s'écouler un fluide de transfert d'énergie thermique à l'intérieur
15 du réservoir 115 pendant la charge du dispositif. Dans un exemple, lorsque le milieu de
stockage d'énergie thermique est agencé sous la forme de blocs 101, comme illustré sur
la figure 1A, l'orifice 107 peut s'étendre suivant la largeur du réservoir 115 et suivant
chaque canal 105. L'orifice 107 peut en outre être configuré pour permettre l'écoulement
du fluide de transfert d'énergie thermique dans chacun des canaux 105. Dans un
20 exemple, l'orifice 109 peut être situé à un angle inférieur, par exemple un angle opposé à
l'orifice 107, et peut être utilisé pour l'écoulement du fluide de transfert d'énergie
thermique en sortie du réservoir 115 pendant la charge du dispositif. Cette configuration
permet de former un gradient thermique ou une thermocline entre les orifices 107 et 109
et le long des blocs thermiques 101 du milieu de stockage d'énergie thermique. Dans un
25 autre exemple dans lequel le milieu de stockage d'énergie thermique comprend de
multiples nodules, une thermocline peut être formée dans les nodules entre les orifices
107 et 109.

Dans un exemple, un fluide de transfert d'énergie thermique chauffé peut être introduit par
30 pompage dans le dispositif de stockage d'énergie thermique 100 par l'orifice 107 au
moyen d'une pompe. A titre d'exemple, lorsque le fluide de transfert d'énergie thermique
est un sel fondu, la pompe utilisée peut être une pompe à sel. De telles pompes sont
connues de l'homme du métier, une pompe quelconque pouvant être utilisée.

35 Pendant la charge, le fluide de transfert d'énergie thermique peut s'écouler à travers les
canaux 105 en formant une région chaude 111 à la fois dans le fluide de transfert
d'énergie thermique et dans le milieu de stockage d'énergie thermique situé à proximité
de l'orifice 107. La température du fluide dans cette région peut être identique, ou du

moins semblable, à la température du fluide passant par l'orifice 107. A mesure que le fluide passe à travers les canaux 105, de l'énergie thermique peut être transférée aux blocs 101 de milieu de stockage d'énergie thermique. Le fluide de transfert d'énergie thermique peut ainsi se refroidir à mesure qu'il s'écoule vers l'orifice 109. Il en résulte qu'une région froide 113 peut être formée à la fois dans le fluide de transfert d'énergie thermique et dans le milieu de stockage d'énergie thermique situé à proximité de l'orifice 109. Bien qu'une configuration particulière des orifices 107 et 109 soit représentée sur la figure 1A, un homme du métier notera que d'autres configurations peuvent être utilisées pour former une thermocline entre les orifices et le long du milieu de stockage d'énergie thermique. En outre, pendant la décharge du dispositif, l'écoulement du fluide de transfert d'énergie thermique peut s'effectuer en sens opposé. La charge et la décharge des dispositifs de stockage d'énergie thermique 100 seront évoquées ci-après plus en détail.

Fluide de transfert d'énergie thermique

Le dispositif de stockage d'énergie thermique 100 peut être configuré de façon à utiliser divers fluides de transfert d'énergie thermique afin de transférer de la chaleur vers et en provenance du milieu de stockage d'énergie thermique du dispositif de stockage d'énergie thermique 100. Le fluide de transfert d'énergie thermique peut également jouer le rôle de milieu de stockage d'énergie thermique en stockant la chaleur contenue dans le fluide. Des exemples non limitatifs de fluides de transfert d'énergie thermique comprennent de l'eau, un mélange d'eau (par exemple de l'eau et de l'ammoniac), un hydrocarbure (par exemple du pentane), du dioxyde de carbone, un sel fondu, un fluide ionique, de l'air, de l'huile, ou un autre fluide approprié. Le fluide de transfert d'énergie thermique peut être utilisé directement (par exemple pour entraîner une turbine), ou peut échanger de la chaleur avec un deuxième fluide. Le deuxième fluide peut être semblable à, ou différent de celui des exemples fournis ci-dessus pour le fluide de transfert d'énergie thermique. A titre d'exemple, le fluide de transfert d'énergie thermique peut être un sel fondu et le deuxième fluide peut être de la vapeur d'eau. Bien que des exemples particuliers aient été fournis ci-dessus pour le fluide de transfert d'énergie thermique, il est à noter que d'autres fluides peuvent être utilisés selon l'application particulière.

Dans un exemple, un sel fondu peut être utilisé comme fluide de transfert d'énergie thermique du dispositif de stockage d'énergie thermique 100. Le sel fondu peut être utilisé avec ou sans couverture d'oxygène. Les sels fondus subissent une convection comme l'eau à des températures élevées et en outre, contrairement à certains liquides, les sels fondus n'ont pas de pression de vapeur, cela les rendant plus sûrs d'utilisation dans un système à haute température, et ils sont souvent moins coûteux que les huiles.

Cependant, des liquides (tels que des huiles) ayant une pression de vapeur peuvent être utilisés dans la bouillie, facultativement en association avec une couverture de N₂ ou de O₂. Les sels fondus sont fondus et ne peuvent pas se décomposer aux températures de fonctionnement du système de stockage. Des exemples de sels fondus comprennent par exemple des sels de nitrates et de nitrites de lithium, de sodium, de potassium et de calcium. Les sels fondus pouvant être utilisés ont fréquemment une température de fusion d'au moins environ 150 °C. Dans divers exemples, le sel fondu comprend un mélange 50/50 (en poids ou en volume) de NaNO₃ et de KNO₃ (stable jusqu'à 540 °C). L'ajout de CaNO₂ en tant que constituant mineur à ce mélange permet d'abaisser le point de fusion du mélange.

Charge et décharge du dispositif de stockage d'énergie thermique

En mode de stockage, le fluide de transfert d'énergie thermique tel qu'il est décrit ici peut être introduit par pompage dans le réservoir 115 par l'orifice 107 et par l'intermédiaire de canaux 105 disposés à l'intérieur du dispositif de stockage d'énergie thermique 100. L'énergie thermique provenant du fluide de transfert d'énergie thermique peut être échangée avec le milieu de stockage d'énergie thermique et être stockée à une température T_1 , où T_1 est supérieure à la température de condensation du fluide à la pression de fonctionnement (cela créant une région chaude 111). Dans un exemple, la température T_1 peut être dans la gamme de 300-400 °C, de 350-550 °C, de 395-495 °C, de 550-750 °C, ou d'autres températures. Lorsque le fluide de transfert d'énergie thermique s'écoule à travers les canaux 105, la température du fluide peut diminuer du fait de l'échange de chaleur avec le milieu de stockage d'énergie thermique. Il en résulte qu'une région froide 113 ayant une température T_2 peut se former à proximité de l'orifice 109. Dans un exemple, la température T_2 peut être dans la gamme de 225-500 °C, de 240-475 °C, ou d'autres températures. Il est à noter que lorsque le dispositif de stockage d'énergie thermique 100 est chargé, la différence de température entre la région chaude 111 et la région froide 113 peut diminuer. Dans certains exemples, après une période de charge suffisante, les températures de la région chaude 111 et de la région froide 113 peuvent être identiques, ou du moins semblables.

Dans le mode d'extraction thermique/décharge, le fluide de transfert d'énergie thermique (par exemple un sel fondu) peut être introduit par pompage dans le dispositif de stockage d'énergie thermique 100 pour extraire l'énergie thermique stockée. Dans un exemple, le fluide de transfert d'énergie thermique peut être introduit par pompage dans le dispositif de stockage d'énergie thermique 100 dans la direction opposée à celle du mode de charge. Par conséquent, dans cet exemple, le fluide de transfert d'énergie thermique peut

être introduit par pompage dans le réservoir 115 par l'orifice 109. Il en résulte que le fluide de transfert d'énergie thermique s'écoule à travers la région froide 113 des canaux 105 et monte vers la région chaude 111. A mesure que le fluide s'écoule à travers les canaux 105, le fluide peut être chauffé par l'énergie stockée dans les blocs 101 de milieu de stockage d'énergie thermique ayant été chauffés pendant le mode de charge. Le fluide extrait du dispositif de stockage d'énergie thermique 100 par l'orifice 107 est ainsi à une température plus élevée que celui qui pénètre par l'orifice 109. Dans certains exemples, la gamme de températures du fluide de transfert d'énergie thermique provenant du dispositif de stockage d'énergie thermique 100 peut être dans la gamme de 105-245°C, de 225-500°C, de 250-475°C, ou d'autres températures. Il est à noter qu'à mesure que le dispositif continue de se décharger, la température en sortie du dispositif peut décroître, et la différence de température entre la région chaude 111 et la région froide 113 peut diminuer.

Il est à noter que les "régions", telles qu'elles sont décrites ici, représentent des régions approximatives du milieu de stockage d'énergie thermique, que les frontières entre les régions peuvent ou non être définies de manière nette, et que des différences de composition, des différences de structure, ou des couches isolantes peuvent ou non être présentes dans le milieu de stockage pour aider à former les régions pendant la charge et entretenir les régions pendant une période de stockage.

Dans certains exemples, le milieu de stockage d'énergie thermique peut maintenir un gradient thermique pendant un intervalle de temps suffisant au cours de la décharge du système pour que le fluide chauffé à la température souhaitée puisse être extrait du système de stockage d'énergie thermique pendant l'intervalle de temps souhaité. Bien que le gradient thermique régnant dans le milieu puisse dans certains cas diminuer notablement pendant la période de stockage, le gradient thermique peut être maintenu de manière suffisante pendant la période de décharge pour que le fluide chauffé à la température souhaitée puisse être extrait du système de stockage d'énergie thermique pendant l'intervalle de temps souhaité.

Dans certains exemples, au moyen de vannes (non représentées) associées aux canaux 105 et aux orifices 107 et 109, diverses configurations d'écoulement sont possibles. A titre d'exemple, de multiples canaux 105 peuvent être chargés ou déchargés en parallèle ou séquentiellement. Des modules de stockage de chaleur formés de multiples canaux raccordés par des systèmes collecteurs peuvent être agencés en parallèle pour accepter le pic de volume du fluide de transfert d'énergie thermique pendant la charge et fournir le pic de volume de fluide souhaité lors de la décharge. Dans un autre exemple, deux

canaux peuvent être chargés en parallèle puis déchargés en anti-série, de telle façon que lors de la décharge, le fluide de transfert d'énergie thermique s'écoule en sens inverse à travers les premiers canaux, mais s'écoule ensuite dans le sens initial (par comparaison à la direction de charge) à travers le deuxième canal. Au moins deux modules chargés et surchauffés, chargés en parallèle au cours d'une plus courte période, peuvent être raccordés aux extrémités chaudes raccordées pendant la décharge ; l'écoulement de fluide de l'extrémité froide à l'extrémité chaude du premier, passant alors par l'extrémité chaude du second, chauffera ensuite l'extrémité froide du second et sortira à cet endroit, cela conduisant à un débit régulier de fluide de transfert d'énergie thermique à une température suffisante pour produire de la vapeur d'eau surchauffée pendant un nombre d'heures supérieur au temps de charge, bien que cette température constante puisse être inférieure d'environ 10°C à environ 20°C, ou d'environ 20°C à environ 40°C, à la température de surchauffe du pic d'alimentation. En outre, le dispositif de stockage d'énergie thermique peut être configuré pour s'adapter à une production d'énergie saisonnière par coupure de certaines parties du système au moyen de vannes. D'autres variantes du raccordement entre modules apparaîtront à l'homme du métier.

L'un quelconque des systèmes de stockage d'énergie présentés ci-dessus peut être intégré à une centrale électrique classique, nucléaire ou à énergie thermique solaire, ou à une centrale à vapeur de traitement ou industrielle, et peut être utilisé pour capter la chaleur provenant d'un courant de fluide approprié afin de stocker de l'énergie thermique pour une utilisation ultérieure. Des exemples spécifiques de systèmes à énergie thermique pouvant être utilisés avec le dispositif de stockage d'énergie thermique 100 seront décrits en détail ci-après.

25

SYSTÈME DE COLLECTE D'ÉNERGIE THERMIQUE

La figure 3 illustre un exemple de système de collecte d'énergie solaire 300 pouvant être utilisé avec le dispositif de stockage d'énergie thermique 100. Les lignes en trait continu reliant les divers composants du système de collecte d'énergie solaire 300 indiquent des raccords pouvant être utilisés pendant la charge, la décharge, ou à la fois pendant la charge et la décharge du système. Les lignes en trait discontinu reliant les divers composants du système de collecte d'énergie solaire 300 représentent des raccords ne pouvant être utilisés que pendant la décharge du système. Le système de collecte d'énergie solaire 300 est décrit ci-après dans le cas de l'utilisation de vapeur d'eau en tant que fluide de travail. Cependant, l'homme du métier notera que d'autres fluides peuvent être utilisés de la même manière.

Dans un exemple, le système de collecte d'énergie solaire 300 peut comprendre un champ solaire principal 301 destiné à produire de la vapeur d'eau surchauffée. Le champ solaire principal 301 peut comprendre un champ LFR tel que celui décrit dans les demandes de brevets internationales de numéros PCT/AU2004/000883 et PCT/AU2004/000884, toutes deux datées du 01 juillet 2004, et un exemple de récepteur destiné à un système de ce type est décrit dans la demande de brevet internationale de numéro PCT/AU2005/000208, datée du 17 février 2005. Dans certains exemples, la vapeur d'eau surchauffée sortant du champ solaire principal 301 peut être à une température dans la gamme de 350 à 400°C, par exemple de 375°C. La vapeur d'eau peut en outre être à une pression dans la gamme de 80 à 120 bars, par exemple de 102 bars.

Le système de collecte d'énergie solaire 300 peut en outre comprendre un réchauffeur en ligne 303 destiné à faire croître sélectivement la température de la vapeur d'eau surchauffée produite par le champ solaire principal 301. Le réchauffeur en ligne 303 peut être utilisé pour compenser les périodes lors desquelles les dispositifs de stockage d'énergie thermique ou le champ solaire principal 301 produisent de la vapeur d'eau à une température inférieure à la température souhaitée pour les turbines. Dans un exemple, le réchauffeur en ligne 303 peut être utilisé pour porter la température de la vapeur d'eau à 375°C. Dans un exemple, le réchauffeur en ligne 303 peut comprendre un brûleur à gaz ou un dispositif chauffant semblable. En variante, le réchauffeur en ligne 303 peut être remplacé par un dispositif de stockage en ligne. Le dispositif de stockage en ligne peut être utilisé pour stocker l'excès d'énergie thermique pendant les périodes de forte production et peut être utilisé pour chauffer la vapeur d'eau produite par les dispositifs de stockage d'énergie thermique pendant les périodes de faible production d'énergie ou pour chauffer la vapeur d'eau provenant du champ solaire principal 301 pendant les périodes de faible production. Dans un exemple, le dispositif de stockage en ligne peut comprendre un système de stockage d'énergie thermique semblable à celui décrit dans la demande de brevet internationale N° PCT/US10/21675 déposée le 21 janvier 2010. Cependant, d'autres systèmes de stockage d'énergie thermique peuvent être utilisés. Dans un autre exemple, une dérivation facultative peut être prévue pour contourner le réchauffeur en ligne 303 ou le dispositif de stockage en ligne lorsqu'un tel dispositif n'est pas nécessaire.

Le système de collecte d'énergie solaire 300 peut en outre comprendre une turbine à condensation 305 destinée à générer de l'électricité en utilisant de la vapeur d'eau. A titre d'exemple, la turbine à condensation 305 peut être utilisée pour générer de l'électricité en utilisant la vapeur d'eau surchauffée provenant du champ solaire principal 301, du réchauffeur en ligne 303, ou d'un dispositif de stockage d'énergie thermique. Dans un

exemple, lorsqu'elle est alimentée par de la vapeur d'eau à 375°C et à 102 bars, la turbine à condensation peut produire une puissance d'environ 240 MW. Cependant, il est à noter que l'énergie produite peut dépendre de la turbine utilisée et une turbine à condensation quelconque peut être utilisée. Lors de la production d'électricité, la turbine à condensation
5 305 peut condenser la vapeur d'eau surchauffée en produisant un condensat.

Le système de collecte d'énergie solaire 300 peut en outre comprendre un refroidisseur à sec 327 de réfrigération destiné à refroidir l'eau de condensation produite par la turbine à condensation 305. Le condensat peut ensuite être pompé vers un mélangeur de
10 préchauffage 321 (décrit plus en détail ci-après) par une pompe 329. La pompe 329 peut être configurée pour pomper l'eau à une pression comprise entre 4 et 25 bars, par exemple de 10 bars.

Le système de collecte d'énergie solaire 300 peut en outre comprendre une turbine sans condensation 307 destinée à générer de l'électricité en utilisant de la vapeur d'eau. La turbine sans condensation 307 peut être utilisée pour générer de l'électricité en utilisant le surplus de vapeur d'eau surchauffée provenant du champ solaire 301 ou du réchauffeur en ligne 303. A titre d'exemple, la turbine sans condensation 307 peut être utilisée pour générer de l'électricité en utilisant le surplus de vapeur d'eau produit pendant les périodes
20 de forte production de la journée. En outre, la turbine sans condensation 307 peut être utilisée pour générer de l'électricité en utilisant le surplus de vapeur d'eau sans condenser la vapeur d'eau. La vapeur d'eau sortant de la turbine sans condensation 307 peut être à une pression réduite et peut donc être chauffée à une température plus élevée pour charger un dispositif de stockage d'énergie thermique. Dans certains exemples, la vapeur
25 d'eau sortant de la turbine sans condensation peut être à une température dans la gamme de 200-300°C, par exemple de 250°C. La vapeur d'eau peut en outre être à une pression dans la gamme de 6-30 bars, par exemple de 15 bars.

Le système de collecte d'énergie solaire 300 peut en outre comprendre un amplificateur de surchauffe 309 destiné à chauffer davantage la vapeur d'eau reçue de la turbine sans condensation 307 et d'un champ solaire secondaire 311. Le champ solaire secondaire 311 peut être semblable au champ solaire principal 301 mais, dans certains exemples, peut être plus petit et peut produire une plus faible quantité d'énergie thermique. L'amplificateur de surchauffe 309 peut comprendre de multiples surchauffeurs constitués d'un récepteur
35 solaire unique ou de multiples récepteurs solaires qui peut/peuvent être utilisé(s) pour chauffer de la vapeur d'eau afin de stocker de l'énergie thermique dans le dispositif 315 de stockage d'énergie thermique. Les multiples surchauffeurs peuvent être configurés selon un cycle de resurchauffe, comme illustré sur la figure 3, pour chauffer et surchauffer

la vapeur d'eau. Dans un exemple, l'amplificateur de surchauffe 309 peut être couplé à l'échangeur de chaleur 313 pour transférer de la chaleur vers et en provenance du dispositif de stockage d'énergie thermique 315. L'échangeur de chaleur 313 peut également être couplé au dispositif de stockage d'énergie thermique 315. Le dispositif de
5 stockage d'énergie thermique 315 peut être semblable au dispositif de stockage d'énergie thermique 100 décrit ci-dessus à propos des figures 1-2. Dans certains exemples, le fluide de travail du système de collecte d'énergie solaire 300 peut être de la vapeur d'eau et le fluide de transfert d'énergie thermique utilisé dans le dispositif de stockage d'énergie thermique 315 peut être un sel fondu. Dans ces exemples, l'échangeur de chaleur 313
10 peut comprendre un échangeur de chaleur 313 peut comprendre un échangeur de chaleur vapeur d'eau à sel fondu.

Le surchauffeur 309 peut être configuré pour recevoir de la vapeur d'eau à une température dans la gamme de 250-310°C, par exemple de 290°C. La vapeur d'eau peut
15 être à une pression de 6-30 bars, par exemple de 15 bars. L'amplificateur de surchauffe 309 peut en outre être configuré pour envoyer la vapeur d'eau reçue de la turbine sans condensation 307 et du champ solaire secondaire 311 à un premier surchauffeur. Dans certains exemples, la vapeur d'eau produite par chaque surchauffeur peut être dans la gamme de 450-580°C, par exemple de 500°C. La vapeur d'eau provenant du premier
20 surchauffeur peut ensuite être amenée à passer vers l'échangeur de chaleur 313, où la chaleur provenant de la vapeur d'eau peut être extraite et transférée au fluide de transfert d'énergie thermique dans le dispositif de stockage d'énergie thermique 313. Dans certains exemples, la température de la vapeur d'eau sortant de l'échangeur de chaleur 313 peut rester au-dessus de la température de condensation, par exemple à 255°C. La vapeur
25 d'eau sortant de l'échangeur de chaleur 313 peut ensuite être envoyée à travers des cycles supplémentaires de chauffage produits par des amplificateurs de surchauffe et d'extraction de chaleur au moyen de l'échangeur de chaleur 313. Dans certains exemples, de la vapeur d'eau à une température dans la gamme de 250-310°C, par exemple de 280°C, peut sortir de l'échangeur de chaleur 313 après le cycle final de chauffage par
30 l'amplificateur de surchauffe 309 et d'extraction thermique par l'échangeur de chaleur 313. La vapeur d'eau peut en outre être à une pression de 5-25 bars, par exemple, de 12 bars. Bien que la figure 3 représente cinq surchauffeurs dans l'amplificateur de surchauffe 309, il est à noter qu'un nombre quelconque de surchauffeurs peut être utilisé. En outre, l'homme du métier notera qu'un récepteur solaire unique ou que de multiples récepteurs
35 solaires peut/peuvent être utilisé(s) en tant que surchauffeurs dans l'amplificateur de surchauffe 309.

Le système de collecte d'énergie solaire 300 peut en outre comprendre un deuxième

échangeur de chaleur 317 et un deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 319 destiné à stocker de l'énergie thermique pour préchauffer le fluide de travail. Le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 319 peut être semblable au dispositif de stockage d'énergie thermique 100 décrit ci-dessus à propos des figures 1-2. Dans certains exemples, au moins une partie de la vapeur d'eau sortant de l'échangeur de chaleur 313 peut passer à travers l'échangeur de chaleur 317 où de la chaleur est extraite de la vapeur d'eau et stockée dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 319. Comme la température de la vapeur d'eau utilisée pour charger le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 319 peut être inférieure à celle utilisée pour charger le dispositif de stockage d'énergie thermique 315, le fluide de transfert d'énergie thermique utilisé dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 319 peut comprendre une huile. Dans ces exemples, l'échangeur de chaleur 317 peut comprendre un échangeur de chaleur entre vapeur et huile.

Le système de collecte d'énergie solaire 300 peut en outre comprendre un mélangeur de préchauffage 321 destiné à mélanger la vapeur d'eau saturée restante provenant de l'échangeur de chaleur 313 et du deuxième échangeur de chaleur 317 avec de l'eau d'alimentation provenant d'une pompe 329. La vapeur d'eau pénétrant dans le mélangeur de préchauffage 321 en provenance de l'échangeur de chaleur 313 et du deuxième échangeur de chaleur 317 peut être à une température dans la gamme de 150-250 °C, par exemple de 200 °C. En outre, la vapeur d'eau peut être à une pression comprise entre 4 et 25 bars, par exemple de 10 bars. Comme décrit ci-dessus, l'eau pénétrant dans le mélangeur de préchauffage 321 en provenance de la pompe 329 peut être pompée à une pression semblable, par exemple de 10 bars. Au moins une partie de l'eau préchauffée provenant du mélangeur de préchauffage 321 peut être pompée vers le champ solaire principal 301 par une pompe 323. La pompe 323 peut être configurée pour pomper l'eau préchauffée vers le champ solaire principal 301 à une pression comprise entre 100 et 145 bars, par exemple à 112 bars. En outre, au moins une partie de l'eau préchauffée provenant du mélangeur de préchauffage 321 peut être pompée vers le champ solaire secondaire 311 par une pompe 325. La pompe 325 peut être configurée pour pomper l'eau préchauffée vers le champ solaire secondaire 311 à une pression comprise entre 15 et 25 bars, par exemple de 17 bars. Dans certains exemples, la pression en sortie de la pompe 325 peut être supérieure de 2 à 5 bars à celle de l'entrée de l'amplificateur de surchauffe 309.

Le système de collecte d'énergie solaire 300 peut en outre comprendre des vannes v1-v21 destinées à commander le débit de vapeur d'eau et d'eau pendant la charge et la décharge du système. Dans un exemple, pendant la charge du dispositif de stockage

d'énergie thermique 315, les vannes v2-v4, v6-v12 et v18-v19 peuvent être ouvertes, tandis que les vannes v1, v5, v13-v17 et v20-v21 peuvent être fermées. Il en résulte que pendant la charge, la vapeur d'eau produite par le champ solaire principal 301 peut passer à travers (ou peut contourner) le réchauffeur en ligne 303 pour aller à la fois vers la turbine à condensation 305 et vers la turbine sans condensation 307. La sortie de la turbine sans condensation 307 peut être mélangée à la sortie du champ solaire secondaire 311 et envoyée à travers l'amplificateur de surchauffe 309. La vapeur d'eau surchauffée produite par chaque surchauffeur de l'amplificateur de surchauffe 309 peut être utilisée pour charger le dispositif de stockage d'énergie thermique 315 par l'intermédiaire de l'échangeur de chaleur 313, comme décrit précédemment. La sortie de l'échangeur de chaleur 313 peut être envoyée à un deuxième échangeur de chaleur 317 pour charger le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 319. Les sorties du deuxième échangeur de chaleur 317 et de l'échangeur de chaleur 313 peuvent être combinées à l'eau condensée et refroidie provenant du refroidisseur à sec 327 et de la pompe 329, en utilisant le mélangeur de préchauffage 321. La sortie du mélangeur de préchauffage 321 peut être pompée vers le champ solaire principal 301 par la pompe 323 et vers le champ solaire secondaire 311 par la pompe 325, où l'eau est de nouveau chauffée et recyclée de la façon décrite précédemment.

Dans un exemple, pendant la décharge des dispositifs de stockage d'énergie solaire 315 et 319, les vannes v1, v5, v13-v17 et v20-v21 peuvent être ouvertes, tandis que les vannes v2-v4, v6-v12 et v18-v19 peuvent être fermées. Il en résulte que pendant la décharge, de l'eau peut être introduite par pompage dans l'échangeur de chaleur 317 pour préchauffer l'eau au moyen de l'énergie thermique stockée dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 319. L'eau préchauffée provenant du deuxième échangeur de chaleur 317 peut être introduite par pompage dans l'échangeur de chaleur 313 par la pompe 323. Comme les vannes v8-v12 sont fermées, l'eau contourne l'amplificateur de surchauffe 309 et peut au lieu de cela être chauffée par l'échangeur de chaleur 313 au moyen de l'énergie thermique stockée dans le dispositif de stockage d'énergie thermique 315. La vapeur d'eau chauffée sortant de l'échangeur de chaleur 313 peut ensuite passer à travers la vanne v1 vers le réchauffeur en ligne 303 (ou, dans certains exemples, vers le dispositif de stockage en ligne). Comme décrit ci-dessus, dans certains exemples, la vapeur d'eau peut contourner le réchauffeur en ligne 303, selon la température de la vapeur d'eau. La sortie du réchauffeur en ligne 303 peut ensuite passer vers la turbine à condensation 305 où elle peut être utilisée pour générer de l'électricité. Le condensat provenant de la turbine à condensation 305 peut ensuite passer à travers le refroidisseur à sec 327. L'eau sortant du refroidisseur à sec 327 peut ensuite être pompée vers l'échangeur de chaleur 317 par la pompe 329. La vapeur d'eau et l'eau peuvent

continuer de s'écouler à travers le système de collecte d'énergie solaire 300, comme décrit ci-dessus.

La figure 4 illustre un autre exemple de système de collecte d'énergie solaire 400 pouvant être utilisé avec le dispositif de stockage d'énergie thermique 100. Les lignes en trait plein reliant les divers composants du système de collecte d'énergie solaire 400 indiquent des raccordements pouvant être utilisés à la fois pendant la charge et la décharge du système. Les lignes en trait discontinu reliant les divers composants du système de collecte d'énergie solaire 400 représentent des raccordements qui ne peuvent être utilisés que pendant la décharge du système. Les lignes en pointillés reliant les divers composants du système de collecte d'énergie solaire 400 représentent des raccordements qui ne peuvent être utilisés que pendant la charge du système.

Dans un exemple, le système de collecte d'énergie solaire 400 peut comprendre un champ solaire principal 401 destiné à produire de la vapeur d'eau surchauffée. Le champ solaire principal 401 peut être semblable au champ solaire principal 301. Dans certains exemples, la vapeur d'eau surchauffée sortant du champ solaire principal 401 peut être à une température dans la gamme de 350-400°C, par exemple de 370°C. La vapeur d'eau peut en outre être à une pression dans la gamme de 80-120 bars, par exemple de 100 bars.

Le système de collecte d'énergie solaire 400 peut en outre comprendre un réchauffeur en ligne 403 destiné à faire croître sélectivement la température de la vapeur d'eau surchauffée produite par le champ solaire principal 401. Le réchauffeur en ligne 403 peut être semblable au réchauffeur en ligne 303. Le réchauffeur en ligne 403 peut être utilisé pour compenser les périodes de faible production lors desquelles le dispositif de stockage d'énergie thermique ou le champ solaire principal 401 produisent de la vapeur d'eau à une température inférieure à la température souhaitée pour les turbines. Dans un exemple, le réchauffeur en ligne 403 peut être utilisé pour porter la température de la vapeur d'eau à 370°C. En variante, le réchauffeur en ligne 403 peut être remplacé par un dispositif de stockage en ligne. Le dispositif de stockage en ligne peut être utilisé pour stocker l'excès d'énergie thermique pendant les périodes de forte production et peut être utilisé pour chauffer la vapeur d'eau produite par le champ solaire principal 401 et les dispositifs de stockage d'énergie thermique pendant les périodes de faible production. Dans un exemple, le dispositif de stockage en ligne peut comprendre un système de stockage d'énergie thermique semblable à celui décrit dans la demande de brevet internationale numéro PCT/US10/21675, déposée le 21 janvier 2010. Cependant, d'autres systèmes de stockage d'énergie thermique peuvent être utilisés. Dans un autre exemple, une

dérivation facultative peut être incluse pour contourner le réchauffeur en ligne 403 ou le dispositif de stockage en ligne.

5 **[0078]** Dans certains exemples, la turbine à condensation 405 peut être semblable à la turbine à condensation 305. La turbine à condensation 405 peut être utilisée pour générer de l'électricité en utilisant la vapeur d'eau surchauffée provenant du champ solaire principal 401, du réchauffeur en ligne 403 ou du dispositif de stockage d'énergie thermique. Dans un exemple, lorsqu'elle est alimentée avec de la vapeur d'eau à 370°C et à 100 bars, la turbine à condensation peut produire une puissance d'environ 240 MW.
10 Cependant, il est à noter que l'énergie produite peut dépendre de la turbine utilisée et qu'une turbine à condensation quelconque peut être utilisée. Lorsqu'elle génère de l'électricité, la turbine à condensation 405 peut condenser la vapeur d'eau surchauffée en produisant un condensat.

15 Le système de collecte d'énergie solaire 400 peut en outre comprendre un refroidisseur à sec 427 de réfrigération destiné à refroidir le condensat provenant de la turbine à condensation 405. Dans certains exemples, le refroidisseur à sec 427 peut être semblable au refroidisseur à sec 327. Le condensat provenant de la turbine à condensation 405 peut être refroidi par le refroidisseur à sec 427 et la sortie peut être pompée vers un mélangeur de préchauffage 421 (décrit plus en détail ci-après) par une pompe 429. La pompe 429
20 peut recevoir l'eau provenant du refroidisseur à sec 427 à une pression d'environ 1 bar ou moins et peut être configurée pour pomper l'eau à une pression comprise entre 5 et 20 bars, par exemple de 15 bars. En outre, l'eau peut être à une température comprise entre 30 et 50°C, par exemple de 40°C.

25 Le système de collecte d'énergie solaire 400 peut en outre comprendre une turbine sans condensation 407 destinée à générer de l'électricité à partir de vapeur d'eau. La turbine sans condensation 407 peut être semblable à la turbine sans condensation 307. La turbine sans condensation 407 peut être utilisée pour générer de l'électricité en utilisant le surplus de vapeur d'eau surchauffée provenant du champ solaire principal 401 ou du réchauffeur en ligne 403. A titre d'exemple, la turbine sans condensation 407 peut être
30 utilisée pour générer de l'électricité en utilisant le surplus de vapeur d'eau produit pendant les périodes de forte production de la journée. En outre, la turbine sans condensation 407 peut être utilisée pour générer de l'électricité en utilisant le surplus de vapeur d'eau sans condenser la vapeur d'eau. La vapeur d'eau sortant de la turbine sans condensation 407
35 peut être à une pression réduite et peut donc être chauffée à une température plus élevée pour charger le dispositif de stockage thermique. Dans certains exemples, la vapeur d'eau sortant de la turbine sans condensation peut être à une température dans la gamme de

200-250 °C, par exemple de 225 °C. La vapeur d'eau peut en outre être à une pression dans la gamme de 10-25 bars, par exemple de 15 bars.

5 Le système de collecte d'énergie solaire 400 peut en outre comprendre un amplificateur de surchauffe 409 destiné à chauffer davantage la vapeur d'eau reçue de la turbine sans condensation 407. L'amplificateur de surchauffe 409 peut comprendre un récepteur solaire unique ou de multiples récepteurs solaires qui est/sont utilisé(s) pour chauffer la vapeur d'eau afin de stocker de l'énergie thermique dans le dispositif de stockage d'énergie thermique 415. Dans un exemple, l'amplificateur de surchauffe 409 peut être
10 couplé à l'échangeur de chaleur 413 pour transférer de la chaleur vers et en provenance du dispositif de stockage d'énergie thermique 415. L'échangeur de chaleur 413 peut également être couplé au dispositif de stockage d'énergie thermique 415. Le dispositif de stockage d'énergie thermique 415 peut être semblable au dispositif de stockage d'énergie thermique 100 décrit précédemment à propos des figures 1-2. Dans certains exemples, le
15 fluide de travail du système de collecte d'énergie solaire 400 peut être de la vapeur d'eau et le fluide de transfert d'énergie thermique utilisé dans le dispositif de stockage d'énergie thermique 415 peut être un sel fondu. Dans ces exemples, l'échangeur de chaleur 413 peut comprendre un échangeur de chaleur entre vapeur d'eau et sel fondu.

20 L'amplificateur de surchauffe 409 peut être configuré pour recevoir de la vapeur d'eau à une température dans la gamme de 200-250 °C, par exemple de 225 °C. En outre, la vapeur d'eau peut être à une pression dans la gamme de 10-25 bars, par exemple de 15 bars. L'amplificateur de surchauffe 409 peut en outre être configuré pour envoyer la vapeur d'eau reçue de la turbine sans condensation 407 à un premier surchauffeur de
25 l'amplificateur de surchauffe 409. Dans certains exemples, la vapeur d'eau produite par chaque surchauffeur peut être dans la gamme de 470-600 °C, par exemple de 550 °C. La vapeur d'eau provenant du premier surchauffeur peut ensuite être amenée à passer vers l'échangeur de chaleur 413, où la chaleur de la vapeur d'eau peut ensuite être extraite et transférée au fluide de transfert d'énergie thermique dans le dispositif de stockage
30 d'énergie thermique 413. Dans certains exemples, la température de la vapeur d'eau sortant de l'échangeur de chaleur 413 peut rester supérieure à la température de condensation. La vapeur d'eau sortant de l'échangeur de chaleur 413 peut ensuite être envoyée à travers des cycles supplémentaires de chauffage par l'intermédiaire de surchauffeurs et d'extraction thermique en utilisant l'échangeur de chaleur 413. Dans
35 certains exemples, la vapeur d'eau à une température dans la gamme de 280-320 °C, par exemple de 300 °C, peut sortir de l'échangeur de chaleur 413 après le cycle final de chauffage effectué par l'amplificateur de surchauffe 409 et l'extraction thermique effectuée par l'échangeur de chaleur 413. La vapeur d'eau peut en outre être à une pression

comprise entre 5 et 20 bars, par exemple de 12 bars. Bien que la figure 4 représente cinq surchauffeurs dans l'amplificateur de surchauffe 409, il est à noter qu'un nombre quelconque de surchauffeurs peut être utilisé. En outre, un homme du métier notera qu'un récepteur solaire unique ou que de multiples récepteurs solaires peut/peuvent être
5 utilisé(s) comme surchauffeurs dans l'amplificateur de surchauffe 409.

Le système de collecte d'énergie solaire 400 peut en outre comprendre un champ solaire secondaire 411 destiné à surchauffer la vapeur d'eau. Le champ solaire secondaire 411 peut être semblable au champ solaire principal 401 mais, dans certains exemples, peut
10 être plus petit et peut produire une moindre quantité d'énergie thermique. Dans certains exemples, la vapeur d'eau surchauffée sortant du champ solaire secondaire 411 peut être à une température dans la gamme de 340-390 °C, par exemple de 364 °C. La vapeur d'eau peut en outre être à une pression dans la gamme de 170-220 bars, par exemple de 195 bars.

15 Le système de collecte d'énergie solaire 400 peut en outre comprendre un deuxième échangeur de chaleur 431 et un deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 433 destiné à stocker de l'énergie thermique afin de charger une chaudière. Le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 433 peut être semblable au dispositif de
20 stockage d'énergie thermique 100 décrit ci-dessus à propos des figures 1-2. Dans certains exemples, le fluide de transfert d'énergie thermique utilisé dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 433 peut comprendre un sel fondu. Dans ces exemples, l'échangeur de chaleur 431 peut comprendre un échangeur de chaleur vapeur d'eau à sel fondu. Dans certains exemples, la vapeur d'eau sortant du champ solaire
25 secondaire 411 peut passer à travers le deuxième échangeur de chaleur 431 où la chaleur peut être extraite de la vapeur d'eau saturée et stockée dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 433. Dans certains exemples, la température du fluide sortant du deuxième échangeur de chaleur 431 peut rester à la température de condensation. Le fluide sortant du deuxième échangeur de chaleur 431 peut ensuite être
30 envoyé à travers des réchauffeurs de l'amplificateur de resurchauffe 410. Dans certains exemples, le fluide resurchauffé par chacun des deux resurchauffeurs peut être supérieur de 1-10 °C à la température d'ébullition, ou dans d'autres gammes. La vapeur d'eau provenant du resurchauffeur peut ensuite de nouveau être amenée à passer vers le
35 deuxième échangeur de chaleur 431 où la chaleur provenant de la vapeur d'eau peut ensuite être extraite et transférée au fluide de transfert d'énergie thermique dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 433. Des cycles supplémentaires de chauffage au moyen des resurchauffeurs et de l'extraction de chaleur, en utilisant le deuxième échangeur de chaleur 431, peuvent être effectués pour charger le deuxième

dispositif de stockage d'énergie thermique 433. Dans certains exemples, un fluide à une température dans la gamme de 250-310°C, par exemple de 280°C, peut sortir du deuxième échangeur de chaleur 431 après le cycle final de chauffage produit par l'amplificateur de resurchauffe 410 et l'extraction thermique effectuée par l'échangeur de chaleur 431. Le fluide peut en outre être à une pression comprise entre 150 et 180 bars, par exemple de 170 bars. Bien que la figure 4 représente deux resurchauffeurs utilisés avec le deuxième échangeur de chaleur 431, il est à noter qu'un nombre quelconque de resurchauffeurs peuvent être utilisés. En outre, il est à noter que bien que les resurchauffeurs de l'amplificateur de resurchauffe 410 soient séparés des surchauffeurs de l'amplificateur de surchauffe 409, un même récepteur solaire peut être utilisé.

Le système de collecte d'énergie solaire 400 peut en outre comprendre un troisième échangeur de chaleur 417 et un troisième dispositif de stockage d'énergie thermique 419 pour stocker de l'énergie thermique afin de charger un préchauffeur. Le troisième dispositif de stockage d'énergie thermique 419 peut être semblable au dispositif de stockage d'énergie thermique 100 décrit ci-dessus à propos des figures 1-2. Dans certains exemples, le fluide sortant du deuxième échangeur de chaleur 431 peut passer à travers l'échangeur de chaleur 417 dans lequel la chaleur peut être extraite du fluide et stockée dans le troisième dispositif de stockage d'énergie thermique 419. Comme la température du fluide utilisé pour charger le troisième dispositif de stockage d'énergie thermique 419 peut être inférieure à celle utilisée pour charger le dispositif de stockage d'énergie thermique 415 et le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 433, le fluide de transfert d'énergie thermique utilisé dans le troisième dispositif de stockage d'énergie thermique 419 peut comprendre une huile. Dans ces exemples, l'échangeur de chaleur 417 peut comprendre un échangeur de chaleur fluide à huile.

Le système de collecte d'énergie solaire 400 peut en outre comprendre un mélangeur de préchauffage 421 destiné à mélanger la vapeur d'eau provenant de l'échangeur de chaleur 413 à l'eau d'alimentation provenant de la pompe 429. La vapeur d'eau pénétrant dans le mélangeur de préchauffage 421 en provenance de l'échangeur de chaleur 413 peut être à une température dans la gamme de 250-320°C, par exemple de 300°C. En outre, la vapeur d'eau peut être à une pression comprise entre 5 et 20 bars, par exemple de 12 bars. Comme décrit ci-dessus, l'eau pénétrant dans le mélangeur de chaleur 421 en provenance de la pompe 429 peut être pompée à une pression semblable, par exemple de 12 bars. L'eau préchauffée provenant du mélangeur de préchauffage 421 peut être pompée vers le champ solaire principal 401 par une pompe 423. La pompe 423 peut être configurée pour pomper l'eau préchauffée vers le champ solaire principal 401 à une pression comprise entre 90 et 130 bars, par exemple de 110 bars.

Le système de collecte d'énergie solaire 400 peut en outre comprendre des vannes v1-v25 destinées à commander l'écoulement de vapeur d'eau et d'eau pendant la charge et la décharge du système. Dans un exemple, pendant la charge des dispositifs de stockage d'énergie thermique 415, 419 et 433, les vannes v1-v14 peuvent être ouvertes tandis que les vannes v15-v25 peuvent être fermées. Il en résulte que pendant la charge, la vapeur d'eau produite par le champ solaire principal 401 peut s'écouler à travers (ou peut contourner) le réchauffeur en ligne 403 à la fois vers la turbine à condensation 405 et vers la turbine sans condensation 407. La sortie de la turbine à condensation 405 peut être envoyée à travers un refroidisseur à sec 427 dans lequel le condensat peut être refroidi. Le condensat refroidi peut ensuite être pompé par une pompe 429 vers le mélangeur de préchauffage 421 en tant qu'eau d'alimentation. En outre, la sortie de la turbine sans condensation 407 peut être envoyée à travers l'amplificateur de surchauffe 409. La vapeur d'eau surchauffée produite par au moins une partie des surchauffeurs de l'amplificateur de surchauffe 409 peut être utilisée pour charger le dispositif de stockage d'énergie thermique 415 par l'intermédiaire de l'échangeur de chaleur 413. La sortie de l'échangeur de chaleur 413 peut être envoyée au mélangeur de préchauffage 421 pour préchauffer l'eau d'alimentation provenant de la pompe 429. En outre, la vapeur d'eau produite par le champ solaire secondaire 411 peut s'écouler à travers l'échangeur de chaleur 431 et l'amplificateur de resurchauffe 410. Le fluide resurchauffé produit par le champ solaire secondaire 411 et par au moins une partie des resurchauffeurs de l'amplificateur de resurchauffe 410 peut être utilisé pour charger le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 433 par l'intermédiaire de l'échangeur de chaleur 431. La sortie du deuxième échangeur de chaleur 431 peut être envoyée à un troisième échangeur de chaleur 417 qui extrait la chaleur du fluide pour charger un troisième dispositif de stockage d'énergie thermique 419. La sortie du troisième échangeur de chaleur 417 peut être renvoyée par pompage vers le champ solaire secondaire 411 par une pompe 425. La vapeur d'eau et l'eau peuvent continuer de s'écouler à travers le système de collecte d'énergie solaire 400, comme décrit précédemment.

Dans un exemple, pendant la décharge des dispositifs de stockage d'énergie thermique 415, 419 et 433, les vannes v1-v14 peuvent être fermées, alors que les vannes v15-v25 peuvent être ouvertes. Il en résulte que, pendant la décharge, de l'eau peut être introduite par pompage dans le troisième échangeur de chaleur 417 pour préchauffer l'eau en utilisant l'énergie thermique stockée dans le troisième dispositif de stockage d'énergie thermique 419. Le fluide de travail préchauffé provenant du troisième échangeur de chaleur 417 peut être introduit par pompage dans le deuxième échangeur de chaleur 431, par la pompe 423. Comme les vannes v12-v13 sont fermées, le fluide de travail contourne

l'amplificateur de resurchauffage 410 et peut au lieu de cela être chauffée par l'énergie thermique stockée dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique 433. Le fluide de travail sortant du deuxième échangeur de chaleur 431 peut être introduit par pompage dans l'échangeur de chaleur 413 pour surchauffer le fluide de travail en utilisant
5 l'énergie thermique stockée dans le dispositif de stockage d'énergie thermique 415. Comme les vannes v7-v11 sont fermées, le fluide de travail contourne l'amplificateur de surchauffe 409 et peut au lieu de cela être chauffé par l'énergie thermique stockée dans le dispositif de stockage d'énergie thermique 415. La vapeur d'eau surchauffée provenant de l'échangeur de chaleur 413 peut passer à travers la vanne v15 et atteindre le réchauffeur
10 en ligne 403. Comme décrit ci-dessus, dans certains exemples, la vapeur d'eau peut contourner le réchauffeur en ligne 403, selon la température de la vapeur d'eau. La sortie du réchauffeur en ligne 403 peut ensuite passer vers la turbine à condensation 405 dans laquelle elle peut être utilisée pour générer de l'électricité. Le condensat provenant de la turbine à condensation 405 peut ensuite passer à travers le refroidisseur à sec 427. L'eau
15 sortant du refroidisseur à sec 427 peut ensuite être pompée vers le troisième échangeur de chaleur 417 par la pompe 429. La vapeur d'eau et l'eau peuvent continuer de s'écouler à travers le système de collecte d'énergie thermique 400, comme décrit précédemment.

L'homme du métier notera que les opérations effectuées par certaines variantes peuvent
20 être mises en œuvre en utilisant un matériel, un logiciel, un microcode ou des combinaisons de ceux-ci, selon les nécessités. A titre d'exemple, certains processus peuvent être mis en œuvre au moyen de processeurs ou d'autres circuits numériques sous le contrôle d'un logiciel, d'un microcode ou d'une logique câblée (le terme de "logique" utilisé ici désigne un matériel fixe, une logique programmable et/ou une
25 combinaison appropriée de ceux-ci, comme pourra le noter l'homme du métier pour mettre en œuvre les fonctions citées). Des logiciels et des microcodes peuvent être stockés sur des supports de stockage lisibles par ordinateur. Certains autres processus peuvent être mis en œuvre au moyen de circuits analogiques, comme cela est bien connu de l'homme du métier. En outre, une mémoire ou un autre système de stockage, ainsi que
30 des composants de communication, peuvent être utilisés dans des modes de réalisation de l'appareil et des procédés décrits ici.

La figure 5 illustre un système informatique représentatif 500 pouvant être utilisé pour
mettre en œuvre la fonctionnalité de traitement dans certaines variantes du processus.
35 L'homme du métier compétent dans le domaine concerné saura également comment mettre en œuvre l'appareil et les procédés décrits ici en utilisant d'autres systèmes informatiques ou d'autres architectures. Le système informatique 500 peut par exemple être constitué d'un ordinateur de bureau, d'un ordinateur portable ou d'un ordinateur bloc-

notes, d'un dispositif informatique portable (assistant numérique personnel, téléphone portable, ordinateur de poche), d'un ordinateur central, d'un super-ordinateur, d'un serveur, d'un client, ou de tout autre type de dispositif informatique spécialisé ou polyvalent selon ce qui peut être souhaitable ou approprié pour une application ou un environnement donné. Le système informatique 500 peut comprendre un ou plusieurs processeur(s), tel(s) qu'un processeur 504. Le processeur 504 peut être mis en œuvre au moyen d'un moteur de traitement polyvalent ou spécialisé comme par exemple un microprocesseur, une unité de commande ou une autre logique de commande. Dans cet exemple, le processeur 504 est connecté à un bus 502 ou à un autre support de communication.

Le système informatique 500 peut également comprendre une mémoire principale 508, de préférence une mémoire vive (RAM) ou une autre mémoire dynamique, permettant de stocker des informations et des instructions devant être exécutées par le processeur 504. La mémoire principale 508 peut également être utilisée pour stocker des variables temporaires ou d'autres informations intermédiaires pendant l'exécution d'instructions devant être exécutées par le processeur 504. Le système informatique 500 peut de même comprendre une mémoire morte ("ROM") ou un autre dispositif de stockage statique couplé au bus 502 pour stocker des informations statiques et des instructions destinées au processeur 504.

Le système informatique 500 peut également comprendre un mécanisme de stockage d'informations 510 qui peut par exemple comprendre un lecteur de support 512 et une interface de stockage amovible 520. Le lecteur de support 512 peut comprendre un lecteur ou un autre mécanisme permettant de prendre en charge des supports de stockage fixes ou amovibles, tels qu'un lecteur de disque dur, un lecteur de disquette souple, un lecteur de bande magnétique, un lecteur de disque optique, un lecteur de CD ou de DVD (R ou RW), ou un autre lecteur de support amovible ou fixe. Les supports de stockage 518 peuvent par exemple comprendre un disque dur, une disquette souple, une bande magnétique, un disque optique, un CD ou un DVD, ou un autre support fixe ou amovible qui fait l'objet d'une lecture et d'une écriture par le lecteur de support 512. Comme l'illustrent ces exemples, les supports de stockage 518 peuvent comprendre un support de stockage lisible par ordinateur sur lequel sont stockés des logiciels informatiques ou des données particulières.

Dans certaines variantes, le mécanisme de stockage d'informations 510 peut comprendre d'autres moyens semblables permettant de charger des programmes informatiques ou d'autres instructions ou données dans le système informatique 500. Ces moyens peuvent

par exemple comprendre une unité de stockage amovible 522 et une interface 520 telle qu'une cartouche de programme et une interface de cartouche, une mémoire amovible (par exemple une mémoire flash ou un autre module de mémoire amovible) et un emplacement de mémoire, et d'autres unités de stockage amovibles 522 et interfaces 520
5 qui permettent de transférer les logiciels et les données de l'unité de stockage amovible 522 au système informatique 500.

Dans certaines variantes, le système informatique 500 peut également comprendre une interface de communication 524. L'interface de communication 524 peut être utilisée pour
10 permettre le transfert de logiciels et de données entre le système informatique 500 et des dispositifs externes. Des exemples non limitatifs de l'interface de communication 524 comprennent un modem, une interface réseau (telle qu'une carte Ethernet ou une autre carte NIC), un port de communication (comme par exemple un port USB), un emplacement et une carte PCMCIA, une interface PCI, etc. Les logiciels et les données
15 transférées par l'intermédiaire de l'interface de communication 524 sont sous la forme de signaux qui peuvent être électroniques, électromagnétiques, optiques, ou d'autres signaux pouvant être reçus par l'interface de communication 524. Ces signaux sont fournis à l'interface de communication 524 par l'intermédiaire d'un canal 528. Ce canal 528 peut transporter des signaux (par exemple des signaux allant vers et provenant de capteurs ou
20 d'unités de commande) et peut être mis en œuvre au moyen d'un support sans fil, d'un fil ou d'un câble, de fibres optiques et d'un autre support de communication. Certains exemples de canal comprennent une ligne téléphonique, une ligne téléphonique cellulaire, une liaison RF, une interface réseau, un réseau local ou étendu, et d'autres canaux de communication.

25 Les termes de "produit à base de programme informatique" et de "support de stockage lisible par ordinateur" peuvent être utilisés de manière générale pour désigner des supports comme par exemple la mémoire 508, le dispositif de stockage 518, ou l'unité de stockage 522. Ces formes de supports de stockage lisibles par ordinateur et d'autres
30 encore peuvent intervenir dans la fourniture d'une ou plusieurs séquence(s) d'une ou plusieurs instruction(s) au processeur 504 pour leur exécution. Ces instructions, généralement désignées sous le nom de "code de programme informatique" (qui peuvent être regroupées pour former des programmes informatiques ou d'autres groupements), lorsqu'elles sont exécutées, permettent au système informatique 500 de mettre en œuvre
35 des caractéristiques et des fonctions de modes de réalisation de l'appareil et des procédés décrits ici.

Dans certaines variantes dans lesquelles les éléments sont mis en œuvre sous forme

logicielle, le logiciel peut être stocké sur un support de stockage lisible par ordinateur et être chargé dans le système informatique 500 en utilisant par exemple le lecteur de stockage amovible 512 ou l'interface de communication 524. La logique de commande (dans cet exemple, il s'agit d'instructions de logiciels ou d'un code de programme informatique), lorsqu'elle est exécutée par le processeur 504, fait en sorte que le processeur 504 mette en œuvre les fonctions de l'appareil et des procédés décrits ici.

Il est à noter que la description présentée ci-dessus portait, pour plus de clarté, sur des modes de réalisation de l'appareil et des procédés décrits ici en référence à différentes unités fonctionnelles et différents processeurs. Il apparaîtra cependant qu'une répartition appropriée de fonctionnalités entre différentes unités fonctionnelles, différents processeurs, ou différents domaines peut être utilisée sans remettre en cause l'appareil et les procédés décrits ici. A titre d'exemple, la fonctionnalité illustrée comme étant mise en œuvre par des processeurs ou des unités de commande séparés peut être réalisée par le même processeur ou la même unité de commande. De ce fait, les références à des unités fonctionnelles spécifiques doivent uniquement être considérées que comme étant des références à des moyens appropriés destinés à fournir la fonctionnalité décrite et non pas comme étant représentatives d'une structure ou d'une organisation logique ou physique stricte.

Bien que des composants et des configurations spécifiques aient été proposés ci-dessus, l'homme du métier normalement compétent notera que d'autres variantes des composants peuvent être utilisées. En outre, bien qu'une caractéristique puisse sembler avoir été décrite en relation avec un mode de réalisation particulier, un homme du métier notera que diverses caractéristiques des modes de réalisation décrits peuvent être combinées. De plus, certains aspects décrits en rapport avec un mode de réalisation peuvent être autonomes.

De plus, bien qu'ils soient énumérés individuellement, une pluralité de moyens, d'éléments ou d'étapes de procédés peuvent par exemple être mis en œuvre sous la forme d'une unité ou d'un processeur unique. De plus, bien que des caractéristiques individuelles puissent être citées dans des revendications différentes, celles-ci peuvent le cas échéant être avantageusement combinées et leur présence dans des revendications différentes n'implique pas qu'une combinaison de caractéristiques ne soit pas réalisable et/ou avantageuse. Par ailleurs, la présence d'une caractéristique dans une catégorie de revendications n'implique pas une limitation à cette catégorie, mais plutôt que la caractéristique peut également s'appliquer à d'autres catégories de revendications, si cela se révèle approprié.

REVENDICATIONS

1. Système de stockage d'énergie thermique, le système comprenant :
- 5 un premier dispositif de stockage d'énergie thermique (315) destiné à stocker de l'énergie thermique ;
un amplificateur de surchauffe (309) comprenant un cycle de resurchauffage ; et
un premier échangeur de chaleur (313) thermiquement couplé au premier dispositif de
stockage d'énergie thermique et à l'amplificateur de surchauffe, le premier échangeur de
10 chaleur étant configuré pour échanger de la chaleur entre un fluide de travail dans
l'amplificateur de surchauffe et un premier fluide de transfert d'énergie dans le premier
dispositif de stockage d'énergie thermique.
2. Système selon la revendication 1, dans lequel le fluide de travail comprend de la
15 vapeur d'eau et dans lequel le premier fluide de transfert d'énergie thermique comprend
un sel fondu.
3. Système selon la revendication 2, dans lequel l'amplificateur de surchauffe est
configuré pour produire de la vapeur d'eau surchauffée.
- 20
4. Système selon la revendication 1, comprenant en outre :
- une turbine à condensation destinée à générer de l'électricité en utilisant le fluide de
travail ; et
une turbine sans condensation destinée à générer de l'électricité en utilisant le fluide de
25 travail, la sortie de la turbine sans condensation étant reliée à l'amplificateur de
surchauffe.
5. Système selon la revendication 4, dans lequel :
- le fluide de travail est à une première pression à l'entrée de la turbine à condensation et
30 de la turbine sans condensation ;
le fluide de travail est à une seconde pression à l'entrée de l'amplificateur de surchauffe ;
et
la seconde pression est inférieure à la première pression.
- 35
6. Système selon la revendication 1, comprenant en outre :
- un deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique (319, 419) destiné à stocker de
l'énergie thermique ; et
un deuxième échangeur de chaleur (317, 417) thermiquement couplé au deuxième

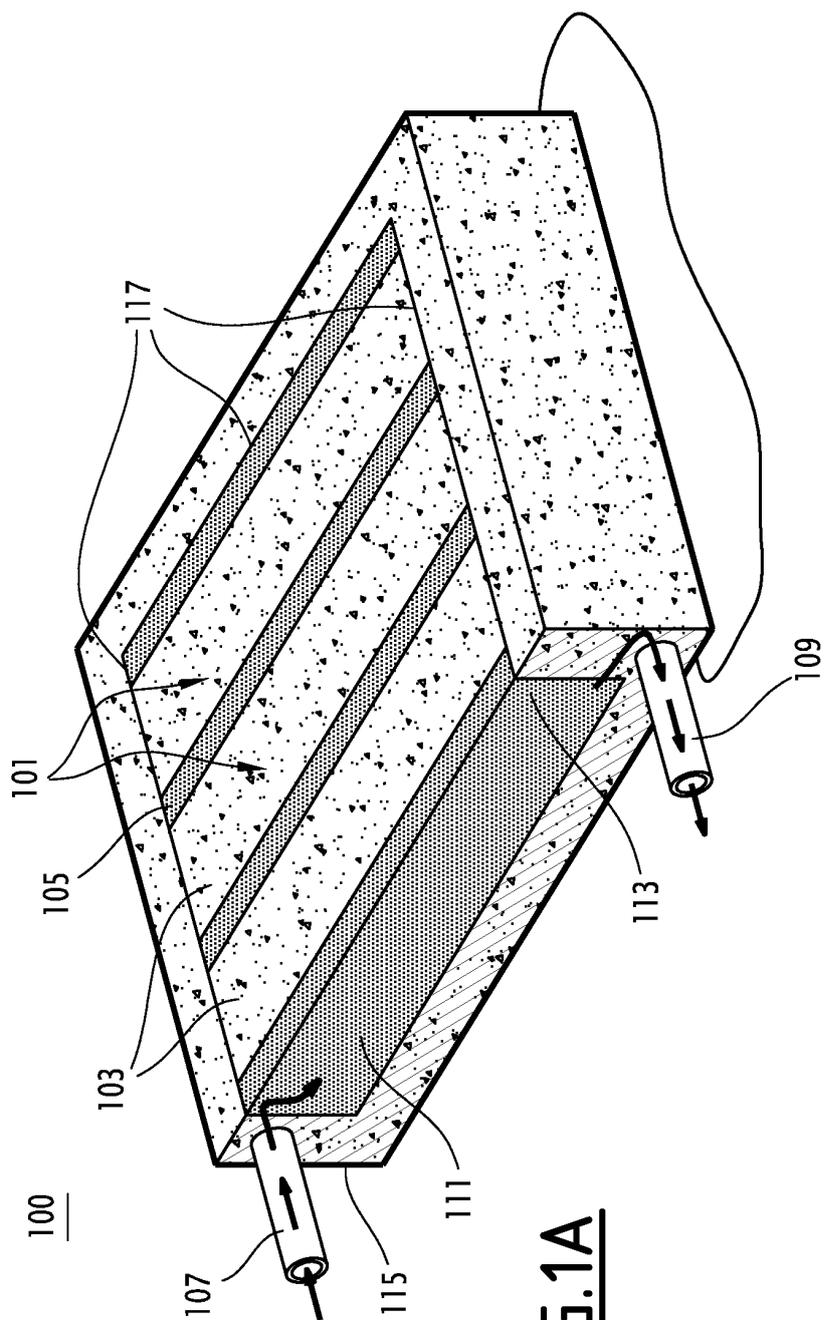
- dispositif de stockage d'énergie thermique, le deuxième échangeur de chaleur étant configuré pour échanger de la chaleur entre le fluide de travail et un deuxième fluide de transfert d'énergie thermique dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique, et le deuxième échangeur de chaleur étant configuré pour échanger le fluide de travail avec le premier échangeur de chaleur.
- 5
7. Système selon la revendication 6, dans lequel, pendant la décharge du système, le deuxième échangeur de chaleur (317, 417) est configuré pour préchauffer le fluide de travail en utilisant l'énergie thermique stockée dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique, et dans lequel le premier échangeur de chaleur est configuré pour surchauffer le fluide de travail préchauffé provenant du deuxième échangeur de chaleur en utilisant l'énergie thermique stockée dans le premier dispositif de stockage d'énergie thermique.
- 10
8. Système selon la revendication 6, dans lequel :
- le fluide de travail comprend de la vapeur d'eau ;
- le premier fluide de transfert d'énergie thermique comprend un sel fondu ; et
- le deuxième fluide de transfert d'énergie thermique comprend une huile.
- 15
9. Système selon la revendication 6, comprenant en outre :
- un troisième dispositif de stockage d'énergie thermique (33) destiné à stocker de l'énergie thermique ;
- un amplificateur de resurchauffage (410) comprenant un cycle de resurchauffage ; et
- un troisième échangeur de chaleur (431) thermiquement couplé au troisième dispositif de stockage d'énergie thermique, à l'amplificateur de resurchauffage et au premier échangeur de chaleur, le troisième échangeur de chaleur étant configuré pour échanger de la chaleur entre le fluide de travail dans l'amplificateur de resurchauffage et un troisième fluide de transfert d'énergie thermique dans le troisième dispositif de stockage d'énergie thermique, et le troisième échangeur de chaleur étant configuré pour échanger le fluide de travail avec le premier échangeur de chaleur.
- 20
- 25
- 30
10. Système selon la revendication 9, dans lequel, pendant la décharge du système :
- le deuxième échangeur de chaleur (417) est configuré pour préchauffer le fluide de travail en utilisant l'énergie thermique stockée dans le deuxième dispositif de stockage d'énergie thermique ;
- 35
- le premier échangeur de chaleur est configuré pour chauffer davantage le fluide de travail préchauffé provenant du deuxième échangeur de chaleur en utilisant l'énergie thermique stockée dans le premier dispositif de stockage d'énergie thermique ; et

le troisième échangeur de chaleur est configuré pour chauffer de façon supplémentaire le fluide de travail chauffé provenant du premier échangeur de chaleur en utilisant l'énergie thermique stockée dans le troisième dispositif de stockage d'énergie thermique.

- 5 11. Système de stockage d'énergie thermique selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un ou chaque dispositif de stockage d'énergie thermique comprend :
- un réservoir (115) ayant au moins une entrée (107) destinée à introduire un fluide de transfert d'énergie thermique dans le réservoir et au moins une sortie (109) destinée à
10 extraire le fluide de transfert d'énergie thermique du réservoir ;
un milieu de stockage d'énergie thermique disposé à l'intérieur du réservoir ; et
une pluralité de canaux formés entre des parties du milieu de stockage d'énergie thermique, la pluralité de canaux (105) étant configurés pour transporter le fluide de transfert d'énergie thermique de l'entrée (107) vers la sortie (109), et le milieu de stockage
15 d'énergie thermique et la pluralité de canaux (105) étant configurés pour produire un gradient de température entre l'entrée (107) et la sortie (109).
12. Système de stockage d'énergie thermique selon la revendication 11, dans lequel le dispositif d'énergie thermique est configuré pour générer une température suffisante pour
20 la production de vapeur d'eau surchauffée lors de la décharge du dispositif.
13. Dispositif de stockage d'énergie thermique selon la revendication 11, dans lequel le milieu de stockage d'énergie thermique comprend une pluralité de blocs de béton et dans lequel chacun de la pluralité de canaux (105) est formée entre des paires de la
25 pluralité de blocs de béton.
14. Système de stockage d'énergie thermique selon la revendication 13, dans lequel chacun de la pluralité de blocs de béton est blindé par un métal.
- 30 15. Système de stockage d'énergie thermique selon la revendication 11, dans lequel le fluide de transfert d'énergie thermique comprend un sel fondu.
16. Système de stockage d'énergie thermique selon la revendication 11, dans lequel le fluide de transfert d'énergie thermique comprend une huile.
35
17. Système de stockage d'énergie thermique selon la revendication 11, dans lequel le support de stockage d'énergie thermique comprend une pluralité de nodules de minerai de fer.

18. Système de stockage d'énergie thermique selon la revendication 11, comprenant en outre une pompe configurée pour faire circuler le fluide de transfert d'énergie thermique à l'intérieur du réservoir (115).

1/6

**FIG. 1A**

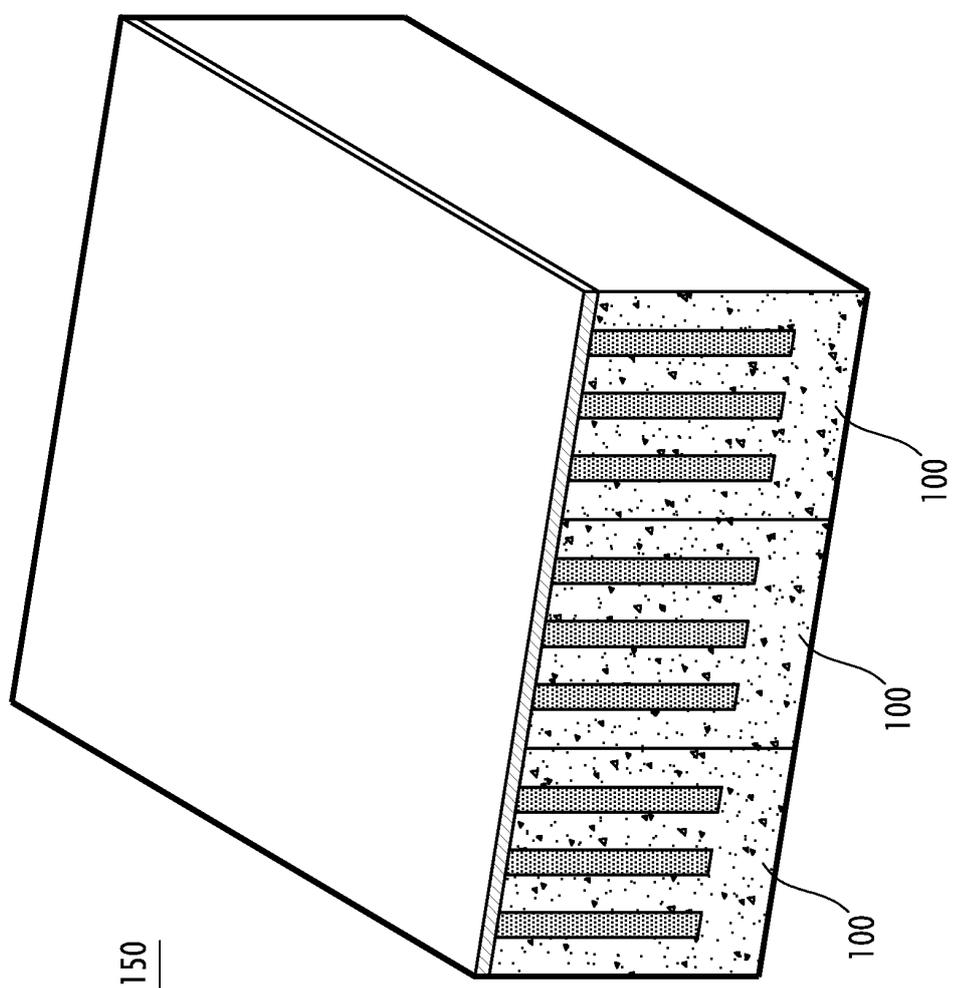


FIG. 1B

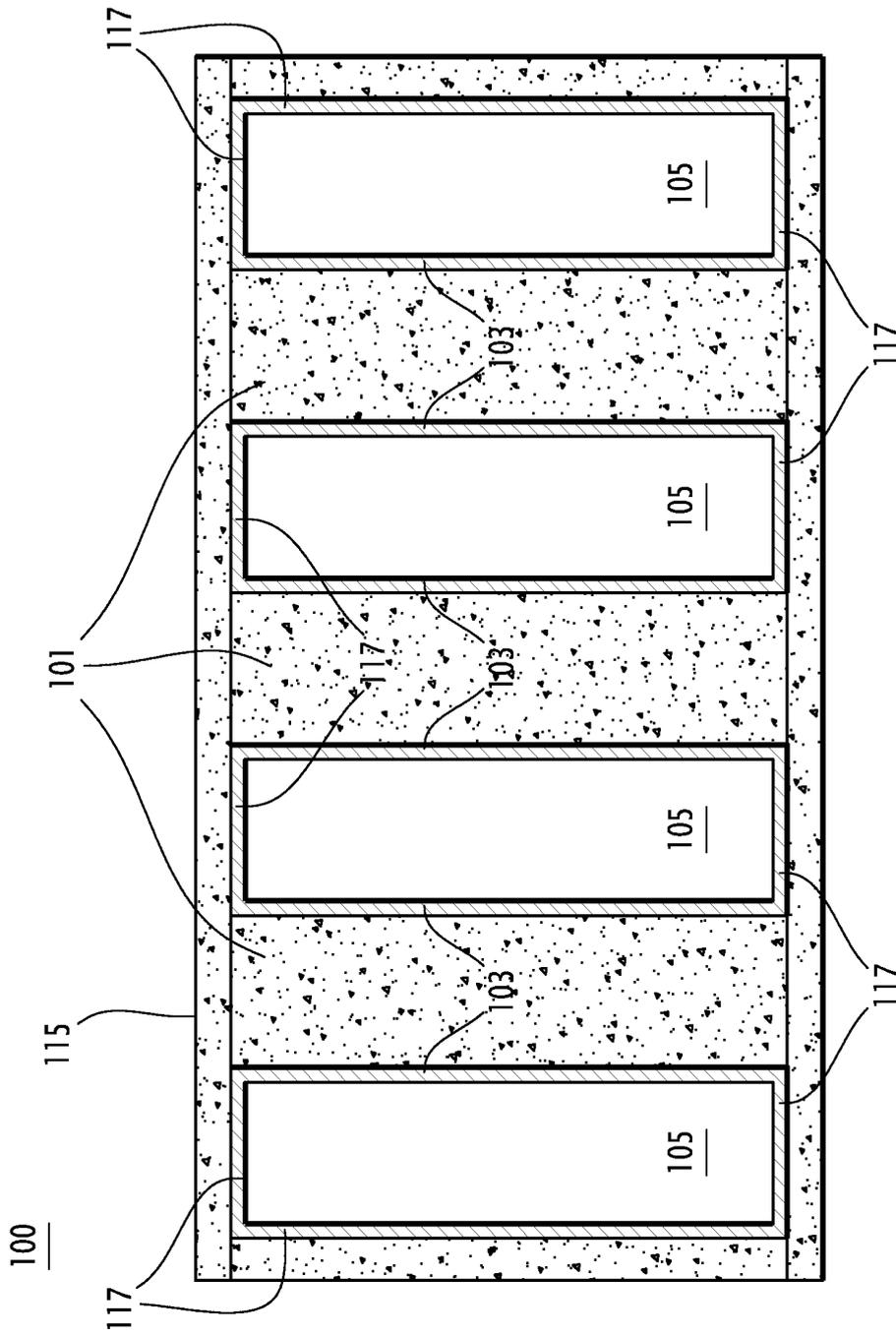


FIG. 2

4/6

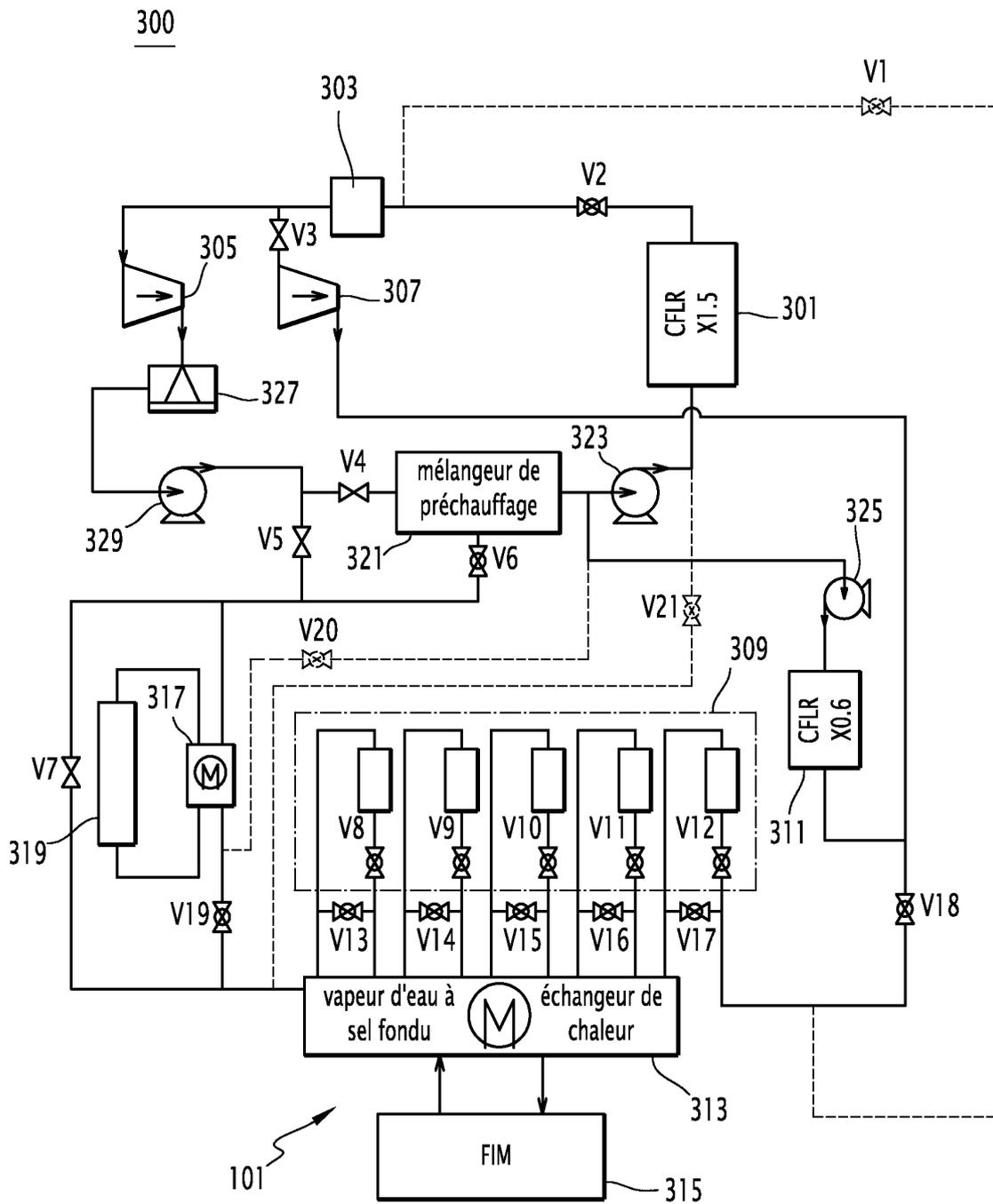
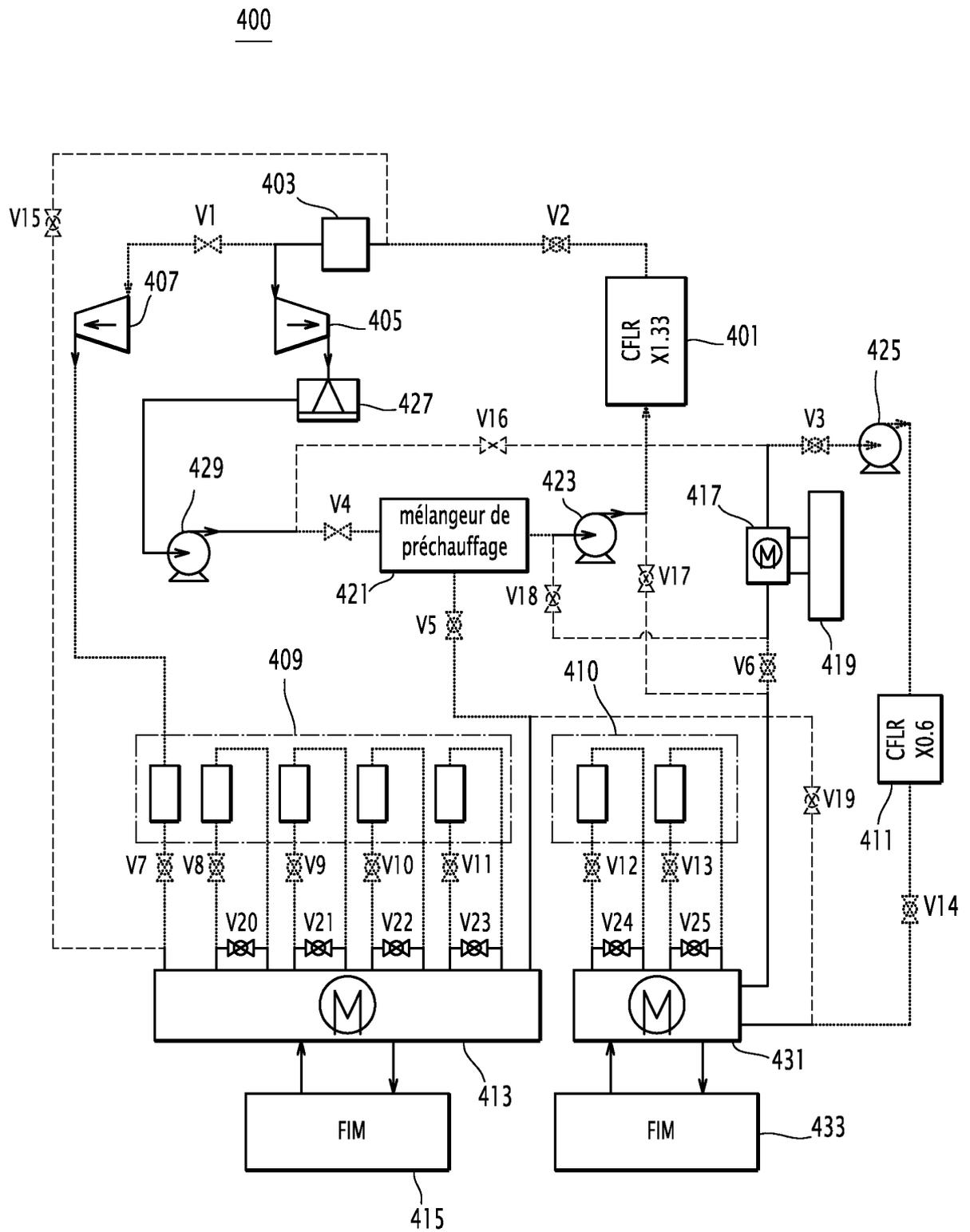
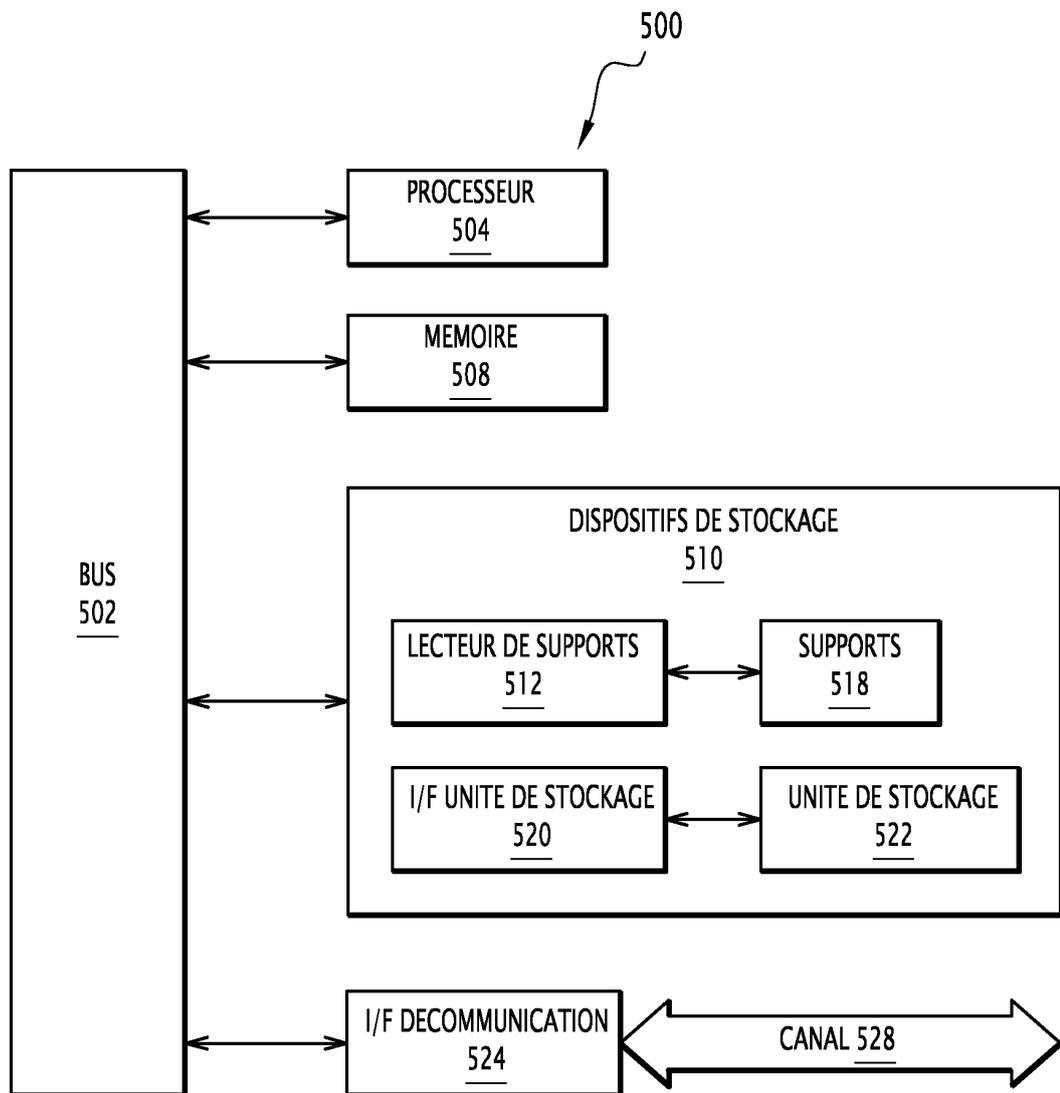


FIG.3

5/6

**FIG.4**

6/6

FIG.5



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 743010
FR 1057771

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	CN 101 539 123 A (INST ENG THERMOPHYSICS CAS) 23 septembre 2009 (2009-09-23)	1-3,6-10	F28D20/00 F01K7/16
Y	* revendications 1,2,4,5,7; figures 1-3; tableaux 1,2 *	9-18	F24J2/34
X	----- EP 1 820 965 A1 (SIEMENS AG [DE]) 22 août 2007 (2007-08-22)	1,4	
Y	* figure 4 *	5,11-14, 16	
Y	----- GB 2 431 968 A (PARSONS BRINCKERHOFF LTD [GB]) 9 mai 2007 (2007-05-09)	5	
Y	* figure 2 *		
Y	----- NL 7 514 655 A (EXXON RESEARCH ENGINEERING CO) 18 juin 1976 (1976-06-18)	9,10	
Y	* figure 4 *		
Y	----- WO 92/14054 A1 (SOERENSEN ANNA MARGRETHE [DK]; SOERENSEN JENS RICHARD [DK]) 20 août 1992 (1992-08-20)	9,10	
Y	* figures 1,10 *		
Y	----- DE 10 2009 036550 A1 (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT [DE]; ZUEBLIN AG [DE]) 6 mai 2010 (2010-05-06)	11-18	F01K F24J F28D F03G F02C F03D
Y	* figures 1-22 *		
Y	----- DE 718 229 C (ALESSANDRU BELDIMANO; ETTORE MANZOLINI) 6 mars 1942 (1942-03-06)	11,15, 17,18	
Y	* figures 1,2 *		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F01K F24J F28D F03G F02C F03D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
11 mai 2011		Lepers, Joachim	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

4
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1057771 FA 743010**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **11-05-2011**

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

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 101539123	A	23-09-2009	AUCUN	

EP 1820965	A1	22-08-2007	CN 101384819 A	11-03-2009
			EP 1984623 A1	29-10-2008
			WO 2007093464 A1	23-08-2007

GB 2431968	A	09-05-2007	EP 1945914 A2	23-07-2008
			WO 2007052070 A2	10-05-2007
			JP 2009515092 T	09-04-2009
			US 2009025387 A1	29-01-2009

NL 7514655	A	18-06-1976	BR 7508306 A	24-08-1976
			DE 2555897 A1	01-07-1976
			FR 2295537 A1	16-07-1976
			GB 1524236 A	06-09-1978
			JP 51085060 A	26-07-1976
			SE 7514152 A	17-06-1976

WO 9214054	A1	20-08-1992	AT 119972 T	15-04-1995
			AU 657733 B2	23-03-1995
			CA 2101628 A1	13-08-1992
			DE 69201723 D1	20-04-1995
			DE 69201723 T2	19-10-1995
			DK 0571486 T3	29-05-1995
			EP 0571486 A1	01-12-1993
			US 5436508 A	25-07-1995

DE 102009036550	A1	06-05-2010	AUCUN	

DE 718229	C	06-03-1942	AUCUN	
