

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11) N° de publication : **2 893 123**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : **05 53427**

51) Int Cl⁸ : F 28 D 20/00 (2006.01), F 28 F 27/00, F 24 D 11/00,
F 24 F 11/00

12) **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

22) Date de dépôt : 10.11.05.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la
demande : 11.05.07 Bulletin 07/19.

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) : *VENTILONE Société à responsabilité
limitée — FR.*

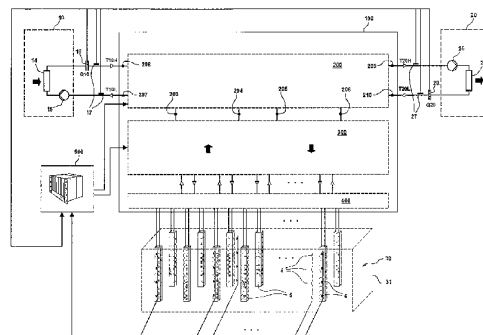
72) Inventeur(s) : SEGUIN BRUNO et REISS CHRISTO-
PHE.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET HARLE ET PHELIP.

54) **PROCEDE DE CONTROLE DU STOCKAGE D'ENERGIE THERMIQUE DANS LE SOL ET DISPOSITIF ASSOCIE.**

57) Procédé de contrôle d'une unité de stockage d'énergie thermique dans le sol comportant une pluralité d'échangeurs de chaleur enterrés dans le sol, chacun desdits échangeurs permettant un échange d'énergie calorifique entre un fluide caloporteur le traversant et le sol, ladite unité de stockage d'énergie étant disposée à l'interface entre une source et un consommateur d'énergie calorifique pour stocker de l'énergie thermique, caractérisé en ce que l'on mesure la température en différents points du sol au moyen de capteurs de température enterrés, les températures et débit d'un fluide caloporteur en entrée et en sortie de la source pour déterminer la puissance thermique fournie par la source, et les températures et débit d'un fluide caloporteur en entrée et en sortie du consommateur pour déterminer la puissance thermique à fournir au consommateur, et en ce que l'on optimise le stockage d'énergie thermique dans ladite unité de stockage en sélectionnant des échangeurs actifs parmi ladite pluralité d'échangeurs en fonction des mesures de température, des mesures de débit et des mesures de puissance thermique.



FR 2 893 123 - A1



L'invention a pour domaine le stockage d'énergie calorifique dans le sol. Plus particulièrement, l'invention a pour domaine celui du stockage d'énergie thermique pour découpler une source de chaleur et/ou un consommateur de froid, d'une part, d'un consommateur de chaleur et/ou une source froide, d'autre part.

5 Dans les systèmes énergétiques utilisant l'énergie thermique sous forme de chaleur, tels que les systèmes de chauffage de bâtiments ou les procédés de chauffage industriels, ou sous forme de froid, tels que la climatisation de bâtiments ou la réfrigération industrielle, la production d'énergie thermique est généralement synchronisée avec sa consommation.

10 A cause principalement du coût croissant de l'énergie, l'efficacité de ce genre de système synchronisé est un aspect essentiel, qui ne peut être amélioré qu'à travers l'optimisation du système de production (amélioration du rendement) ou du système de consommation (minimisation de l'énergie consommée).

15 Une autre voie pour améliorer les systèmes énergétiques sur le plan économique consiste à découpler production et consommation à l'aide de systèmes de stockage d'énergie thermique. Ce découplage permet alors de produire l'énergie nécessaire non plus seulement aux périodes de consommation, mais à des périodes où l'énergie est disponible à faible coût.

20 Avantageusement, la généralisation de tels systèmes de stockage calorifique permettrait également la récupération et l'exploitation d'une part importante de l'énergie thermique industrielle, aujourd'hui massivement inutilisée en raison principalement du décalage de sa production avec les périodes de consommation.

25 Enfin, les systèmes de stockage d'énergie thermique sont très bien adaptés à l'exploitation des énergies renouvelables, qui sont bien souvent caractérisées par leur intermittence, et dont la disponibilité ne coïncide pas toujours avec la consommation, notamment dans le cas de l'énergie solaire thermique.

30 Il est connu des dispositifs de stockage d'énergie calorifique utilisant la chaleur sensible d'un matériau de stockage, c'est-à-dire l'énergie qu'emmagasine ce matériau lorsqu'il subit une variation de température, sans changement de phase et sans changement de composition chimique, et dans lesquels le matériau de stockage utilisé n'est autre que le sol. Dans ce qui suit, le terme de sol doit être compris au sens large et couvrir aussi bien un sol naturel tel qu'un volume de
35 terre, une strate de roche, un sol aménagé tel que le sous-sol d'un édifice ou le

sous-sol d'une aire de stationnement, les fondations d'un bâtiment, ou l'équivalent. Eventuellement, le sol n'est pas homogène et comporte différentes structures et matériaux ayant des propriétés thermodynamiques variées. Les échanges d'énergie entre le matériau de stockage d'une part, et les sources et consommateurs d'énergie d'autre part, sont assurés par la circulation d'au moins un fluide caloporteur à l'intérieur de canalisations.

Un paramètre important à prendre en compte pour décrire ces dispositifs est l'échelle de temps sur laquelle est effectuée l'accumulation puis l'utilisation de l'énergie calorifique stockée. Par exemple, un dispositif de chauffage urbain pour le chauffage d'un quartier d'habitation doit présenter un cycle de fonctionnement saisonnier :

en été, on accumule l'énergie calorifique chaude produite par une source de chaleur comme un capteur solaire, ou par un consommateur de froid comme un dispositif d'air conditionné ;

en hiver, on libère cette énergie calorifique pour chauffer les habitations en tant que consommateur de chaleur.

Ce type de dispositifs de stockage fonctionnant avec une échelle de temps importante, de l'ordre de quelques mois à une année, présente une problématique spécifique.

L'un des principaux problèmes limitant l'efficacité du stockage d'énergie calorifique réside en des pertes de chaleur importantes. Ces pertes, essentiellement du type diffusif, sont dues à la conduction thermique entre une zone de stockage d'énergie ayant une température moyenne T et ce que l'on pourrait appeler une zone extérieure restée à une température T_0 . Ceci est d'autant plus marqué que, par exemple dans le cas du stockage d'énergie dans le sol, le matériau de stockage peut ne pas être physiquement délimité : le matériau de stockage peut être un milieu continu. Il n'y a donc pas de délimitation matérielle entre la zone de stockage et la zone extérieure. Ce mode de réalisation est particulièrement avantageux puisqu'il permet d'éviter l'excavation d'un volume de terre important, étape nécessaire lorsque l'on souhaite délimiter une zone de stockage par exemple sous la forme d'un bloc de béton enterré dans le sol, ou plus simplement d'un coffrage.

Un aspect important à prendre en compte lors de la planification d'un tel système de stockage thermique, est la présence sur le site d'éventuels flux hydrogéologiques souterrains. Ces déplacements d'eau ou d'humidité en sous-sol

ont pour effet de déplacer la chaleur emmagasinée vers l'extérieur de la zone de stockage, provoquant ainsi des pertes d'énergie thermique conséquentes. Ces flux transversaux réduisent ainsi l'efficacité de l'unité de stockage, quand ils n'empêchent pas tout simplement sa réalisation.

5 Par ailleurs, le volume de matériau de stockage nécessaire pour une application donnée est un paramètre important affectant le coût de l'installation. Ce volume dépend directement de la différence entre la température moyenne de la zone de stockage à la fin du cycle de charge, lorsque la zone de stockage est dans son état « chargé », et cette même température à la fin du cycle de
10 décharge, lorsque la zone de stockage est dans son état « déchargé ». Plus cette différence est faible, et plus le volume nécessaire pour stocker une quantité donnée d'énergie est important.

Le dilemme est alors le suivant : augmenter la variation de température de la zone de stockage sur un cycle permet de réduire le volume nécessaire,
15 réduisant ainsi le coût de construction, mais augmente en contrepartie la différence entre la température de cette zone de stockage et la température naturelle du sol, augmentant ainsi les pertes thermiques inversement, faire évoluer la température moyenne de la zone de stockage sur un cycle entre deux
20 niveaux de températures proches l'un de l'autre (et proches de la température naturelle du sol) diminuera les pertes aux limites, mais nécessitera un volume, et donc un coût de construction plus important.

L'invention a donc pour but de résoudre les problèmes mentionnés ci-dessus.

Pour cela l'invention a pour objet un procédé de contrôle d'une unité de
25 stockage d'énergie thermique dans le sol comportant une pluralité d'échangeurs de chaleur enterrés dans le sol, chacun desdits échangeurs permettant un échange d'énergie calorifique entre un fluide caloporteur le traversant et le sol, ladite unité de stockage d'énergie étant disposée à l'interface entre une source et un consommateur d'énergie calorifique pour stocker de l'énergie thermique,
30 caractérisé en ce que l'on mesure la température en différents points du sol au moyen de capteurs de température enterrés, les températures et débit d'un fluide caloporteur en entrée et en sortie de la source pour déterminer la puissance thermique fournie par la source, et les températures et débit d'un fluide caloporteur en entrée et en sortie du consommateur pour déterminer la puissance
35 thermique à fournir au consommateur, et en ce que l'on optimise le stockage

d'énergie thermique dans ladite unité de stockage en sélectionnant des échangeurs actifs parmi ladite pluralité d'échangeurs en fonction des mesures de température, des mesures de débit et des mesures de puissance thermique.

5 La source d'énergie calorifique est définie comme un ou plusieurs éléments fournissant de la chaleur au système par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur. Le consommateur d'énergie calorifique est défini comme un ou plusieurs éléments absorbant de la chaleur au système par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur.

10 De préférence, le procédé comporte les étapes consistant à déterminer préalablement une carte optimale des températures dans le sol ; déterminer une carte instantanée des températures dans le sol au moyen desdites mesures de température effectuées en différents points du sol ; sélectionner des échangeurs actifs parmi ledit ensemble d'échangeurs en fonction des écarts locaux de température entre ladite carte instantanée et ladite carte optimale, des
15 températures et débit du fluide caloporteur en entrée et sortie de la source, et des températures et débit du fluide caloporteur en entrée et sortie du consommateur.

Ainsi, l'on peut faire converger l'état de la zone de stockage dans l'état courant vers l'état optimal en tenant compte des contraintes liées à l'apport de la source et les besoins du consommateur. Les différentes étapes peuvent être
20 réitérées dans le temps autant de fois que nécessaire afin de réaliser une succession chronologique d'états optimaux de la zone de stockage tendant à maximiser le rendement énergétique du procédé selon l'invention, tout en satisfaisant aux contraintes induites par la versatilité et l'asynchronisme de la source et du consommateur.

25 De préférence, un échangeur est activé en extraction pour extraire localement de l'énergie calorifique du sol ou en injection pour injecter localement de l'énergie calorifique dans le sol.

De préférence encore, l'on active un échangeur en sélectionnant le sens d'écoulement et le débit dudit fluide caloporteur le traversant.

30 Selon un mode de fonctionnement, lorsque la puissance thermique fournie par la source est adaptée à la puissance thermique utilisée par le consommateur, aucun des échangeurs n'est activé et l'on fait circuler le fluide caloporteur entre une boucle comportant la source et une boucle comportant le consommateur.

35 Dans un autre mode de fonctionnement, lorsque la puissance thermique fournie par la source n'est pas utilisable par le consommateur, l'on fait circuler le

fluide caloporteur entre une boucle comportant la source et une boucle comportant des échangeurs activés en injection, et l'on fait simultanément circuler le fluide caloporteur entre une boucle comportant le consommateur et une boucle comportant des échangeurs activés en extraction.

5 Selon un mode de fonctionnement, l'on déplace de la chaleur à l'intérieur de l'unité de stockage par circulation du fluide caloporteur entre une boucle comportant au moins un échangeur activé en extraction et une boucle comportant au moins un échangeur activé en injection.

10 Selon un mode de fonctionnement, lorsque la puissance thermique fournie par la source est supérieure à la puissance thermique utilisée par le consommateur, l'on fait circuler le fluide caloporteur d'une part dans une boucle comportant la source et d'autre part dans une boucle comportant le consommateur et une boucle comportant des échangeurs activés en injection.

15 Selon un mode de fonctionnement, la puissance thermique utilisée par le consommateur étant nulle, la puissance thermique fournie par la source est totalement injectée dans l'unité de stockage.

20 Selon un mode de fonctionnement, la puissance thermique fournie par la source étant inférieure à la puissance thermique utilisée par le consommateur, l'on fait circuler le fluide caloporteur d'une part dans une boucle comportant le consommateur et d'autre part dans une boucle comportant la source et une boucle comportant des échangeurs activés en extraction.

Selon encore un autre mode de fonctionnement, lorsque la puissance thermique fournie par la source est nulle, la puissance thermique utilisée par le consommateur est intégralement extraite de l'unité de stockage.

25 L'invention a également pour objet un système hydronique de contrôle d'une unité de stockage d'énergie thermique dans le sol comportant une pluralité d'échangeurs de chaleur enterrés dans le sol, chacun desdits échangeurs permettant un échange d'énergie calorifique entre un fluide caloporteur le traversant et le sol, ledit système hydronique étant destiné à être disposé entre
30 une source d'énergie calorifique, un consommateur d'énergie thermique et ladite unité de stockage, caractérisé en ce qu'il comporte : une pluralité de capteurs de température enterrés dans le sol ; des capteurs de température et de débit pour mesurer la puissance thermique fournie par la source et la puissance thermique
35 lesdits échangeurs en une pluralité d'unités d'échange élémentaires, une unité

d'échange comportant au moins un échangeur ; et, des moyens d'activation pour activer sélectivement lesdites unités d'échange élémentaires.

De préférence, un échangeur comportant une extrémité chaude et une extrémité froide, les moyens de regroupement permettent de former des groupes
5 d'échangeurs en tant qu'unité d'échange, les différentes extrémités chaudes desdits échangeurs d'un même groupe étant connectées à un collecteur chaud et les extrémités froides de ces mêmes échangeurs étant connectées à un collecteur froid, les différents échangeurs dudit groupe étant en parallèle les uns des autres.

De préférence encore, lesdits moyens de regroupement permettent de
10 former des séries d'échangeurs en tant qu'unité d'échange, une série d'échangeurs comportant un nombre de groupes d'échangeurs, le collecteur froid d'un desdits groupes d'une série étant connecté au collecteur chaud du groupe suivant de ladite série, de sorte que lesdits groupes d'une même série d'échangeurs sont disposés en série entre un groupe initial et un groupe final.

15 Dans un mode de réalisation, lesdits moyens de regroupement comportent des premier et deuxième commutateurs, chaque commutateur ayant une canalisation principale et des canalisations secondaires, le collecteur chaud d'un groupe d'échangeurs étant connecté au premier commutateur via une canalisation secondaire de celui-ci munie d'une vanne d'arrêt, et le collecteur
20 froid du groupe d'échangeur étant connecté au deuxième commutateur via une canalisation secondaire de celui-ci munie d'une vanne d'arrêt, de sorte que les moyens de regroupement permettent de sélectionner arbitrairement, à un instant donné et en fonction de la position des vannes des premier et deuxième commutateurs, un premier groupe d'échangeurs et un dernier groupe
25 d'échangeur, pour former entre ces derniers une branche d'échangeurs utilisée en tant qu'unité d'échange.

De préférence, les moyens d'activation comportent des moyens d'activation en injection aptes à former une boucle hydraulique d'injection comportant au moins une unité d'échange pour l'injection d'énergie, et des moyens d'activation
30 en extraction aptes à former une boucle hydraulique d'extraction comportant au moins une unité d'échange pour l'extraction d'énergie.

De préférence encore, lesdits moyens d'activation en injection comportent un branchement d'injection d'entrée et un branchement d'injection de sortie, chaque unité d'échange étant connectées par son extrémité chaude audit
35 branchement d'injection d'entrée et par son extrémité froide audit branchement

d'injection de sortie pour former une liaison entre les branchements d'injection d'entrée et de sortie, les différentes unités d'échange étant alors en parallèle les unes des autres entre lesdits branchements d'injection d'entrée et de sortie, chaque liaison ainsi définie étant munie de moyens de régulation de débit en injection, de sorte que le débit circulant dans ladite liaison considérée puisse être arbitrairement fixé lors d'une injection.

5 Dans le mode de réalisation actuellement préféré, les moyens d'activation en extraction comportent un branchement d'extraction d'entrée et un branchement d'extraction de sortie, les unités d'échange étant respectivement connectées par leur extrémité froide audit branchement d'extraction d'entrée et par leur extrémité chaude audit branchement d'extraction de sortie, pour former une liaison entre les branchements d'extraction d'entrée et de sortie, les différentes unités d'échange étant alors en parallèle les unes des autres entre lesdits branchements d'extraction d'entrée et de sortie, chaque liaison ainsi définie étant munie de moyens de régulation de débit en extraction, de sorte que le débit circulant dans ladite liaison considérée puisse être arbitrairement fixé lors d'une extraction.

10 Il est à noter que le moyen de régulation peut appliquer un débit nul à l'unité d'échange, permettant ainsi l'exclusion arbitraire de l'unité d'échange lors de l'injection ou de l'extraction.

20 De préférence encore, un capteur de pression différentielle est connecté entre lesdits branchements d'entrée et de sortie, la canalisation d'alimentation du branchement d'entrée comporte une pompe régulée en pression différentielle selon la mesure effectuée par ledit capteur, de sorte que le débit dans n'importe laquelle des liaisons en parallèle entre les branchements d'entrée et de sortie peut être régulé individuellement.

25 De préférence, le système est muni de moyens de pompage comportant des pompes aptes à faire circuler le fluide caloporteur dans une boucle comportant la source d'énergie et/ou dans une boucle comportant le consommateur d'énergie.

30 De préférence encore, le système est muni de moyens de pompage comportant des pompes aptes à faire circuler le fluide caloporteur dans une boucle d'injection comportant au moins une unité d'échange fonctionnant en injection d'énergie et dans une boucle d'extraction comportant au moins une unité d'échange fonctionnant en extraction d'énergie, et des moyens de connexion permettant au moins une connexion parmi la connexion de la boucle de

35

circulation dans la source avec la boucle d'injection ; la connexion de la boucle de circulation dans le consommateur avec la boucle d'extraction ; la connexion de la boucle de circulation dans la source avec la boucle d'injection, et simultanément, la connexion de la boucle de circulation dans le consommateur avec la boucle d'extraction ; la connexion de la boucle d'extraction avec la boucle d'injection ; la connexion de la boucle de circulation dans la source avec la boucle de circulation dans le consommateur ; la connexion de la boucle d'extraction avec la boucle d'injection, et simultanément, la connexion de la boucle de circulation dans la source avec la boucle de circulation dans le consommateur.

10 De préférence, les moyens de connexion permettent également la connexion de la boucle de circulation dans le consommateur avec la boucle d'extraction et la boucle de circulation dans la source ; et, la connexion de la boucle de circulation dans la source avec la boucle d'injection et la boucle de circulation dans le consommateur.

15 Dans le mode de réalisation envisagé, les moyens de connexion comportent une première bouteille casse-pression, connectée à un vase d'expansion formant le point neutre dudit système hydraulique, ladite première bouteille casse-pression étant connectée à ladite boucle d'extraction d'une part et à ladite boucle de circulation dans le consommateur d'autre part ; une première
20 paire de vannes d'arrêt dont l'état permet de connecter ladite boucle de circulation dans la source chaude à ladite première bouteille casse-pression ; une deuxième paire de vannes d'arrêt dont l'état permet de connecter la boucle d'injection à ladite première bouteille casse-pression.

25 De préférence encore, les moyens de connexion comportent une deuxième bouteille casse-pression connectée audit vase d'expansion formant le point neutre dudit système hydraulique ; une troisième paire de vannes d'arrêt dont l'état permet, en relation avec l'état de ladite première paire de vannes, de connecter ladite boucle de circulation dans la source à ladite deuxième bouteille casse-pression, la boucle en d'extraction étant connectée à ladite première
30 bouteille casse-pression ; une quatrième paire de vannes d'arrêt dont l'état permet, en relation avec l'état de la deuxième paire de vannes, de connecter ladite boucle d'injection à ladite deuxième bouteille casse-pression, la boucle de circulation dans le consommateur étant connectée à ladite première bouteille casse-pression.

Les moyens d'activation, de connexion, et de pompage étant actionnables automatiquement, le système comporte une unité de calcul apte à recevoir des signaux de mesure émis par les différents capteurs et à émettre un signal de commande vers lesdits moyens d'activation, de connexion, et de pompage.

5 Dans le mode de réalisation envisagé, l'unité de calcul exécute les instructions d'un programme stocké dans des moyens de mémorisation de ladite unité de calcul pour mettre en œuvre le précédé selon l'invention.

L'invention a également pour objet un système de stockage d'énergie calorifique dans le sol comportant un système hydronique selon l'invention et une
10 unité de stockage d'énergie.

De préférence, la pluralité d'échangeurs de l'unité de stockage d'énergie comporte au moins dix échangeurs de chaleur.

Avantageusement, la possibilité de contrôler de manière active, tout au long du cycle de charge/décharge, la distribution de température à l'intérieur de la
15 zone de stockage permet d'optimiser le volume nécessaire de matériau de stockage. En effet, le volume de la zone de stockage nécessaire ne dépend que du niveau de température à deux instants donnés du cycle, alors que les pertes thermiques dépendent de l'intégrale sur tout le cycle du flux de chaleur aux limites de la zone de stockage. En contrôlant continuellement la distribution de
20 température dans la zone de stockage, il est possible de maximiser la différence de température moyenne sur le volume entre l'état final « chargé » et l'état initial « déchargé », tout en conservant une distribution optimale des températures à proximité des limites de cette zone, limitant ainsi le flux de chaleur aux limites, et ce pendant tous les états intermédiaires du cycle.

25 Le phénomène naturel de diffusion thermique est amplifié par la circulation non contrôlée du fluide caloporteur dans l'ensemble de la zone de stockage. Par exemple lors du cycle de charge d'une unité de stockage de chaleur à partir d'une source variable comme peut l'être un capteur solaire, la circulation d'un fluide « tiède » possédant une température T_f à travers successivement une zone
30 « chaude », possédant une température supérieure à T_f , puis une zone « froide », possédant une température inférieure à T_f , va tendre à homogénéiser la température des deux zones, accélérant ainsi le phénomène naturel de diffusion thermique à l'intérieur de la zone de stockage. Le système selon l'invention est capable de restreindre la circulation de fluide aux seules zones physiques en
35 adéquation avec le mode de fonctionnement recherché, notamment avec les

valeurs requises de température du fluide entrant et sortant de la zone de stockage.

Avantageusement, les sources et les consommateurs étant hétérogènes, lorsqu'à un instant donné la source produit une énergie thermique inexploitable par le consommateur, notamment à cause d'une température du fluide caloporteur inadéquate, alors que dans l'art antérieur elle n'était pas directement stockée dans le système diffusif mais dans un dispositif supplémentaire de stockage du fluide calorifique lui-même, cette énergie est maintenant directement stockée pour une utilisation ultérieure. En effet, le système selon l'invention est capable d'injecter cette l'énergie produite par la source dans l'unité de stockage, tout en soutirant simultanément de l'énergie de cette même unité de stockage pour alimenter le consommateur. Les niveaux de température du fluide correspondants à l'énergie injectée et à l'énergie soutirée étant différents, le système sélectionne, en fonction de la distribution de température dans la zone de stockage, les régions adéquates pour l'injection et les régions adéquates pour le soutirage.

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts, détails, caractéristiques et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement au cours de la description donnée uniquement à titre illustratif et non limitatif en référence aux dessins annexés.

La figure 1 représente, de manière schématique, un échangeur de chaleur d'une unité de stockage d'énergie ;

La figure 2 est une vue schématique générale du système hydronique selon l'invention à l'interface entre une source, un consommateur et une unité de stockage d'énergie ;

La figure 3 représente de manière schématique un mode de réalisation particulier de la partie sous-système de pompage du système hydronique de la figure 2 ;

La figure 4A représente schématiquement le sous-système de pompage fonctionnant en mode de recyclage d'énergie ;

La figure 4B représente schématiquement le sous-système de pompage fonctionnant en mode d'injection et d'extraction simultanées ;

La figure 4C représente schématiquement le sous-système de pompage fonctionnant en mode d'extraction partielle d'énergie ;

La figure 4D représente schématiquement le sous-système de pompage fonctionnant en mode d'injection partielle d'énergie ;

La figure 5 représente, de manière schématique, le sous système de contrôle de flux et le sous-système de raccordement du système hydronique selon l'invention ;

La figure 6A représente le sous système de contrôle de flux en mode
5 d'injection d'énergie ;

La figure 6B représente le sous-système de contrôle de flux en mode d'extraction d'énergie ;

La figure 7 est une représentation schématique d'une variante de réalisation du sous-système de raccordement du système hydronique selon
10 l'invention ; et,

Les figures 8A, B, C et D présentent des cartes optimales successives pour une zone de stockage de chaleur.

De manière générale, un système physique étant délimité par une surface fermée, l'énergie calorifique sera comptée positivement lorsqu'elle correspond à
15 un flux de chaleur entrant dans le système et sera comptée négativement lorsqu'elle correspond à un flux de chaleur sortant du système.

Sur la figure 1, on a représenté schématiquement un exemple simple d'un échangeur de chaleur 5 enterré verticalement dans le sol 2. Selon cet exemple, il s'agit d'un tuyau 51 en forme de U ayant une extrémité « chaude » 53 et une
20 extrémité « froide » 54. Le tuyau 51 est inséré dans une gaine 55 facilitant les échanges de chaleur entre le sol 2 et le fluide caloporteur circulant dans le tuyau 51. L'échangeur 5 est placé dans un puits foré dans le sol pouvant avoir plusieurs dizaines de mètres de profondeur (typiquement 50 m) et le matériau constituant la gaine 55 est coulé en tant que matériau de remplissage. Le fluide caloporteur est
25 apte à circuler dans le tuyau 51 avec un débit ajustable, dans un sens ou dans un autre, i.e. de l'extrémité froide 54 vers l'extrémité chaude 53 (comme indiqué par les flèches 56 sur la figure 1), ou, réciproquement, de l'extrémité chaude vers l'extrémité froide.

Dans un mode de fonctionnement permettant l'extraction de la chaleur du
30 matériau de stockage, l'échangeur 5 est activé de sorte que le fluide caloporteur à température T_{5L} soit injecté au niveau de l'extrémité froide 54. T_{5L} est choisie de manière à être inférieure à la température du sol T_2 au voisinage de l'échangeur. Il y a alors un transfert de chaleur depuis le sol vers le fluide et ceci tout le long du tuyau 51. C'est ce qui a été représenté par les flèches noires 57 sur la figure
35 1. Le fluide caloporteur sort au niveau de l'extrémité chaude 53 avec une

température T5H supérieure à la température T5L, mais inférieure ou égale à la température T2.

5 Dans un mode de fonctionnement inverse, consistant à injecter localement de la chaleur dans le sol 2, l'échangeur 5 est activé de manière à ce que le fluide caloporteur, ayant une température T5H supérieure à la température locale du sol T2, soit injecté par l'extrémité chaude 53. Un échange de chaleur se fait alors du fluide caloporteur vers le matériau de stockage et ceci tout le long du tuyau 51. La température du fluide caloporteur au niveau de l'extrémité froide 54 atteint une température T5L inférieure à T5H mais supérieure ou égale à T2.

10 D'une façon plus générale, l'échangeur thermique est défini comme un dispositif constitué d'un nombre arbitraire de tuyaux enfouis dans le sol, chaque tuyau étant défini par une géométrie et un matériau propre, ces tuyaux étant connectés de façon arbitraire mais de telle sorte que le système de tuyauterie ainsi constitué présente deux extrémités, une extrémité « chaude » 53 et une
15 extrémité « froide » 54 (un même forage dans le sol pouvant accueillir plusieurs échangeurs thermiques).

Dans les applications envisagées, une unité de stockage d'énergie est constituée de plus de 10 tels échangeurs de chaleur 5. Les différents échangeurs de l'unité de stockage d'énergie peuvent être disposés à des profondeurs
20 différentes les uns par rapport aux autres.

Le système hydronique 100 selon l'invention a été représenté de manière schématique sur la figure 2. Le système hydronique 100 est à l'interface entre tout type d'unité de stockage d'énergie 30, tout type de source de chaleur ou consommateur de froid 10, définie comme un ou plusieurs éléments fournissant
25 de la chaleur au système par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur, et tout type de source de froid ou consommateur de chaleur 20, défini comme un ou plusieurs éléments absorbant de la chaleur au système par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur. Dans ce qui suit, la source de chaleur ou consommateur de froid 10 est appelée « source chaude » ou simplement « source », le consommateur de
30 chaleur ou source de froid 20 est appelé « source froide » ou simplement « consommateur ».

Le système hydronique 100 permet de découpler la production par la source chaude 10 d'une énergie calorifique, comptée positivement pour le système hydronique 100, de la consommation par une source froide 20 d'énergie
35 calorifique, comptée négativement pour le système hydronique 100, en stockant,

au moyen de l'unité de stockage d'énergie 30, de l'énergie thermique (chaleur ou froid) dans une zone de stockage 31 définie dans le sol. La zone de stockage 31 correspond à la zone chauffée ou refroidie par l'ensemble des échangeurs de chaleur. Il est à noter que, puisque l'on stocke l'énergie dans un milieu continu, la zone de stockage n'est pas physiquement délimitée. On peut essayer de la définir géométriquement en considérant qu'il s'agit d'un volume de terre compris dans une enveloppe située à une longueur caractéristique L des échangeurs de chaleur 5 disposés les plus à l'extérieur du champ d'échangeurs de chaleur. La longueur L peut par exemple être une longueur caractéristique du phénomène de diffusion thermique dans le matériau de stockage.

La zone de stockage peut être une zone de stockage de chaleur, elle est dans ce cas caractérisée par une température moyenne supérieure à la température naturelle du sol. La zone de stockage peut également être une zone de stockage d'énergie thermique froide, appelée cryo-énergie. Elle est alors caractérisée par une température moyenne inférieure à la température naturelle du sol.

En variante, une même zone de stockage peut être utilisée successivement en domaine de stockage de chaleur et en domaine de stockage de cryo-énergie. Dans ce cas, elle est caractérisée par un niveau de température évoluant au cours d'un cycle complet de charge/décharge entre deux valeurs extrêmes, l'une supérieure à la température naturelle du sol, l'autre inférieure à cette même température du sol.

Dans encore une autre variante, la zone de stockage peut être subdivisée en un ou plusieurs domaines de stockage de chaleur juxtaposés à un ou plusieurs domaines de stockage de cryo-énergie, chaque domaine pouvant être défini par sa propre enveloppe.

Le système hydronique 100 contrôle la circulation d'au moins un fluide caloporteur pour réaliser les échanges de chaleur. Du côté de la source chaude 10, un fluide caloporteur, mis en mouvement par la pompe 15 avec un débit Q_{10} , sort du système hydronique 100 au niveau du point 207 (sens de la flèche blanche d'écoulement) à une température basse T_{10L} , reçoit de la chaleur de la part de la source 10 au niveau par exemple d'un échangeur de chaleur 14 (sens de la flèche noire), puis retourne dans le système hydronique 100 au niveau du point 208, à une température haute T_{10H} .

Du côté du consommateur 20, un fluide caloporteur, mis en mouvement par la pompe 25 avec un débit Q_{20} , sort du système hydronique 100 au niveau du point 209, à une température haute T_{20H} , perd de la chaleur en circulant dans le consommateur 20 au niveau par exemple d'un échangeur de chaleur 24 (sens de la flèche noire), puis entre dans le système hydronique 100 au niveau du point 210, à une température basse T_{20L} .

A chaque instant, la source chaude 10 est caractérisée par un débit de fluide Q_{10} mesuré par le capteur de débit 18, et deux niveaux de température « bas » T_{10L} et « haut » T_{10H} mesurés par les capteurs de température 17, et la source froide 20 est caractérisé par un débit de fluide Q_{20} mesuré par le capteur de débit 28, et deux niveaux de température « bas » T_{20L} et « haut » T_{20H} mesurés par les capteurs de température 27.

Le système hydronique 100 selon le mode de réalisation actuellement préféré comporte une partie supérieure dite sous-système de pompage 200, une partie intermédiaire dite sous-système de contrôle de flux 300 et une partie inférieure dite sous-système de raccordement 400. Le système hydronique comporte également un système de contrôle 500.

Le sous-système de pompage 200 permet de contrôler les débits de fluide caloporteur associés aux échanges thermiques au niveau de la source chaude 10, de la source froide 20 et de l'unité de stockage d'énergie 30. Le sous-système de pompage 200 autorise les modes de fonctionnement suivant :

- Injection de l'intégralité de la chaleur produite par la source chaude 10 dans l'unité de stockage 30 ;
- Injection d'une partie de la chaleur produite par la source chaude 10 dans l'unité de stockage 30 et transfert direct de l'autre partie de la chaleur produite par la source chaude 10 au consommateur 20 ;
- Alimentation du consommateur 20 par extraction de l'intégralité de la chaleur à fournir depuis l'unité de stockage 30 ;
- Alimentation du consommateur 20 en partie par transfert direct de la chaleur produite par la source chaude 10 et en partie par extraction de chaleur nécessaire depuis l'unité de stockage 30.
- Injection de chaleur produite par la source chaude 10 dans certaines zones de l'unité de stockage 30 et, simultanément, alimentation du consommateur 20 par extraction de chaleur d'autres zones de cette même unité de stockage 30.

- Déplacement interne de chaleur par extraction de chaleur de certaines zones de l'unité de stockage 30 et réinjection de cette chaleur dans d'autres zones de l'unité de stockage 30.

5 En se référant à la figure 3, le sous-système de pompage 200 comporte deux pompes de circulation 201 et 202 munies respectivement d'un entraînement électrique à vitesse variable, huit vannes d'arrêt commandées en tout ou rien 221, 222, 223, 224, 231, 232, 233 et 234, et deux bouteilles (ou ballons) casse-pression 220 et 230, toutes deux connectées à un même vase d'expansion 240, formant ainsi le point neutre du circuit hydraulique.

10 On notera que dans cette invention, les bouteilles casse-pression ne sont pas nécessairement employées pour leur aptitude à stocker un volume tampon de fluide. Dans le sous-système de pompage 200, les bouteilles casse-pression sont utilisées pour leurs deux propriétés suivantes : d'une part, les bouteilles présentent l'avantage de permettre le transfert d'énergie calorifique entre deux
15 boucles hydrauliques dont les débits peuvent être différents, sans que le fluide ne subisse de variation de température au passage entre les deux boucles, comme cela serait le cas avec l'emploi d'échangeurs thermiques ; et, d'autre part, les bouteilles constituent, entre leurs canalisations d'entrée et de sortie une résistance hydraulique quasi-nulle qui autorise la mise en parallèle, entre ces
20 canalisations, de plusieurs boucles hydrauliques possédant chacune ses propres moyens de pompages.

Sur la partie gauche de la figure 3, le fluide caloporteur est apte à circuler dans une boucle comportant la source chaude 10 et/ou dans une boucle de l'unité de stockage 30 pour l'extraction de l'énergie.

25 Lorsque les vannes d'arrêt 221 et 222 sont en position ouverte, la bouteille 220 est connectée aux points d'entrée 208 et de sortie 207 pour former une boucle de circulation de fluide dans la source chaude 10. Le fluide caloporteur, mis en mouvement grâce à la pompe 15, sort du ballon 220 à une température T10L. Il circule jusqu'au nœud A, puis au nœud B à travers la vanne 222 ouverte,
30 vers le point 207. Le fluide circule ensuite dans la source chaude 10 où il reçoit de la chaleur. Il rentre avec une température T10H dans le sous-système de pompage 200 au niveau de l'entrée 208, puis circule jusqu'au nœud C, puis au nœud D à travers la vanne 221 ouverte, et enfin revient dans le ballon 220.

35 Le fluide caloporteur est également apte à circuler dans une boucle permettant d'extraire de la chaleur accumulée dans le matériau de stockage. La

pompe 201 permettant la mise en circulation du fluide, ce dernier sort de la bouteille 220 à une température T5L-A jusqu'au nœud A, est orienté vers le point de sortie 203 du sous-système de pompage 200. Comme cela sera décrit ci-après en relation avec les figures 5, 6 et 7, entre les points 203 et 204, le fluide est apte à circuler en parallèle à travers une ou plusieurs boucles élémentaires comportant respectivement un échangeur thermique 5 ou un groupe d'échangeurs thermiques Gi ou une série de groupes d'échangeurs thermiques Si, où il reçoit de la chaleur de la part du matériau de stockage. Le fluide entre à nouveau dans le sous-système de pompage 200 au niveau du point d'entrée 204 à une température supérieure T5H-A. Le fluide revient enfin dans le ballon 220 en passant par le nœud du circuit D.

Sur la partie droite de la figure 3, le fluide caloporteur est apte à circuler dans une boucle comportant le consommateur 20 et/ou dans une boucle de l'unité de stockage 30 pour l'injection d'énergie.

La bouteille 220 est connectée aux points de sortie 209 et d'entrée 210 pour former une boucle de circulation de fluide dans le consommateur 20. Le fluide, sortant du ballon 220 est mis en mouvement par la pompe 25, circule jusqu'au nœud E puis jusqu'au point de sortie 209 avec une température T20H. A l'extérieur du sous-système de pompage 200, le fluide circule dans le consommateur 20 où il cède de la chaleur. Il rentre à nouveau dans le sous-système de pompage 200 au niveau du point d'entrée 210 avec une température basse T20L. Il circule jusqu'au nœud G puis jusqu'au ballon 220.

Lorsque les vannes d'arrêt 223 et 224 sont en position ouverte, le fluide est également apte à circuler depuis le ballon 220, dans une boucle permettant d'accumuler de la chaleur dans le matériau de stockage. En mode de stockage de chaleur, le fluide est mis en mouvement au moyen de la pompe 202. Il sort du ballon 220 à une température T5H-B jusqu'au nœud du circuit E. La vanne d'arrêt 223 étant dans ce cas ouverte, le fluide circule vers le nœud F, puis vers le point de sortie 205. Comme cela sera décrit ci-après en relation avec les figures 5, 6 et 7, à l'extérieur du sous-système de pompage 200, entre les points 205 et 206, le fluide est apte à circuler en parallèle dans une ou plusieurs boucles élémentaires comportant respectivement un échangeur de chaleur 5 ou un groupe d'échangeurs de chaleur Gi ou une série de groupes d'échangeurs Si, où il cède de la chaleur au matériau de stockage. Le fluide remonte au niveau du point d'entrée 206 avec une température inférieure T5L-B, puis circule jusqu'au nœud

H. La vanne d'arrêt 224 étant dans ce cas ouverte, le fluide s'écoule vers le nœud G, puis revient dans le ballon 220.

Pour permettre l'utilisation simultanée du sous-système de pompage 200 de manière à accumuler la chaleur provenant de la source chaude 10 et à soutirer de l'énergie du sol pour l'amener vers le consommateur 20, les boucles décrites
5 de l'énergie du sol pour l'amener vers le consommateur 20, les boucles décrites ci-dessus sont légèrement modifiées de la manière indiquée ci-après.

Le sous-système de pompage 200 comporte un deuxième ballon 230, qui est alors employé comme moyen de connexion hydraulique entre la boucle de circulation du fluide dans la source 10 et la boucle permettant d'accumuler de la chaleur dans le matériau de stockage. Le premier ballon 220 conserve dans ce
10 cas sa fonction de moyen de connexion hydraulique entre la boucle permettant d'extraire de la chaleur accumulée dans le matériau de stockage et la boucle de circulation du fluide dans le consommateur 20. Dans ce mode de fonctionnement, les vannes d'arrêt 222, 221, 223, 224 sont maintenues fermées, alors que les
15 vannes 232, 231, 233, 234 sont ouvertes.

Du côté gauche de la figure 3, la bouteille 230 est alors connectée aux nœuds B et C pour former la boucle de circulation de fluide dans la source 10. Lorsque la vanne 232 est ouverte, le fluide caloporteur, mis en mouvement grâce à la pompe 15, quitte ballon 230 à une température T_{10L} , et s'écoule jusqu'au
20 nœud de connexion B, puis vers le point 207. Le fluide circule ensuite dans la source 10 où il reçoit de la chaleur. Il rentre avec une température T_{10H} dans le sous-système de pompage 200 au niveau de l'entrée 208. Le fluide est apte à retourner vers le ballon 230 à partir du nœud du réseau C à travers la vanne 231, celle-ci étant ouverte.

Sur la partie droite de la figure 3, la bouteille 230 est alors connectée aux noeuds F et H pour former une boucle permettant d'accumuler de la chaleur dans le matériau de stockage. Lorsque la vanne 233 est ouverte, le fluide caloporteur, mis en mouvement au moyen de la pompe 202, sort du ballon 230 à une température T_{5H-B} , circule jusqu'au nœud du circuit F, puis vers le point de sortie
30 205. Le fluide caloporteur peut alors être acheminé vers le matériau de stockage où il cède de la chaleur. Le fluide remonte au niveau du point d'entrée 206 avec une température inférieure T_{5L-B} , circule jusqu'au nœud H, et revient enfin dans le ballon 230 à travers la vanne 234, celle-ci étant ouverte.

Sur les figures 4 A à D, on a représenté quatre exemples d'utilisation du
35 sous-système de pompage 200. Les canalisations dans lesquelles le fluide

caloporteur est en mouvement sont indiquées par des traits pleins, les vannes d'arrêt en position ouvertes sont indiquées en noir, et le sens d'écoulement du fluide dans ces canalisations est indiqué par des flèches. En revanche, les vannes d'arrêt en position fermée, sont indiquées en blanc et les canalisations dans lesquelles le fluide ne circule pas sont indiquées en pointillés.

5 La figure 4A représente le sous-système de pompage 200 dans un mode de fonctionnement permettant à la fois l'extraction de chaleur du sol et l'accumulation de chaleur dans le sol. Une telle utilisation permet de redistribuer la chaleur au sein de la zone de stockage. Lorsque ce mode est sélectionné, les vannes 221, 222 sont fermées, les vannes 223 et 224 sont ouvertes. Les vannes 10 231 à 234 sont toutes fermées, isolant ainsi le ballon 230 du circuit. Le ballon casse-pression 220 forme une connexion hydraulique entre la boucle permettant l'extraction de chaleur intégrant la pompe 201, et la boucle permettant l'accumulation de chaleur intégrant la pompe 202.

15 La figure 4B représente le sous-système de pompage 200 dans un mode de fonctionnement permettant simultanément l'injection de chaleur en provenance de la source chaude 10 et l'extraction de chaleur en direction du consommateur 20. Dans cet état, les vannes 221 à 224 sont fermées, tandis que les vannes 231 à 234 sont ouvertes. Le ballon casse-pression 220 connecte hydrauliquement la 20 boucle permettant l'extraction de chaleur intégrant la pompe 201 et la boucle de circulation du fluide vers le consommateur 20 comportant la pompe 25. Le ballon casse-pression 230 permet quant à lui de connecter hydrauliquement la boucle de circulation du fluide dans la source 10 comportant la pompe 15 et la boucle permettant l'accumulation de chaleur intégrant la pompe 202.

25 La figure 4C représente le sous-système de pompage 200 dans un mode de fonctionnement permettant simultanément l'extraction partielle de chaleur et la circulation dans la boucle comportant la source chaude 10, pour produire l'ensemble de la chaleur délivrée à la source froide 20. Dans ce mode d'utilisation, les vannes 221, 222 sont ouvertes et les vannes 223 et 224 sont 30 fermées. Les vannes 231 à 234 sont également fermées, isolant ainsi le ballon 230 du circuit. Le ballon casse-pression 220 a alors pour fonction de relier d'une part la boucle de circulation du fluide dans la source chaude 10 comprenant la pompe 15 et la boucle permettant l'extraction de chaleur comprenant la pompe 201, et, d'autre part, la boucle permettant la circulation de chaleur dans la source 35 froide 20 comportant la pompe 25. L'absence de production de chaleur par la

source chaude 10 constitue un cas particulier de ce mode de fonctionnement. Dans ce cas, la chaleur délivrée à la source froide 20 est intégralement extraite depuis l'unité de stockage 30 par la boucle d'extraction comportant la pompe 201.

Enfin la figure 4D représente le sous-système de pompage 200 dans un mode de fonctionnement permettant simultanément l'accumulation partielle de la chaleur produite par la source chaude 10 dans le volume de stockage 30 et le transfert de la partie restante de cette chaleur pour alimenter la source froide 20. Dans ce mode d'utilisation, les vannes 221 à 224 sont ouvertes. Les vannes 231 à 234 sont fermées, isolant ainsi le ballon 230 du circuit. Le ballon casse-pression 220 permet de connecter d'une part la boucle de circulation du fluide dans la source chaude 10 comportant la pompe 15, et d'autre part la boucle permettant l'accumulation de chaleur comprenant la pompe 202 et la boucle permettant la circulation de chaleur dans la source froide 20 comportant la pompe 25. L'absence de consommation de chaleur au niveau de la source froide 20 constitue un cas particulier de ce mode de fonctionnement. Dans ce cas, la chaleur produite par la source chaude 10 est intégralement injectée dans l'unité de stockage 30 pour y être stockée.

En se référant à la figure 5, le sous-système de contrôle de flux 300, permettant la circulation sélective du fluide caloporteur entre le sous système de pompage 200 et l'unité de stockage 30, et le sous-système de connexion 400, permettant de conférer une architecture particulière à l'unité de stockage 30, vont maintenant être décrits en détail.

Le sous-système de connexion 400 constitue une interface permettant de relier un ensemble d'échangeurs d'énergie calorifique 5, enterrés dans le sol, au sous-système de contrôle de flux 300. Bien que l'invention pourrait permettre de contrôler individuellement chaque échangeur de chaleur 5, il est avantageux, pour des raisons de coût et de facilité de réalisation, d'associer un certain nombre d'échangeurs de chaleur 5 au sein d'une unité d'échange. Une unité d'échange, comportant au moins un échangeur, constitue alors l'unité la plus fine que l'on peut contrôler individuellement. Ainsi, par exemple, le dispositif de stockage 30 de la figure 5 est organisé de manière à comporter par exemple M groupes d'échangeurs G_i (l'indice i variant entre 1 et M). L'unité d'échange élémentaire de l'unité de stockage 30 est alors constituée, non plus par un unique échangeur 5, mais par un groupe d'échangeurs G . Ceci est particulièrement intéressant pour les grandes installations visées par l'invention.

C'est au niveau du sous-système de connexion 400 qu'est organisée l'architecture en différents groupes G_i ($1 \leq i \leq M$) de l'ensemble des échangeurs de chaleur. Comme cela est représenté sur la figure 5, les extrémités chaudes 53 de chacun des échangeurs de chaleur 5 d'un même groupe G_i ($1 \leq i \leq M$) sont
5 reliées entre elles au niveau d'un collecteur « chaud » $U_{i,1}$ du groupe G_i , et les extrémités froides 54 de chacun des échangeurs 5 du groupe G_i sont connectées ensemble au niveau du collecteur « froid » $U_{i,2}$ du groupe G_i . Ainsi, dans ce mode de réalisation, entre le collecteur chaud $U_{i,1}$ et le collecteur froid $U_{i,2}$, les différents échangeurs de chaleur 5 du groupe G_i étant montés en parallèle les
10 uns des autres. Le collecteur chaud $U_{i,1}$ est connecté au sous-système de contrôle de flux 300 via une canalisation chaude 37i. Le collecteur froid $U_{i,2}$ est connecté au sous-système de contrôle de flux 300 via une canalisation froide 38i.

Le sous-système de contrôle de flux 300 peut être divisé en une partie pour l'injection de chaleur 300B (partie droite de la figure 5) et une partie destinée à
15 l'extraction de chaleur référencée par le chiffre 300A (partie gauche de la figure 5).

On suppose que l'unité de stockage 30 comprend M boucles hydrauliques d'échange de chaleur, chacune de ces boucles étant constituée d'un groupe
20 d'échangeurs G_i (i variant de 1 à M).

La partie d'injection 300B est connectée avec le sous-système de pompage 200 au niveau du point 205 et du point 206. Du point de vue du système physique que constitue la partie d'injection 300B, le point 205 permet l'entrée du fluide caloporteur « chaud » et le point 206 permet la sortie du fluide caloporteur « froid ».

25 L'entrée 205 est connectée hydrauliquement à un branchement 301-B. Le branchement 301-B comporte M canalisations descendantes 31i-B ($1 \leq i \leq M$).

Chacune des canalisations descendantes 31i-B est respectivement connectée en aval, via un nœud K_i , puis la canalisation 37i, au collecteur chaud $U_{i,1}$ du groupe G_i associé.

30 Le collecteur froid $U_{i,2}$ du groupe G_i ($1 \leq i \leq M$) est connecté à un branchement 302-B, via la canalisation 38i, puis une canalisation ascendante 35i-B dédiée passant par le nœud L_i . Le raccordement 302-B est connecté à la sortie 206.

On voit ainsi qu'entre l'entrée 205 et la sortie 206, M boucles hydrauliques d'extraction de chaleur, comportant chacune un groupe d'échangeur G_i ($1 \leq i \leq M$), sont disposées en parallèles.

Les branchements 301-B et 302-B sont équipés d'un capteur de pression différentielle 303-B. Les canalisations descendantes 31i-B ($1 \leq i \leq M$) sont respectivement équipées d'un capteur de débit 32i-B, d'une vanne de régulation 33i-B, permettant de régler le débit dans la boucle correspondante, et d'une vanne d'arrêt « tout ou rien » 34i-B. Il est à noter que les deux vannes 33i-B et 34i-B sont disposées en série et que la vanne d'arrêt 34i-B permet de bloquer effectivement toute circulation dans la canalisation qu'elle équipe, une vanne de régulation, telle que la vanne 33i-B, n'étant jamais tout à fait étanche.

Chaque canalisation ascendante 35i-B est munie d'une vanne d'arrêt commandée en tout ou rien 36i-B.

De manière similaire, dans la partie extraction de chaleur 300A, le fluide « froid » est injecté dans le sous-système de contrôle de flux 300 par le point d'entrée 203. Cette entrée 203 est connectée à un branchement 301-A. Du branchement 301-A, M canalisations descendantes 31i-A ($1 \leq i \leq M$) sont respectivement connectées au collecteur froid $U_{i,2}$ du groupe d'échangeurs G_i via le nœud L_i . Le collecteur chaud $U_{i,1}$ de chacun des groupes G_i ($1 \leq i \leq M$) est connecté à un raccordement 302-A, via une canalisation ascendante 35i-A dédiée passant par le nœud K_i . Ce raccordement 302-A est lui-même connecté au point de sortie 204. Le raccordement 302-A permet un retour du fluide caloporteur « chaud » vers le sous-système de pompage 200, via le point de sortie 204.

Ainsi, entre les branchements 301-A et 302-A, M boucles hydrauliques d'extraction de chaleur sont disposées en parallèle les unes des autres, chacune permettant l'alimentation en fluide caloporteur le groupe d'échangeur G_i associé. Les branchements 301-A et 302-A sont équipés d'un capteur de pression différentielle 303-A. Les canalisations descendantes 31i-A ($1 \leq i \leq M$) sont respectivement équipées d'un capteur de débit 32i-A, d'une vanne de régulation 33i-A permettant de régler le débit dans la boucle correspondante et d'une vanne d'arrêt 34i-A permettant de stopper complètement la circulation du fluide caloporteur dans la boucle associée.

Chaque canalisation ascendante 35i-A est munie d'une vanne d'arrêt commandée en tout ou rien 36i-A.

On notera que pour des raisons d'économie et de facilité de montage et de maintenance, les canalisations descendantes 31i-B ($1 \leq i \leq M$) et les canalisations ascendantes 35i-A qui mènent toutes les deux au même collecteur chaud $U_{i,1}$ ont avantageusement une section commune 37i, du collecteur chaude $U_{i,1}$ au nœud K_i . De la même manière, les canalisations descendantes 31i-A et les canalisations ascendantes 35i-B reliées au même collecteur froid $U_{i,2}$ ont avantageusement une section commune 38i, en l'occurrence du collecteur froid $U_{i,2}$ au nœud L_i .

Une boucle comprenant un groupe d'échangeurs G_i ($1 \leq i \leq M$) se trouve alors soit activée en injection de chaleur, cette boucle étant alors reliée aux branchements 301-B et 302-B, soit activée en extraction de chaleur, cette boucle étant alors reliée aux branchements 301-A et 302-A, soit inactive, cette boucle étant alors isolée hydrauliquement du circuit.

Le débit dans chacune des boucles activées en injection de chaleur est réglé à sa valeur individuelle par l'ajustement de la perte de charge créée par la vanne de régulation correspondante 33i-B ($1 \leq i \leq M$). La mesure de débit associée à cette régulation est assurée par le capteur de débit 32i-B. Pour que les différents régulateurs de débit fonctionnent ensemble, l'ajustement du débit dans l'une quelconque des boucles activées pour l'injection ne doit avoir aucune influence sur le débit dans les autres boucles également activées en injection. Autrement dit, les M débits dans les canalisations descendantes 31i-B ($1 \leq i \leq M$) doivent être indépendants les uns des autres. Cela est réalisé par le maintien d'une différence de pression hydraulique constante et indépendante du débit total de fluide, entre le branchement 301-B et le branchement 302-B. Pour cela, la pompe de circulation 202 du sous-système de pompage 200 est entraînée par un moteur électrique muni d'un dispositif de commande à vitesse variable, fonctionnant en mode régulation de pression différentielle : la vitesse de la pompe 202 est réglée pour maintenir la pression différentielle entre les deux branchements 301-B et 302-B à une valeur de consigne prédéfinie, la boucle de mesure de cette régulation étant assurée par le capteur de pression différentielle 303-B. La différence de pression entre les branchements 301-B et 302-B étant maintenue constante, chacun des M débits dans les canalisations 31i-B ($1 \leq i \leq M$) peut être réglé de manière indépendante.

On notera que du côté du raccordement 302-B, le fluide s'écoule jusqu'à la bouteille 220 à travers la vanne d'arrêt 224, ou jusqu'à la bouteille 230 à travers

la vanne d'arrêt 234, selon le mode de fonctionnement sélectionné. Dans les deux cas, le raccordement 302-B se trouve connecté hydrauliquement au point neutre du circuit seulement par le biais d'une vanne d'arrêt en position ouverte, représentant une perte de charge très faible. La pression au niveau de ce
5 raccordement 302-B peut être considérée comme indépendante du débit total de fluide, ce qui confère une grande stabilité à la régulation de pression différentielle entre les branchements 301-B et 302-B.

De la même façon, le débit dans chacune des boucles activées en l'extraction de chaleur est régulé à sa valeur individuelle par l'ajustement de la
10 perte de charge créée par la vanne de régulation 33i-A ($1 \leq i \leq M$). La mesure de débit associée à cette régulation est assurée par le capteur de débit 32i-A. Les M débits dans les canalisations descendantes 31i-A ($1 \leq i \leq M$) doivent être indépendants les uns des autres. Cela est réalisé par le maintien d'une différence de pression hydraulique constante et indépendante du débit total de
15 fluide, entre les branchements 301-A et 302-A. Pour cela, la pompe de circulation 201 du sous-système de pompage 200 est également entraînée par moteur électrique muni d'un dispositif de commande à vitesse variable, fonctionnant en mode régulation de pression différentielle : la vitesse de la pompe 201 est régulée pour maintenir la pression différentielle entre les deux branchements 301-A et
20 302-A à une valeur de consigne prédéfinie, la boucle de mesure de cette régulation étant assurée par le capteur de pression différentielle 303-A. La différence de pression entre les branchements 301-A et 302-A étant maintenue constante, chacun des M débits dans les canalisations 31i-A ($1 \leq i \leq M$) peut être régulé de manière indépendante.

25 On notera que du côté du raccordement 302-A, le fluide s'écoule directement jusqu'au ballon 220. Le raccordement 302-A se trouve ainsi connecté hydrauliquement au point neutre du circuit, de sorte que la pression au niveau de ce raccordement est indépendante du débit total de fluide, ce qui confère une grande stabilité à la régulation de pression différentielle entre les branchements
30 301-A et 302-A.

Sur la figure 6A, le sous-système de contrôle de flux 300 est représenté dans un mode de fonctionnement pour l'injection d'énergie utilisant une boucle d'échange de chaleur comprenant le groupe d'échangeurs G_i ($1 \leq i \leq M$). Les canalisations dans lesquelles le fluide caloporteur est en mouvement sont
35 indiquées par des traits pleins, les vannes d'arrêt en position ouvertes sont

indiquées en noir, et le sens d'écoulement du fluide dans ces canalisations est indiqué par des flèches.

Dans ce mode de fonctionnement, on souhaite injecter de la chaleur dans le sol, par exemple à partir de la source chaude 10. En conséquence, le fluide à température T5H-B est introduit par l'entrée 205 au niveau du raccordement 301-B. Lorsque la vanne d'arrêt 34i-B correspondant au groupe Gi est actionnée pour être dans l'état ouvert et la vanne d'arrêt 36i-A est simultanément actionnée pour être dans l'état fermé, le fluide sous pression est acheminé via les canalisations 31i-B et 37i vers le collecteur chaud Ui,1 où il est réparti entre les différents échangeurs de chaleur 5 du groupe Gi. La température du fluide caloporteur T5H-B est supérieure à la température moyenne du milieu T2. En conséquence, la chaleur du fluide caloporteur est transférée vers le matériau de stockage. En sortie de chacun des échangeurs 5, le fluide caloporteur est collecté par le collecteur Ui,2, puis acheminé via les canalisations 38i et 35i-B vers le raccordement 302-B, la vanne d'arrêt 36i-B étant actionnée pour être dans l'état ouvert et la vanne d'arrêt 34i-A étant simultanément actionnée pour être dans l'état fermé. Finalement, le fluide caloporteur, ayant une température T5L-B, est acheminé au point de sortie 206. Le débit du fluide dans la boucle qui vient d'être décrite est contrôlé par la vanne 33i-B.

Sur la figure 6B, le sous-système de pompage 300 est représenté dans un mode de fonctionnement pour l'extraction de chaleur utilisant une boucle d'échange de chaleur comprenant le groupe d'échangeurs Gi ($1 \leq i \leq M$). En ouvrant les vannes 34i-A et 36i-A tout en fermant les vannes 34i-B et 36i-B, une boucle est activée qui comprend la canalisation descendante 31i-A, la canalisation commune 38i le groupe d'échangeurs Gi muni de ses deux collecteurs froid Ui,2 et chaud Ui,1, la canalisation commune 37i, et la canalisation ascendante 35i-A.

Une description équivalente à celle faite ci-dessus pour l'injection pourrait être faite pour le mode de fonctionnement en extraction utilisant la partie 300A pour décrire comment le fluide caloporteur introduit au point 203 à la température T5L-A ressort au niveau du point 204 à la température T5H-A.

Enfin un mode de fonctionnement du sous système de contrôle de flux 300 dans lequel la boucle comprenant le groupe d'échangeurs Gi ($1 \leq i \leq M$) est maintenue inactive est obtenu en fermant les vannes 34i-A, 36i-A, 36i-B et 34i-B.

En se référant à la figure 7, pour un certain nombre d'applications visées par l'invention, le fonctionnement en injection et/ou en extraction requiert un écart de température important entre le fluide entrant et le fluide sortant de l'unité de stockage. Pour satisfaire ce fonctionnement, il est souvent nécessaire de

5 connecter en série plusieurs groupes d'échangeurs.

Dans ce cas, au cours de son passage au travers de l'unité de stockage 30, le fluide caloporteur ne traverse plus seulement un échangeur (un groupe d'échangeur étant constitué d'échangeurs en parallèle), mais plusieurs échangeurs en série (appartenant chacun à l'un des groupes connectés en série).

10 Ainsi la quantité de chaleur échangée avec le matériau de stockage et la variation de température subie par le fluide sont augmentées. Cependant, à cause des variations de débits et de températures du fluide à l'entrée du système et au besoin de pouvoir contrôler précisément les zones physiques d'injection et d'extraction de la chaleur, il est avantageux que des séries d'échangeurs puissent

15 être configurées pour pouvoir décider du nombre de groupes utilisés dans une série et de la position de la série résultante.

Afin de limiter les coûts induits par l'aspect combinatoire, il est proposé le compromis suivant représenté sur la figure 7. Pour une réalisation particulière de l'invention, il est décidé, préalablement à la réalisation, de disposer d'un nombre

20 fixe S de séries d'échangeurs S_i ($1 \leq i \leq S$) à l'intérieur du moyen de stockage 30. Chaque série S_i comporte un nombre M_i fixe de groupes d'échangeurs $G_{i,j}$ ($1 \leq j \leq M_i$) ordonnés de 1 à M_i . Le système dispose de moyens permettant de configurer, à tout instant, une branche de position et de longueur variable en tant que sous-série d'une série maximale S_{iMax} constituée de tous les groupes

25 d'échangeurs G_i raccordés en série.

Plus précisément, c'est au niveau du sous-système de connexion 400' qu'est organisée la mise en série des groupes d'échangeurs. La figure 7 est une représentation schématique en mode d'injection de chaleur, d'une partie du sous-système de contrôle de flux 300' et du sous-système de connexion 400' lorsque la

30 boucle activée ne comporte plus un unique groupe d'échangeurs mais une branche de la série S_i . Le sous système de connexion 400' organise l'unité de stockage 30 de sorte que les entrées froides des échangeurs d'un groupe d'échangeurs de chaleur $G_{i,j}$ et les entrées chaudes des échangeurs de chaleur du groupe suivant $G_{i,j+1}$ sont connectées au même collecteur $U_{i,j}$, à l'exception

35 du premier collecteur $U_{i,1}$ qui n'est connecté qu'aux entrées chaudes du premier

groupe $G_{i,1}$ de la série S_i , et du dernier collecteur U_{i,M_i+1} qui n'est connecté qu'aux entrées froides du dernier groupe G_{i,M_i} de la série S_i . Il y a donc M_i+1 collecteurs.

Le principe mis en œuvre dans le sous-système de contrôle de flux 300' pour activer la boucle comprenant une branche de la série S_i ($1 \leq i \leq S$) et pour réguler le débit de fluide caloporteur dans cette boucle est identique à ce qui a été décrit précédemment dans le cas de l'activation d'un groupe d'échangeurs. La différence réside dans le fait que, pour toute série de groupes d'échangeur S_i ($1 \leq i \leq S$), la canalisation chaude 37 $_i$ du sous-système de contrôle de flux 300' est munie d'un commutateur de débit 310 $_i$ et la canalisation froide 38 $_i$ est munie d'un commutateur de débit 320 $_i$.

Un commutateur de débit est un dispositif bidirectionnel reliant hydrauliquement une canalisation primaire à un nombre arbitraire de canalisations secondaires munies chacune d'une vanne bidirectionnelle commandée en tout ou rien. En ouvrant une vanne tout en gardant fermées toutes les autres, le commutateur de débit connecte la canalisation primaire à une seule canalisation secondaire, ouvrant ainsi un chemin et un seul pour le fluide caloporteur.

Pour toute série S_i ($1 \leq i \leq S$), le commutateur de débit 310 $_i$ comporte M_i+1 canalisations secondaires respectivement munies d'une vanne commandée bidirectionnelle 31 $_{ji}$ ($1 \leq j \leq M_i+1$) et connectées via le nœud $V_{i,j}$ aux M_i+1 collecteurs $U_{i,j}$ ($1 \leq j \leq M_i+1$). Le commutateur de débit 320 $_i$ comporte M_i+1 canalisations secondaires respectivement munies d'une vanne commandée bidirectionnelle 32 $_{ji}$ ($1 \leq j \leq M_i+1$) et connectées via le nœud $V_{i,j}$ au collecteur $U_{i,j}$ ($1 \leq j \leq M_i+1$).

Etant donné deux indices p et q ($1 \leq p \leq M_i$, $1 \leq q \leq M_i$), la vanne d'indice p (notée 31 $_{pi}$) du commutateur de débit 310 $_i$, associée à la canalisation secondaire connectée au collecteur $U_{i,p}$, ainsi que la vanne d'indice $q+1$ (notée 32 $_{(q+1)i}$) du commutateur de débit 320 $_i$, associée à la canalisation secondaire connectée au collecteur $U_{i,q+1}$, sont toutes deux actionnées pour être dans l'état ouvert. Le fluide caloporteur, en provenance du branchement 301-B à la température T5H-B, est alors orienté par le commutateur de débit 310 $_i$ vers le collecteur $U_{i,p}$. Il entre dans la série S_i par le groupe d'échangeurs $G_{i,p}$, circule successivement dans tous les groupes d'échangeurs de la série S_i compris entre $G_{i,p}$ et $G_{i,q}$ inclus, où il échange de la chaleur avec le matériau de stockage. Il ressort de la série S_i par

le collecteur $U_{i,q+1}$ à une température T_{5L-B} plus faible que T_{5H-B} . Il est alors dirigé vers le branchement 302-B à travers le commutateur de débit 320i. Ainsi la circulation du fluide caloporteur est restreinte à la seule branche de la série S_i située entre les groupes $G_{i,p}$ et $G_{i,q}$. On notera que, lorsque $p=q$, seul le groupe 5 $G_{i,p}$ est traversé. De plus, le système permet d'inverser le sens de circulation dans la branche par simple permutation des indices p et q .

Une description similaire pourrait être faite en mode d'extraction d'énergie.

La possibilité de sélectionner, à l'intérieur d'une série S_i ($1 \leq i \leq S$) activée en injection ou en extraction, la branche qui sera en adéquation avec le 10 fonctionnement recherché, notamment avec les valeurs requises de température du fluide entrant et sortant de la zone de stockage, et de restreindre la circulation du fluide à cette seule branche, dans un sens arbitraire, permet ainsi de limiter et de localiser le phénomène de diffusion thermique dans l'ensemble de la zone de stockage. En outre, la branche adéquate ayant été sélectionnée et activée, la 15 régulation du débit de fluide caloporteur circulant dans cette branche permet d'ajuster la température du fluide à la sortie de la branche et ainsi de l'adapter à la valeur requise par la source en mode d'injection de chaleur ou par le consommateur en mode d'extraction de chaleur.

D'une manière plus générale, le système de connexion peut être vu comme 20 un ensemble fixe permettant de regrouper des échangeurs 5 en parallèle ou en série. Le système de connexion peut être amené à subir l'adjonction (et plus rarement le retrait) de certains groupes d'échangeurs, afin d'adapter la puissance totale d'injection et/ou d'extraction de chaleur aux besoins de l'application. Hormis ces opérations exceptionnelles, le système de connexion est figé et ne subit 25 aucune variation de structure. Le système de connexion est de plus spécifique à chaque application dans la mesure où l'architecture globale de l'unité de stockage 30, notamment le nombre et la localisation des échangeurs 5, leur association en groupes et l'éventuelle connexion de certains groupes en série, sera le résultat d'une étude menée au cas par cas pour chaque application, et dépendra de 30 divers paramètres tels que la quantité d'énergie à stocker, les caractéristiques de la source et du consommateur, la puissance d'injection/extraction nécessaire, les caractéristiques thermiques du matériau de stockage, ou bien les coefficients d'infiltration ou de circulation souterraine d'eau au travers de l'unité de stockage 30.

Le sous-système de contrôle de flux permet, quant à lui, de sélectionner avec la granulométrie la plus fine possible, le domaine de la zone de stockage adéquate pour l'extraction ou l'injection d'énergie calorifique. L'activation d'un échangeur, d'un groupe d'échangeurs ou de tout ou partie d'une série de groupes d'échangeurs permet de contrôler la puissance thermique injectée ou extraite dans le domaine correspondant de la zone de stockage.

En se référant à nouveau à la figure 2, le système hydronique 100 selon l'invention comporte une boucle de contrôle permettant l'actionnement automatique des différentes vannes pour activer un ou plusieurs échangeurs en fonction du mode de fonctionnement sélectionné.

Pour cela le système hydronique 100 et l'unité de stockage 30 sont équipés d'un ensemble de capteurs de température. Il peut s'agir soit de capteurs de température 6 disposés dans le sol ou dans la gaine 55 de l'échangeur de chaleur, soit de capteurs de température 17 et 27 disposés en différents points du système hydronique pour connaître la température du fluide caloporteur. Les capteurs 6, 17 et 27 permettent une mesure locale de la température. D'autres types de capteurs peuvent être utilisés. Lors de la description de la figure 5, il a été question des capteurs 32i-A et 32i-B qui permettent d'obtenir une information de débit. La boucle côté source et la boucle côté consommateur peuvent également être équipées de capteurs de débit 18 et 28 afin de connaître à tout instant la puissance thermique (produit du débit par la différence des températures du fluide caloporteur dans les canalisations d'entrée et de sortie) fournie par la source 10 et la puissance thermique utilisées par le consommateur 20. Les mesures effectuées par ces différents capteurs sont acheminées sous forme de signaux électriques vers une unité de calcul 500.

L'unité de calcul 500 comporte des moyens de mémorisation et des moyens de calcul. Les instructions d'un programme sont mémorisées dans les moyens de mémorisation et sont exécutées par les moyens de calcul. L'unité de calcul 500 comporte une interface entrée-sortie apte à recevoir en entrée les différents signaux en provenance des capteurs et à émettre en sortie des signaux permettant l'actionnement des différentes vannes commandées et commandes de régulation du sous-système de pompage 200 et/ou du sous-système de contrôle de flux 300.

En fonction des signaux de mesure, donnant entre autres la puissance thermique instantanée fournie par la source 10 et la puissance thermique

instantanée demandée par le consommateur 20, l'unité de calcul 500 est apte à déterminer les boucles de l'unité de stockage qui doivent être activées.

Pour cela l'unité de calcul 500 détermine si l'activation de la boucle doit se faire en injection ou en extraction de chaleur. En mode d'injection de chaleur, le
5 groupe G_i ($1 \leq i \leq M$) (ou série de groupes S_i ($1 \leq i \leq S$)) sera connecté aux branchements 301-B et 302-B par l'ouverture des deux vannes d'arrêt 34i-B et 36i-B. En mode d'extraction de chaleur, le groupe G_i ($1 \leq i \leq M$) (ou série de groupes S_i ($1 \leq i \leq S$)) sera connecté aux branchements 301-A et 302-A par l'ouverture des deux vannes d'arrêt 34i-A et 36i-A.

10 L'unité 500 calcule également le débit du fluide calorifique qui doit traverser cette boucle. Ce débit circulant dans le groupe G_i ($1 \leq i \leq M$) (ou série de groupes S_i ($1 \leq i \leq S$)) sera alors régulé à la valeur ainsi calculée à l'aide de la vanne de régulation 33i-B en mode d'injection de chaleur, et à l'aide de la vanne de régulation 33i-A en mode d'extraction de chaleur.

15 Dans la variante de réalisation décrite ci-dessus en relation avec la figure 7, lors de l'activation d'une série d'échangeurs S_i ($1 \leq i \leq S$), l'unité de calcul 500 définit aussi la branche de cette série S_i qui sera traversée par le fluide caloporteur en définissant la valeur des indices p et q . Les groupes $G_{i,p}$ et $G_{i,q}$ correspondants seront activés à l'aide des commutateurs de débits associés 310i
20 et 320i.

Un mode de réalisation permettant de sélectionner les échangeurs actifs en fonction des mesures effectuées par les capteurs va maintenant être décrit en détail.

Des études préalables à l'unité de stockage 30 et de son implantation en
25 un site géologique particulier permettent, entre autres, de définir une pluralité d'états optimaux successifs de la zone de stockage. Chacun des états optimaux ainsi définis peut être représenté par une carte en trois dimensions donnant la température en tout point de la zone de stockage. Par exemple, dans le cas d'une unité de stockage de chaleur alimentée par capteurs solaires, des cartes
30 optimales successives pourront être déterminées pour tous les mois d'été avec pour critère le maintien d'un gradient de température faible au niveau de l'enveloppe de la zone de stockage, i.e. le maintien d'un flux d'énergie calorifique faible à travers cette enveloppe ; puis, en fin de cycle de charge, les cartes optimales pourront être déterminées avec comme autre critère le remplissage
35 maximum du volume de stockage. D'autres types d'états optimaux, représentés

par leur carte optimale associée, peuvent être déterminés avec d'autres critères par l'utilisateur.

Au cours de l'utilisation du système de stockage, une des cartes optimales est chargée dans les moyens de mémorisation de l'unité de calcul 500. Cette
5 carte optimale est alors considérée comme un objectif à atteindre au cours du temps. Par exemple, dans le cas d'une unité de stockage de chaleur alimentée par capteurs solaires, l'utilisateur chargera la carte optimale en fin de cycle s'il souhaite que la zone de stockage contienne un maximum d'énergie calorifique par exemple au mois d'octobre, juste avant l'entrée dans les mois d'hiver qui sont
10 des mois de forte consommation d'énergie au cours desquels on sait que la source de chaleur ne produira que peu d'énergie.

L'unité de calcul 500, permet à chaque instant, en fonction des mesures de température relevées par les différents capteurs 6, de réaliser une carte instantanée à trois dimensions de la température dans la zone de stockage. Cette
15 carte donne l'état instantané de la zone de stockage.

En fonction de la carte instantanée, de la carte optimale fixant les objectifs à atteindre et des informations concernant l'état instantané de la source et du consommateur (débits et températures), l'unité de calcul 500 émet des signaux d'actionnement pour qu'à chaque instant le mode de fonctionnement du système
20 hydronique 100 réponde aux besoins du consommateur et de la source, mais également à l'objectif final à atteindre.

Par exemple, l'unité de calcul 500 évalue localement les écarts entre la température donnée par la carte optimale et la température donnée par la carte instantanée. Si la puissance thermique produite par la source est supérieure à
25 celle demandée par le consommateur, l'unité 500 sélectionne le mode de fonctionnement d'injection partielle d'énergie et active en injection de chaleur les échangeurs situés dans une partie froide de la zone de stockage qui présente des niveaux de température adaptés aux apports de la source et qui présente un déficit en température par rapport à la carte objectif. Si au contraire la puissance thermique produite par la source ne suffit pas pour alimenter le consommateur,
30 l'unité 500 sélectionne le mode de fonctionnement d'extraction partielle d'énergie et active en extraction de chaleur les échangeurs situés dans une partie chaude de la zone de stockage qui présente des niveaux de température adaptés aux besoins du consommateur et qui présente un dépassement en température par

rapport à la carte objectif. De cette manière la distribution de température à l'intérieur de la zone converge dans le temps vers l'état optimal.

Les figures 8A à 8D représentent un exemple simple de cartes optimales associées à une profondeur donnée d'une unité de stockage de chaleur. Les figures 8B, 8C et 8D représentent la distribution de température recherchée pour trois instants différents et successifs au cours d'un cycle d'injection de chaleur dans la zone de stockage. La température de chaque courbe isotherme est indiquée sur celle-ci en degrés Celsius. Dans cet exemple, la zone de stockage considérée contient 42 échangeurs 5 disposés régulièrement et notés $E_{i,j}$ ($1 \leq i \leq 7$, $1 \leq j \leq 6$). Le système représenté s'appuie sur un groupement des échangeurs en 14 séries de trois échangeurs (chaque série pouvant donner lieu à des sous-séries conformément à la présente invention), numéroté S1 à S14, définie selon (sans tenir compte du sens de circulation du fluide) : S1 = E11, E12, E13 ; S2 = E14, E15, E16 ; S3 = E21, E22, E23 ; S4 = E24, E25, E26 ; S5 = E31, E32, E33 ; S6 = E34, E35, E36 ; S7 = E41, E42, E43 ; S8 = E44, E45, E46 ; S9 = E51, E52, E53 ; S10 = E54, E55, E56 ; S11 = E61, E62, E63 ; S12 = E64, E65, E66 ; S13 = E71, E72, E73 ; S14 = E74, E75, E76. La zone de stockage comporte en outre des capteurs de températures non représentés sur la figure 8A.

Dans l'état initial, la température de la zone de stockage est égale à la température extérieure du sol soit environ 15°C. On cherche alors à injecter de la chaleur de sorte que l'on puisse, à tout moment du cycle de chargement, disposer de la plus grande quantité possible d'énergie thermique directement exploitable, c'est-à-dire une température d'environ 40 à 50°C. De plus, on cherche à créer des gradients en bordure de zone de stockage qui permettent de limiter les pertes lors du cycle d'injection.

On décide d'injecter l'énergie thermique selon 3 phases distinctes du cycle de chargement, phases qui sont respectivement représentées par figures 8B, 8C et 8D. La manière de procéder consiste à former puis à agrandir une zone centrale ayant une température de 45 à 50°C de sorte que, en fin d'injection, l'enveloppe de la zone de stockage soit aussi proche que possible de la topologie de l'unité de stockage pour maximiser la récupération d'énergie lors de la phase d'extraction. Dans cet exemple, la zone de stockage comporte un unique domaine défini par une température de 45 à 50°C, mais la zone de stockage pourrait comporter différents domaines ayant chacun une gamme de température particulière.

On dispose d'une source chaude débitant de l'eau en tant que fluide caloporteur à une température de 60°C pour un débit de 10 kg/s. Dans la première phase, afin de remplir l'objectif présenté sur la figure 8B, les séries S5, S6, S7, S8, S9 et S10 sont sélectionnées, et les branches S'5 = E33 ; S'6 = E34 ; S'7 = E43 ; S'8 = E44 ; S'9 = E53 ; S'10 = E54 sont configurées. Le fluide est injecté en parallèle dans les branches S'5 à S'10 jusqu'à ce que la température de la zone de stockage soit aussi proche que possible de ce qui est représenté de la figure 8B.

Lorsque cette première phase est atteinte, le système configure (en tenant compte du sens d'écoulement du fluide) les branches suivantes : S''3 = E23, E22 ; S''4 = E24, E25 ; S''5 = E33, E32 ; S''6 = E34, E35 ; S''7 = E43, E42 ; S''8 = E44, E45 ; S''9 = E53, E52 ; S''10 = E54, E55 ; S''11 = E63, E62 ; S''12 = E64, E65. Puis il effectue l'injection en parallèle dans les branches S''3 à S''12 jusqu'à ce que la température de la zone de stockage soit aussi proche que possible de ce qui est représenté sur la figure 8C.

Lorsque cette deuxième phase est atteinte, le système configure (en tenant compte du sens d'écoulement du fluide) enfin les branches suivantes : S'''1 = E13, E12, E11 ; S'''2 = E14, E15, E16 ; S'''3 = E23, E22, E21 ; S'''4 = E24, E25, E26 ; S'''5 = E33, E32, E31 ; S'''6 = E34, E35, E36 ; S'''7 = E43, E42, E41 ; S'''8 = E44, E45, E46 ; S'''9 = E53, E52, E51 ; S'''10 = E54, E55, E56 ; S'''11 = E63, E62, E61 ; S'''12 = E64, E65, E66 ; S'''13 = E73, E72, E71 ; S'''14 = E74, E75, E76. L'injection s'effectue alors en parallèle dans les branches S'''1 à S'''14 jusqu'à obtenir l'état final de la zone de stockage présenté sur la figure 8D.

En fonction des températures d'entrée et de sortie d'injection imposées par la source ou d'extraction imposées par le consommateur, il est possible d'élaborer plusieurs scénarii d'injection ou d'extraction impliquant des séries ou des groupes d'échangeurs et, éventuellement, différents domaines de la zone de stockage ayant des températures moyennes différentes, et d'anticiper l'impact de chaque scénario sur le rendement global de l'installation. Le système peut alors s'appuyer sur des procédés ayant trait à l'optimisation combinatoire afin de conduire le cycle de charge/décharge tout en optimisant le rendement de l'ensemble.

Ainsi, l'unité de calcul 500 assure le contrôle optimal de la distribution de température dans la zone de stockage tout au long du cycle de charge/décharge.

Ainsi, le système hydronique 100 selon l'invention permet :

- de contrôler l'unité de stockage thermique 30 selon trois modes de fonctionnement : l'injection de chaleur, l'extraction de chaleur, l'injection et l'extraction simultanées,
- de contrôler activement tout au long du cycle de charge/décharge la distribution de températures à l'intérieur de la zone de stockage dans le but de minimiser la quantité d'énergie perdue aux limites au cours d'un cycle complet, tout en optimisant le volume de matériau de stockage mis en œuvre,
- d'assurer le contrôle optimal des procédés d'injection et d'extraction de chaleur dans le dispositif de stockage thermique 30, afin de limiter les phénomènes de diffusion dans le matériau de stockage à l'origine des pertes thermiques, notamment en restreignant la circulation de fluide aux seules zones qui auront été sélectionnées pour l'injection ou l'extraction, en adéquation avec le fonctionnement recherché, notamment avec les valeurs requises de température du fluide entrant et sortant de la zone de stockage.
- de permettre de lutter contre les effets des infiltrations hydrogéologique transversales, dans la mesure du possible, en transférant de la chaleur entre différentes zones du même tampon thermique 30.

Bien que l'invention ait été décrite en référence à un mode de réalisation particulier, elle n'est nullement limitée à ce mode de réalisation. Elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons qui entrent dans le cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de contrôle d'une unité de stockage d'énergie thermique dans le sol comportant une pluralité d'échangeurs de chaleur enterrés dans le sol, chacun desdits échangeurs permettant un échange d'énergie calorifique entre un fluide caloporteur le traversant et le sol, ladite unité de stockage d'énergie étant disposée à l'interface entre une source et un consommateur d'énergie calorifique pour stocker de l'énergie thermique, caractérisé en ce que l'on mesure la température en différents points du sol au moyen de capteurs de température enterrés, les températures et débit d'un fluide caloporteur en entrée et en sortie de la source pour déterminer la puissance thermique fournie par la source, et les températures et débit d'un fluide caloporteur en entrée et en sortie du consommateur pour déterminer la puissance thermique à fournir au consommateur, et en ce que l'on optimise le stockage d'énergie thermique dans ladite unité de stockage en sélectionnant des échangeurs actifs parmi ladite pluralité d'échangeurs en fonction des mesures de température, des mesures de débit et des mesures de puissance thermique.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes consistant à :
- déterminer préalablement une carte optimale des températures dans le sol ;
 - déterminer une carte instantanée des températures dans le sol au moyen desdites mesures de température effectuées en différents points du sol ;
 - sélectionner des échangeurs actifs parmi ledit ensemble d'échangeurs en fonction des écarts locaux de température entre ladite carte instantanée et ladite carte optimale, des températures et débit du fluide caloporteur en entrée et sortie de la source, et des températures et débit du fluide caloporteur en entrée et sortie du consommateur.
3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que, l'on déplace de la chaleur à l'intérieur de l'unité de stockage par circulation du fluide caloporteur entre une boucle comportant au moins un échangeur activé en extraction et une boucle comportant au moins un échangeur activé en injection.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comporte une étape additionnelle consistant :

Lorsque la puissance thermique fournie par la source est adaptée à la puissance thermique utilisée par le consommateur, à n'activer aucun des échangeurs et à faire circuler le fluide caloporteur entre une boucle comportant la source et une boucle comportant le consommateur ;

- 5 Lorsque la puissance thermique fournie par la source n'est pas utilisable par le consommateur, à faire circuler le fluide caloporteur entre une boucle comportant la source et une boucle comportant des échangeurs activés en injection, et à faire circuler simultanément le fluide caloporteur entre une boucle comportant le consommateur et une boucle comportant des échangeurs activés en extraction ;
- 10 Lorsque la puissance thermique fournie par la source est supérieure à la puissance thermique utilisée par le consommateur, à faire circuler le fluide caloporteur d'une part dans une boucle comportant la source et d'autre part dans une boucle comportant le consommateur et une boucle comportant des échangeurs activés en injection ;
- 15 Lorsque la puissance thermique utilisée par le consommateur est nulle, à injecter totalement la puissance thermique fournie par la source dans l'unité de stockage ;
Lorsque la puissance thermique fournie par la source est inférieure à la puissance thermique utilisée par le consommateur, à faire circuler le fluide caloporteur d'une part dans une boucle comportant le consommateur et d'autre part dans une boucle comportant la source et une boucle comportant des échangeurs activés en extraction ;
- 20 Lorsque la puissance thermique fournie par la source est nulle, à extraire intégralement la puissance thermique utilisée par le consommateur de l'unité de stockage.
- 25 5. Système hydronique de contrôle d'une unité de stockage d'énergie thermique dans le sol comportant une pluralité d'échangeurs de chaleur enterrés dans le sol, chacun desdits échangeurs permettant un échange d'énergie calorifique entre un fluide caloporteur le traversant et le sol, ledit système hydronique étant destiné à être disposé entre une source d'énergie calorifique, un consommateur d'énergie calorifique et ladite unité de stockage, caractérisé en ce qu'il comporte :
 - une pluralité de capteurs de température enterrés dans le sol;
 - des capteurs de température et de débit pour mesurer une puissance thermique fournie par la source et une puissance thermique utilisée par le
- 30
- 35 consommateur ;

- des moyens de regroupement pour regrouper lesdits échangeurs en une pluralité d'unités d'échange élémentaires, une unité d'échange comportant au moins un échangeur ; et,

5 - des moyens d'activation pour activer sélectivement lesdites unités d'échange élémentaires.

6. Système selon la revendication 5, caractérisé en ce que, un échangeur comportant une extrémité chaude et une extrémité froide, les moyens de regroupement permettent de former des groupes d'échangeurs, en tant qu'unité d'échange, les différentes extrémités chaudes desdits échangeurs d'un même
10 groupe étant connectées à un collecteur chaud et les extrémités froides de ces mêmes échangeurs étant connectées à un collecteur froid, les différents échangeurs dudit groupe étant en parallèle les uns des autres.

7. Système selon la revendication 6, caractérisé en ce que lesdits moyens de regroupement permettent de former des séries d'échangeurs en tant qu'unité
15 d'échange, une série d'échangeurs (S) comportant un nombre (nS) de groupes d'échangeurs (Gi), le collecteur froid d'un desdits groupes (Gi) d'une série étant connecté au collecteur chaud du groupe suivant (Gi+1) de ladite série, de sorte que lesdits groupes d'une même série d'échangeurs sont disposés en série entre un groupe initial (G1) et un groupe final (Gn).

20 8. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que lesdits moyens de regroupement comportent des premier et deuxième commutateurs, chaque commutateur ayant une canalisation principale et des canalisations secondaires, le collecteur chaud d'un groupe d'échangeurs étant connecté audit premier commutateur via une canalisation secondaire de celui-ci munie d'une vanne
25 d'arrêt, et le collecteur froid dudit groupe étant connecté audit deuxième commutateur via une canalisation secondaire de celui-ci munie d'une vanne d'arrêt, de sorte que les moyens de regroupement permettent de sélectionner arbitrairement, à un instant donné et en fonction de la position des vannes des premier et deuxième commutateurs, un premier groupe d'échangeurs (Gp) et un
30 dernier groupe d'échangeur (Gq), pour former entre ces derniers une sous-série d'échangeurs (S') utilisée en tant qu'unité d'échange.

9. Système selon la revendication 5 ou la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens d'activation comportent des moyens d'activation en injection aptes à former une boucle hydraulique d'injection comportant au moins une unité
35 d'échange pour l'injection d'énergie, et des moyens d'activation en extraction

aptes à former une boucle hydraulique d'extraction comportant au moins une unité d'échange pour l'extraction d'énergie ; en ce que lesdits moyens d'activation en injection comportent un branchement d'injection d'entrée et un branchement d'injection de sortie, chaque unité d'échange étant connectées par son extrémité 5 chaude audit branchement d'injection d'entrée et par son extrémité froide audit branchement d'injection de sortie pour former une liaison d'injection entre les branchements d'injection d'entrée et de sortie, les différentes unités d'échange étant alors en parallèle les unes des autres entre lesdits branchements d'injection d'entrée et de sortie, chaque liaison d'injection ainsi définie étant munie de 10 moyens de régulation de débit en injection, de sorte que le débit circulant dans ladite liaison d'injection considérée puisse être arbitrairement fixé lors d'une injection, et en ce que lesdits moyens d'activation en extraction comportent un branchement d'extraction d'entrée et un branchement d'extraction de sortie, lesdites unités d'échange étant respectivement connectées par leur extrémité 15 froide audit branchement d'extraction d'entrée et par leur extrémité chaude audit branchement d'extraction de sortie, pour former une liaison d'extraction entre les branchements d'extraction d'entrée et de sortie, les différentes unités d'échange étant alors en parallèle les unes des autres entre lesdits branchements d'extraction d'entrée et de sortie, chaque liaison d'extraction ainsi définie étant 20 munie de moyens de régulation de débit en extraction, de sorte que le débit circulant dans ladite liaison d'extraction considérée puisse être arbitrairement fixé lors d'une extraction.

10. Système selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'un capteur de pression différentielle est connecté entre lesdits branchements d'entrée et de 25 sortie, qu'une canalisation d'alimentation du branchement d'entrée comporte une pompe régulée en pression différentielle selon la mesure effectuée par ledit capteur, de sorte que le débit dans n'importe laquelle des liaisons en parallèle entre les branchements d'entrée et de sortie peut être régulé individuellement.

11. Système selon l'une des revendications 5 à 10, caractérisé en ce qu'il est 30 muni de moyens de pompage comportant des pompes aptes à faire circuler le fluide caloporteur dans une boucle d'injection comportant au moins une unité d'échange fonctionnant en injection d'énergie et une boucle d'extraction comportant au moins une unité d'échange fonctionnant en extraction d'énergie, et des moyens de connexion permettant au moins une connexion parmi :

la connexion d'une boucle de circulation dans la source avec la boucle d'injection ;

la connexion de la boucle de circulation dans le consommateur avec la boucle d'extraction ;

- 5 la connexion de la boucle de circulation dans la source avec la boucle d'injection, et simultanément, la connexion de la boucle de circulation dans le consommateur avec la boucle d'extraction ;

la connexion de la boucle d'extraction avec la boucle d'injection ;

- 10 la connexion de la boucle de circulation dans la source avec la boucle de circulation dans le consommateur ;

la connexion de la boucle d'extraction avec la boucle d'injection, et simultanément, la connexion de la boucle de circulation dans la source avec la boucle de circulation dans le consommateur.

12. Système selon la revendication 11, caractérisé en ce que lesdits moyens de connexion permettent en outre :

- la connexion d'une boucle de circulation dans le consommateur avec une boucle d'extraction et la boucle de circulation dans la source ; et,

- la connexion d'une boucle de circulation dans la source avec une boucle d'injection et la boucle de circulation dans le consommateur.

- 20 13. Système selon la revendication 11 ou la revendication 12, caractérisé en ce que lesdits moyens de connexion comportent :

- une première bouteille casse-pression, connectée à un vase d'expansion formant le point neutre dudit système hydraulique, ladite première bouteille casse-pression étant connectée à ladite boucle d'extraction d'une part et à ladite boucle de circulation dans le consommateur d'autre part ;

- une première paire de vannes d'arrêt dont l'état permet de connecter ladite boucle de circulation dans la source à ladite première bouteille casse-pression ;

- une deuxième paire de vannes d'arrêt dont l'état permet de connecter la boucle d'injection à ladite première bouteille casse-pression.

- 30 14. Système selon la revendication 13, caractérisé en ce que lesdits moyens de connexion comportent en outre :

- une deuxième bouteille casse-pression connectée audit vase d'expansion formant le point neutre dudit système hydraulique ;

- 35 l'état de ladite première paire de vannes, de connecter ladite boucle de circulation

dans la source à ladite deuxième bouteille casse-pression, la boucle en extraction étant connectée à ladite première bouteille casse-pression ;

- une quatrième paire de vannes d'arrêt dont l'état permet, en relation avec l'état de la deuxième paire de vannes, de connecter ladite boucle d'injection à ladite deuxième bouteille casse-pression, la boucle de circulation dans le consommateur étant connectée à ladite première bouteille casse-pression.

5
10 15. Système selon l'une des revendications 5 à 14, caractérisé en ce que, lesdits moyens d'activation, de connexion, et de pompage étant actionnables automatiquement, le système comporte une unité de calcul apte à recevoir les signaux de mesure émis par les différents capteurs et à émettre un signal de commande vers lesdits moyens d'activation, de connexion, et de pompage, ladite unité de calcul exécutant les instructions d'un programme stocké dans des moyens de mémorisation de ladite unité de calcul pour mettre en œuvre un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4.

15 16. Système de stockage d'énergie calorifique dans le sol, caractérisé en ce qu'il comporte un système hydronique selon l'une des revendications 5 à 15 et une unité de stockage d'énergie comportant au moins dix échangeurs.

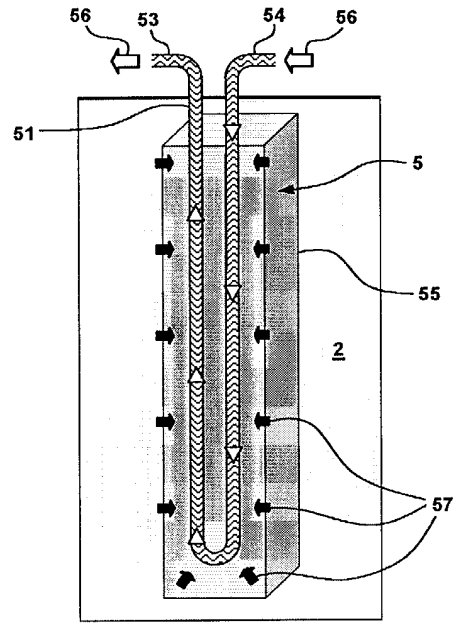


Fig. 1

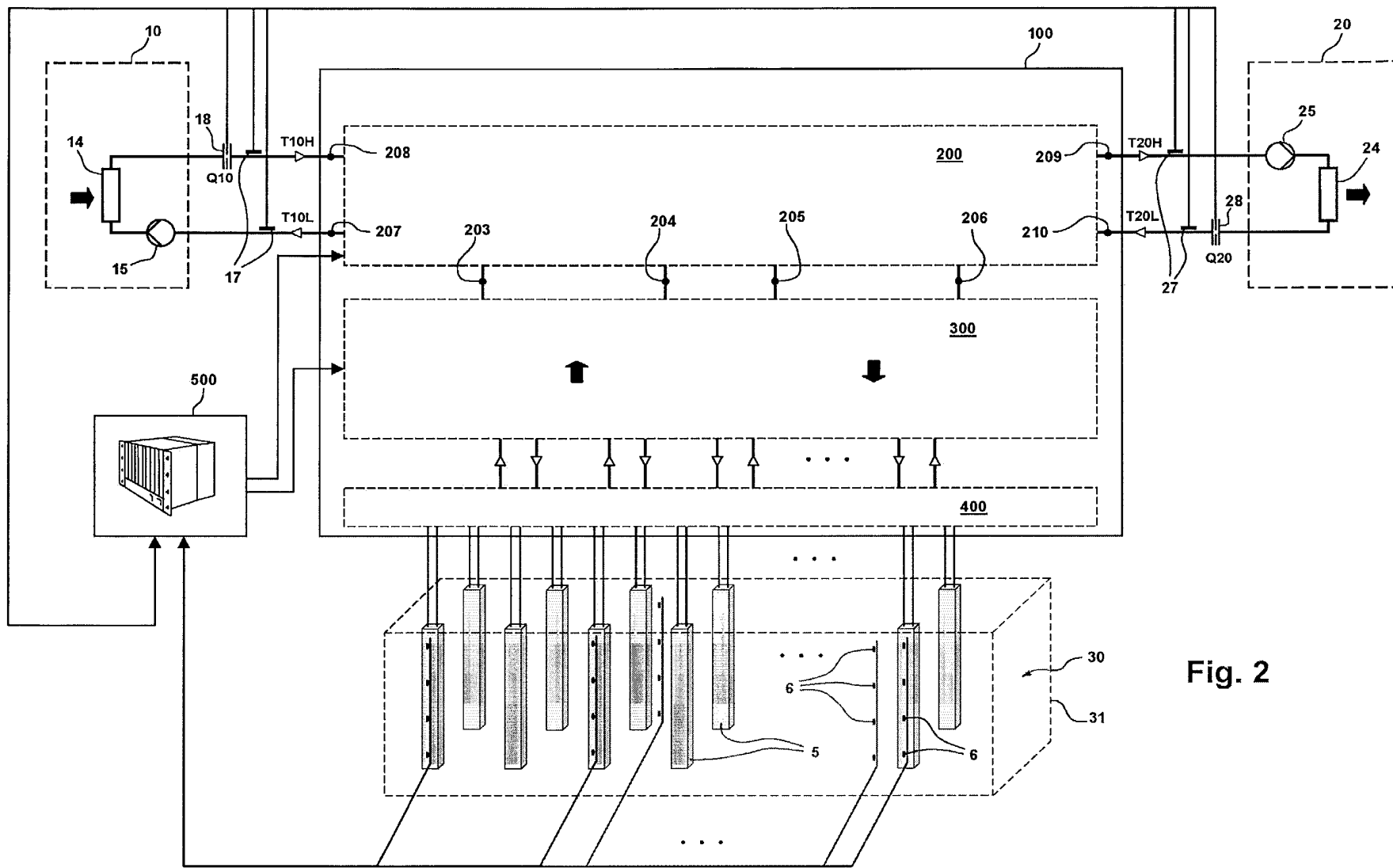


Fig. 2

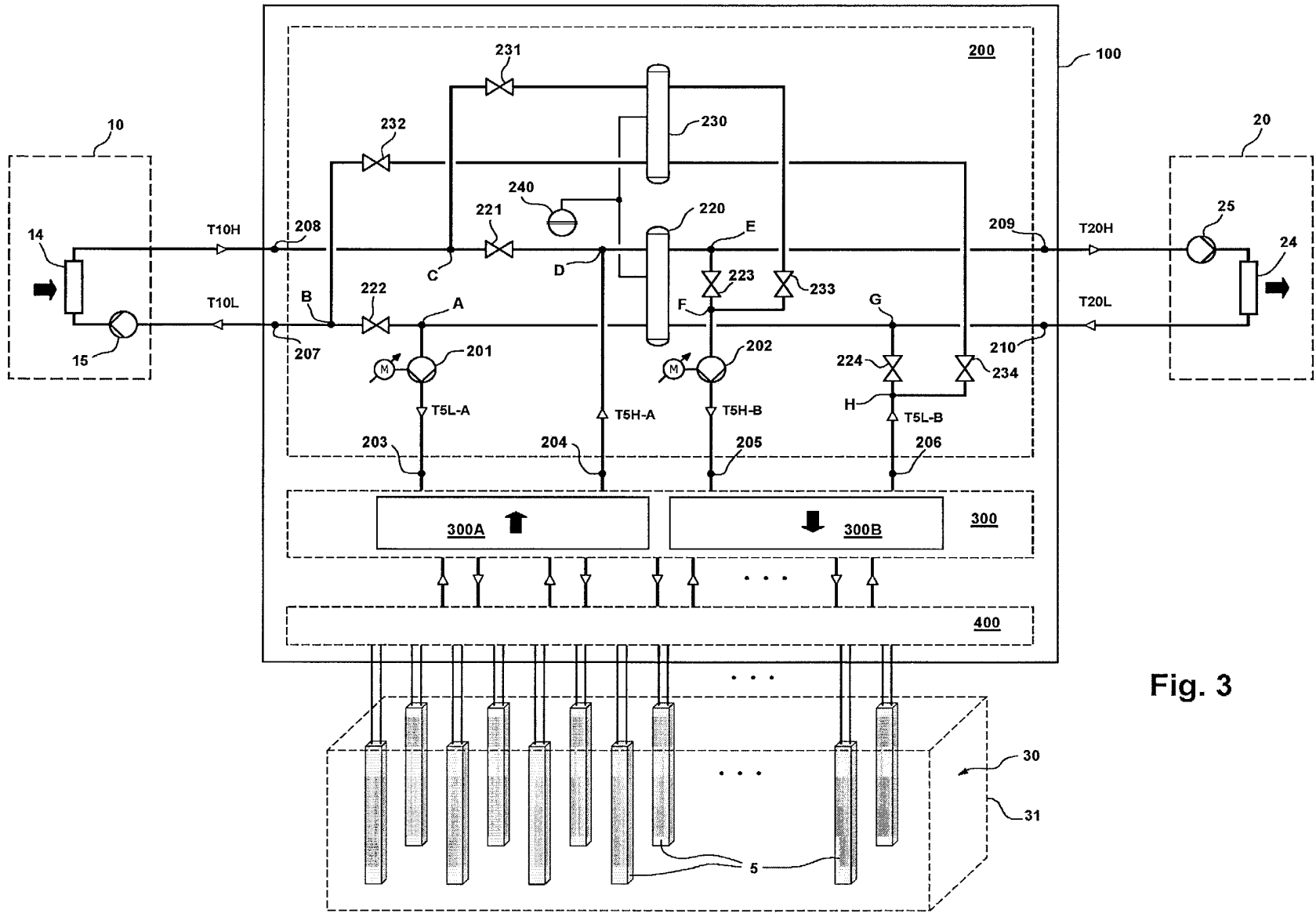


Fig. 3

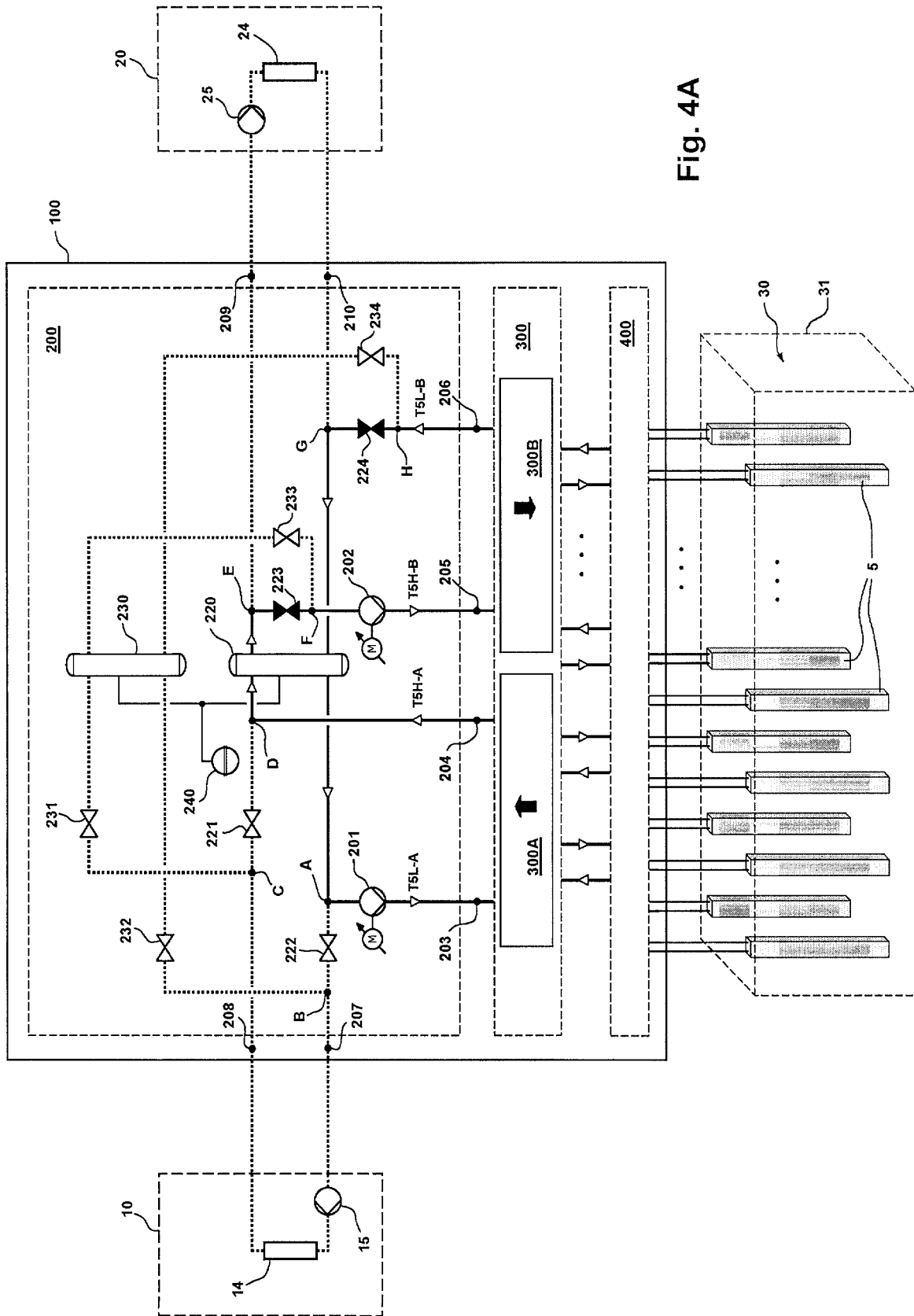


Fig. 4A

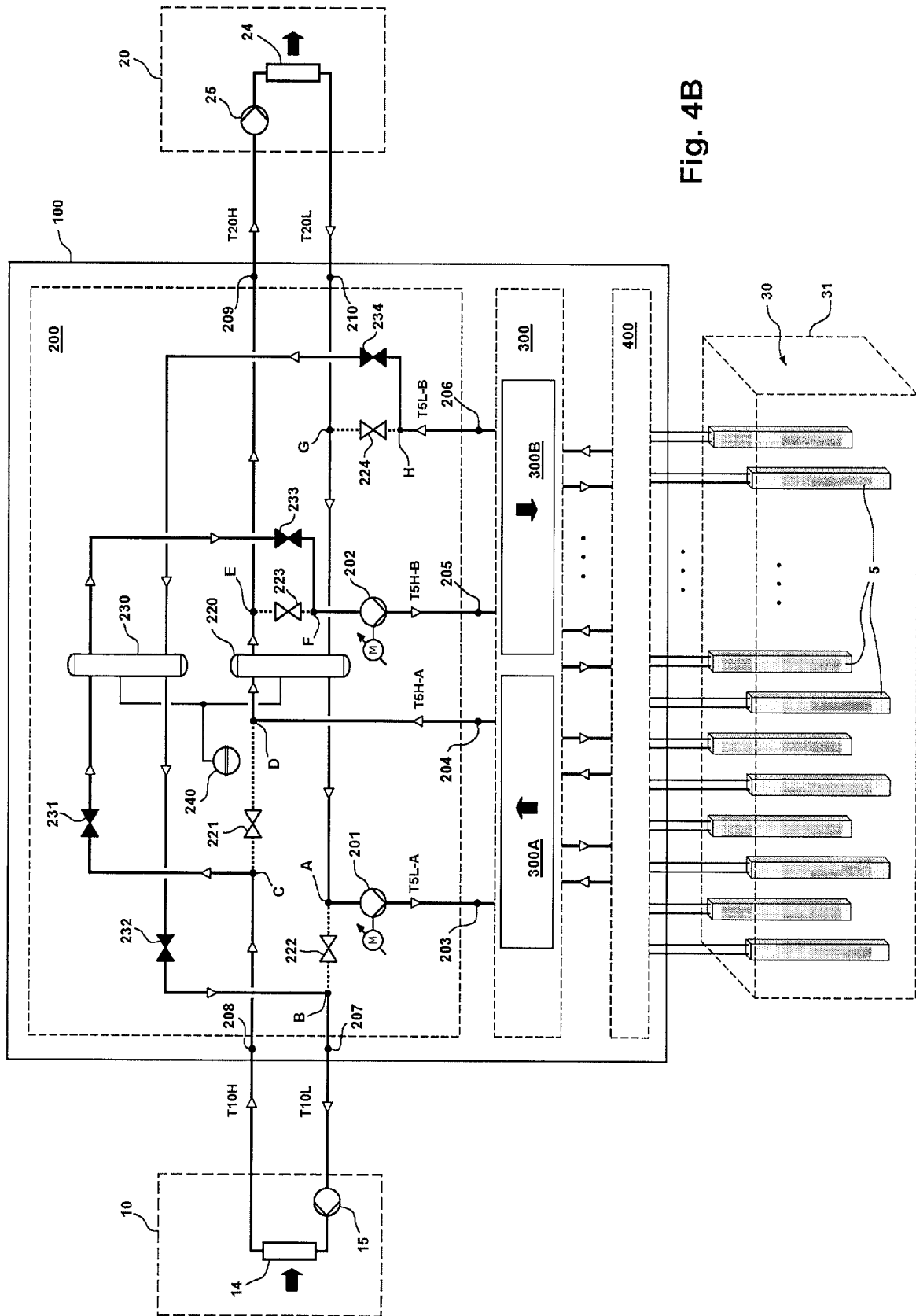


Fig. 4B

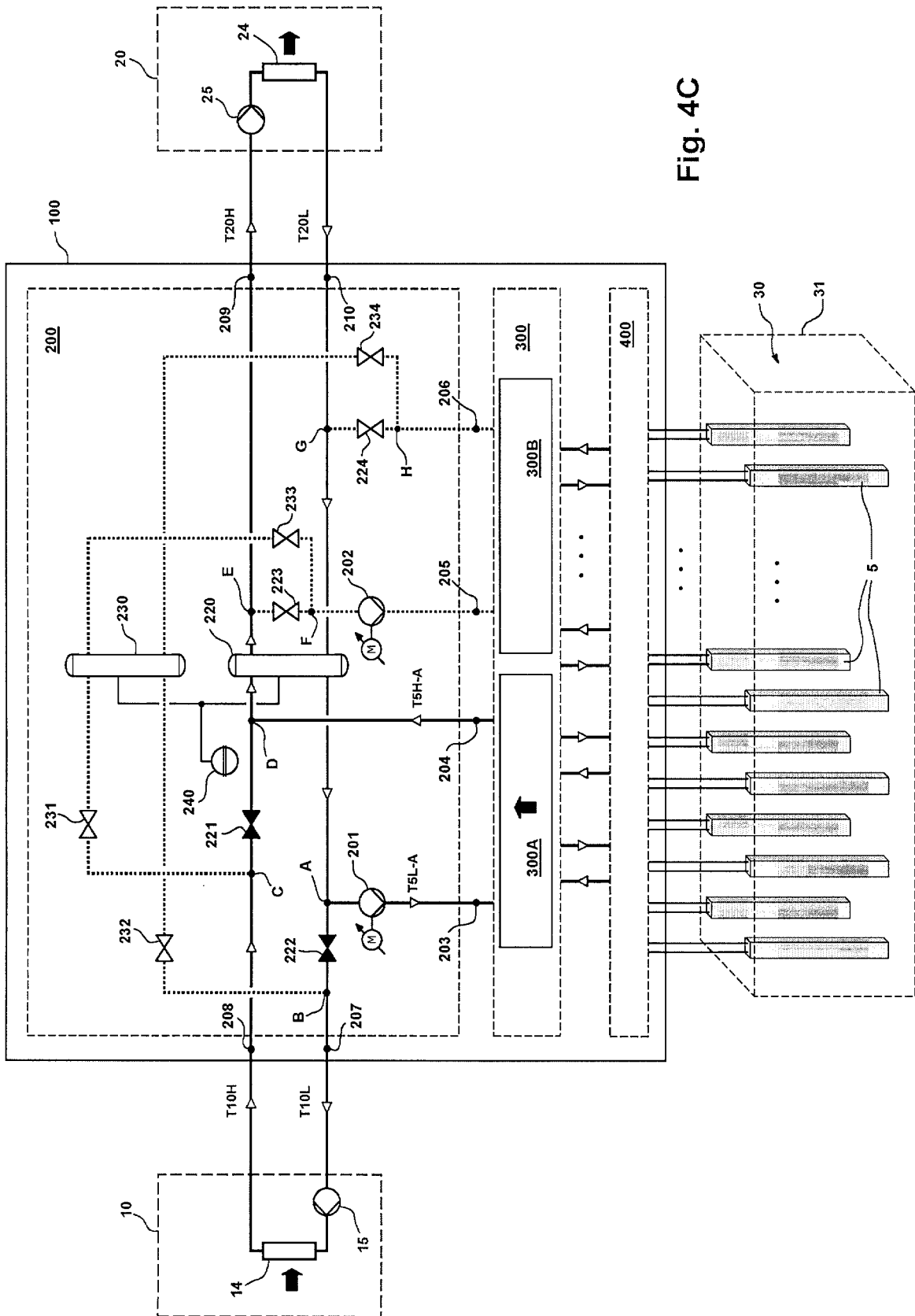


Fig. 4C

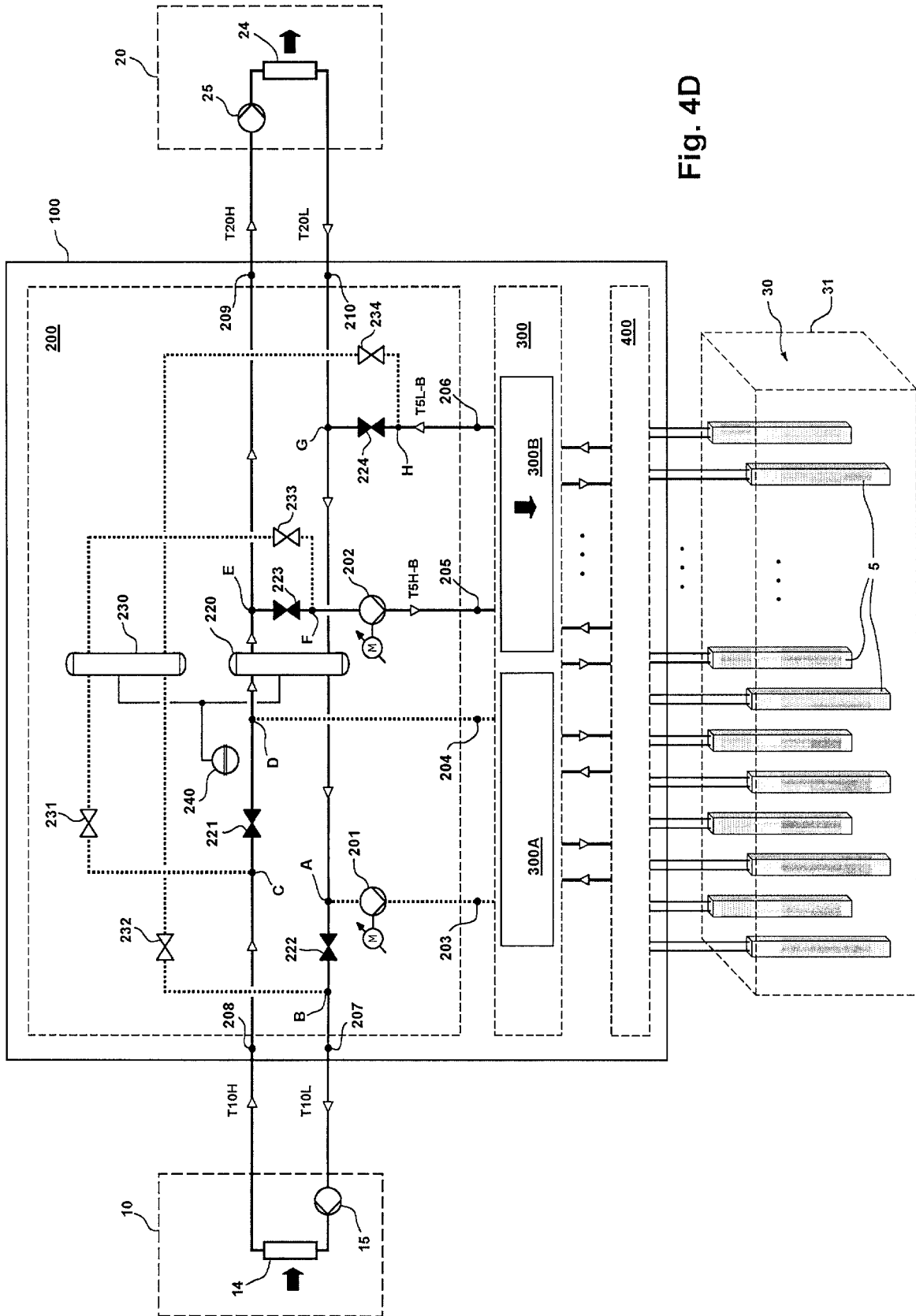


Fig. 4D

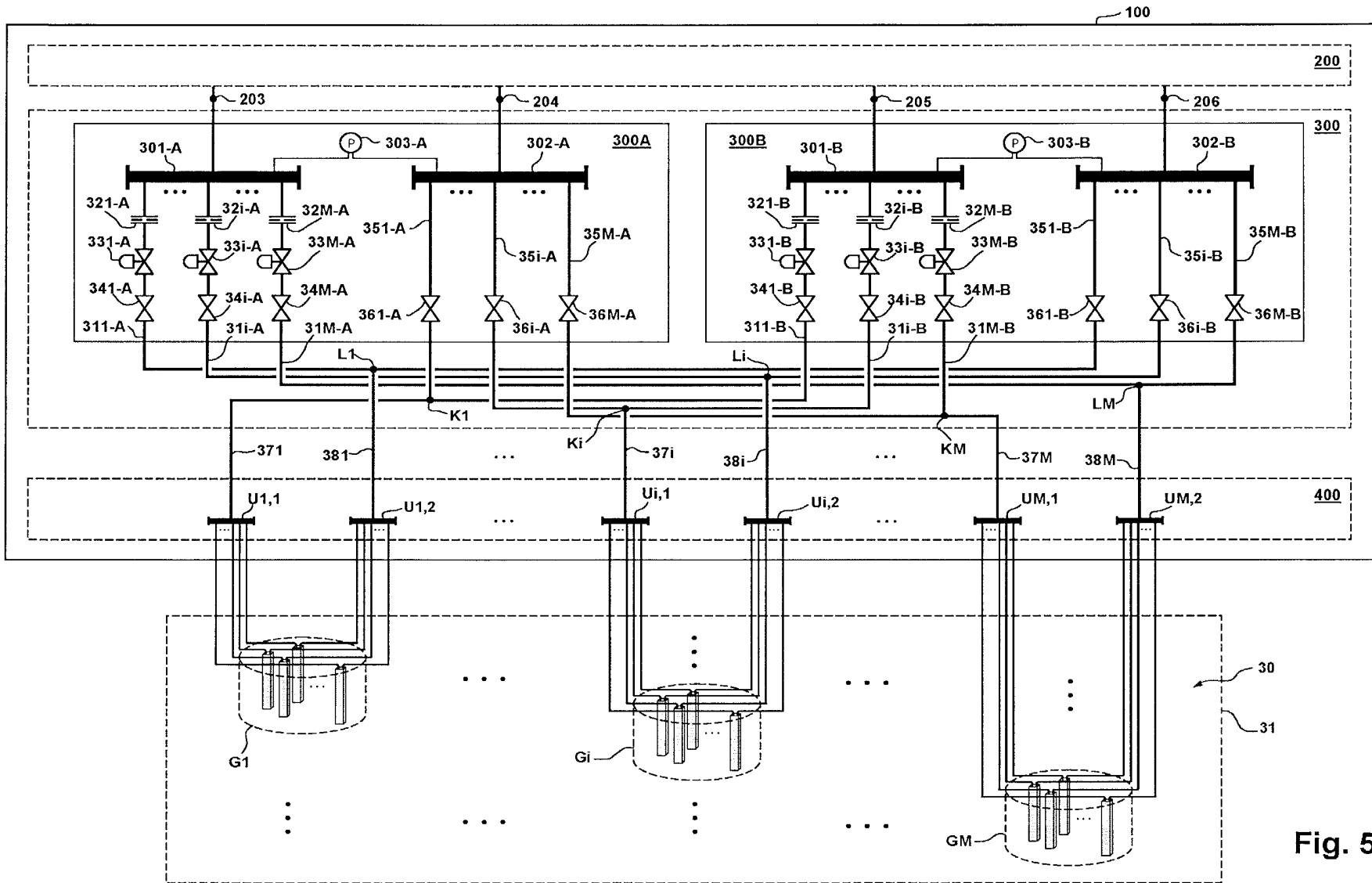


Fig. 5

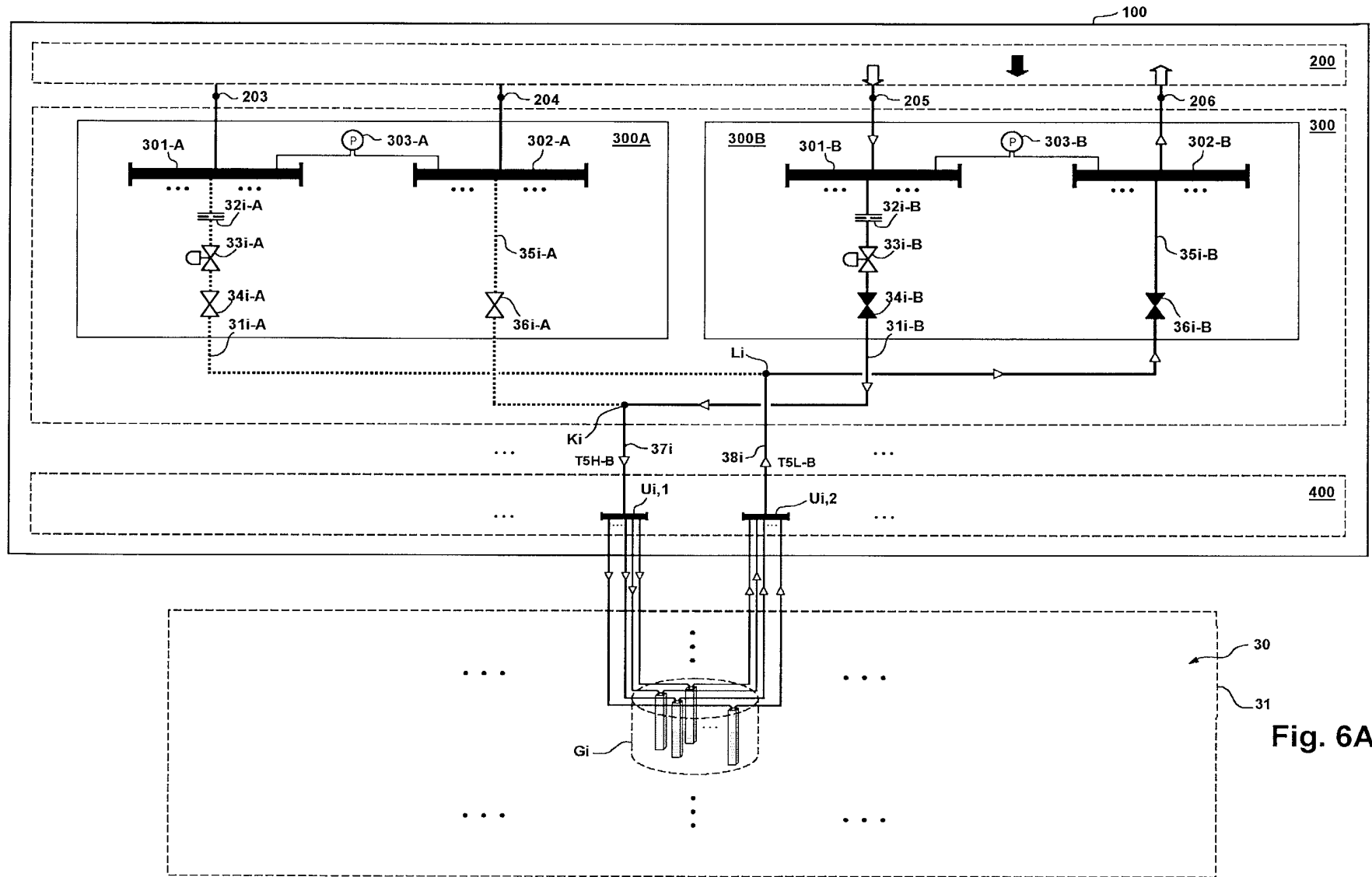
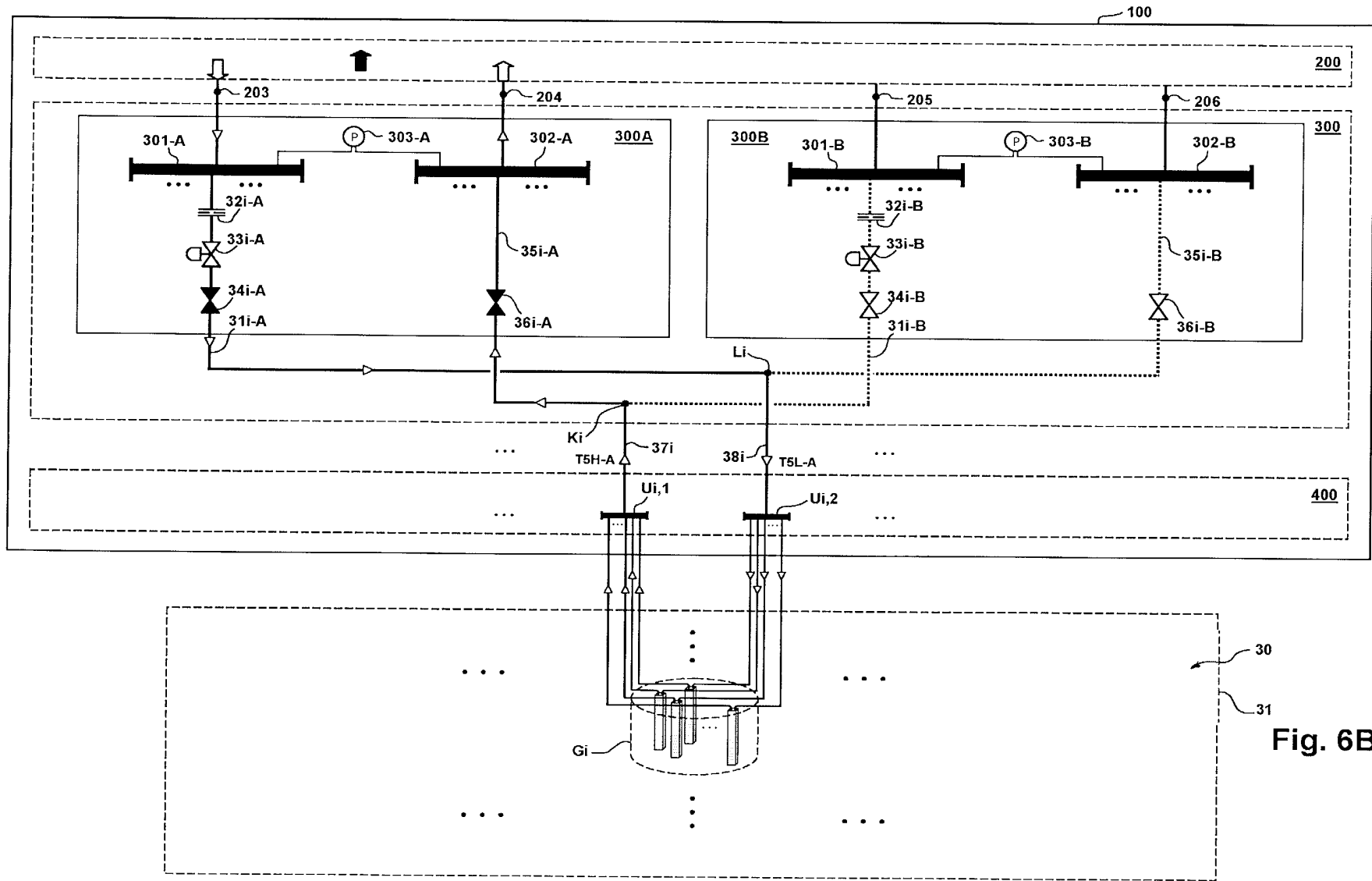
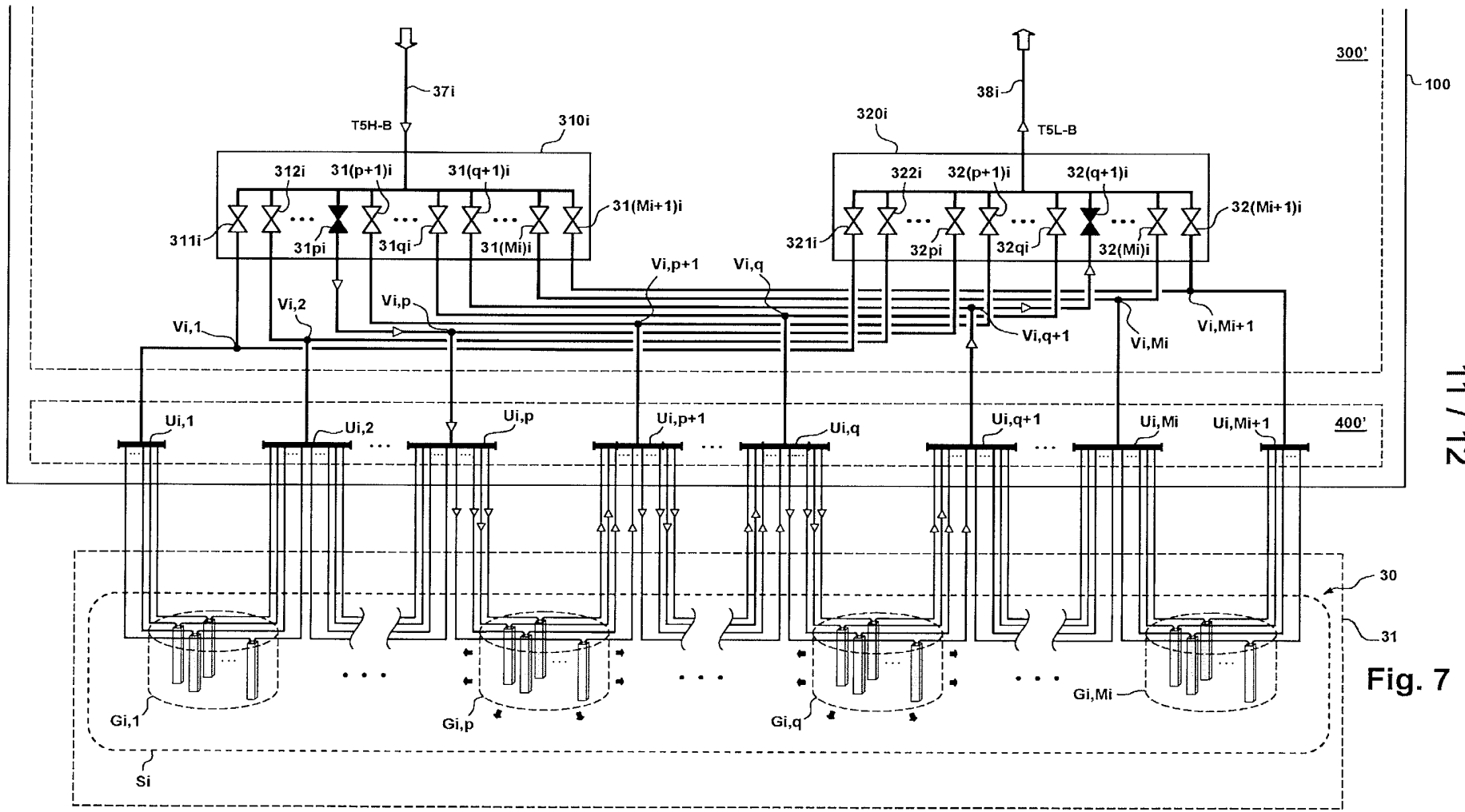


Fig. 6A



10 / 12

Fig. 6B



11 / 12

Fig. 7

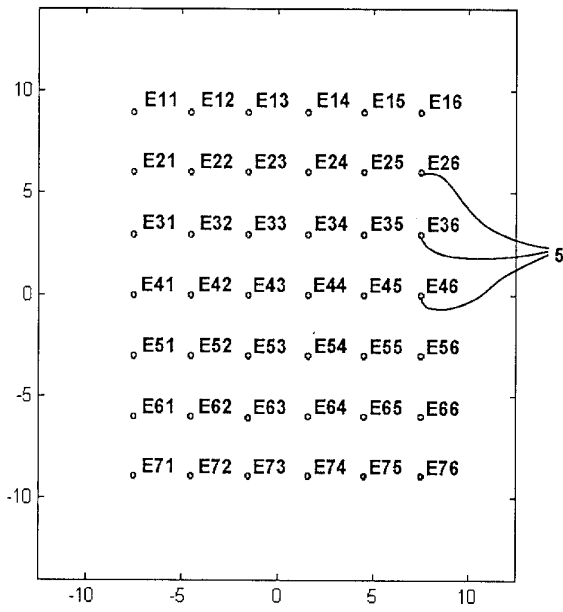


Fig. 8A

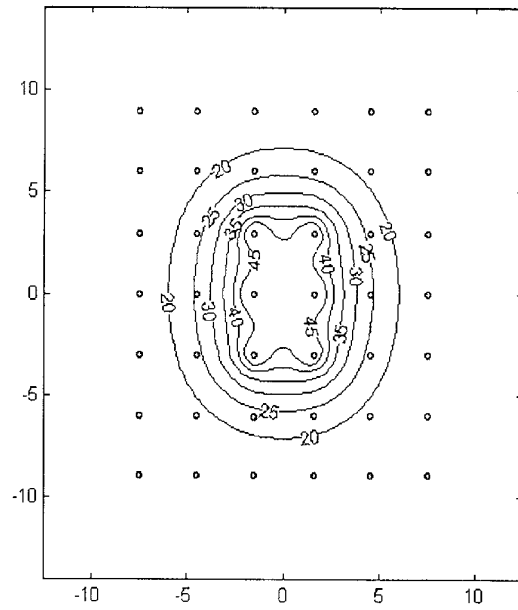


Fig. 8B

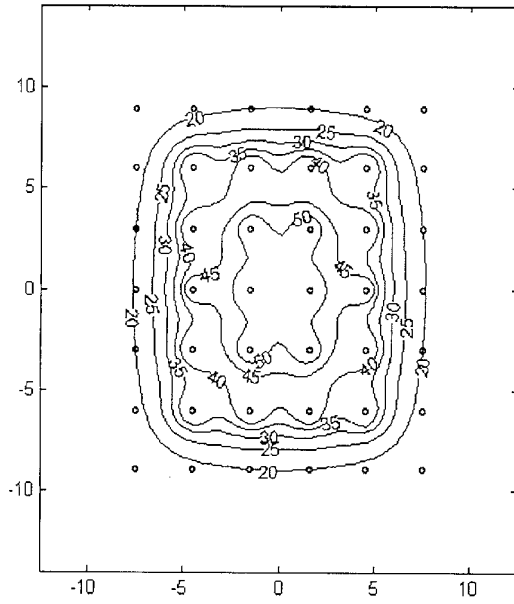


Fig. 8C

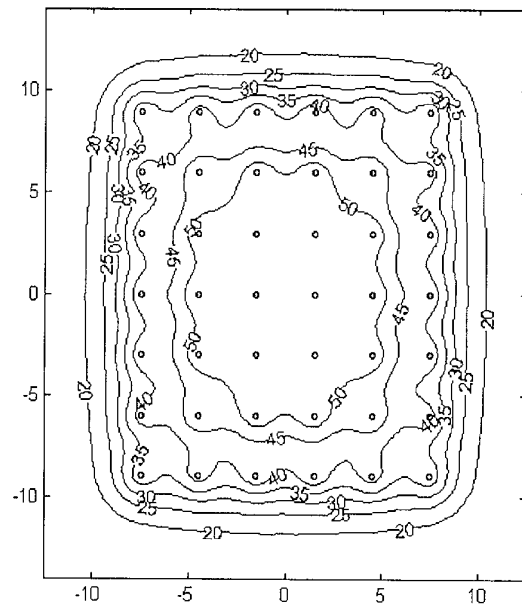


Fig. 8D



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 671913
FR 0553427

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		
A	US 2005/006049 A1 (ROSS MARK G [US]) 13 janvier 2005 (2005-01-13) * alinéa [0014] - alinéa [0024]; figures 1,2 *	1,5	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) F24D F28D
A	DE 101 14 257 A1 (KLEMM PETER [DE]; LOHRMANN NORBERT [DE]; UTZ HEINZ-PETER [DE]) 26 septembre 2002 (2002-09-26) * alinéa [0016] - alinéa [0026]; figure 1 *	1,5	
A	US 4 392 531 A (IPPOLITO JOE J [US]) 12 juillet 1983 (1983-07-12) * abrégé *	1,5	
A	DE 42 11 576 A1 (POEHLMANN ANWENDUNGSTECHNIK GM [DE]) 7 janvier 1993 (1993-01-07) * le document en entier *	1,5	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
2 octobre 2006		Arndt, Markus	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0553427 FA 671913**

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 02-10-2006

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
US 2005006049	A1	13-01-2005	AUCUN	

DE 10114257	A1	26-09-2002	AUCUN	

US 4392531	A	12-07-1983	EP 0090860 A1	12-10-1983
			WO 8301272 A1	14-04-1983

DE 4211576	A1	07-01-1993	AUCUN	
