

(12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 41361 B1** (51) Cl. internationale : **F28D 21/00; F28D 20/00**

(43) Date de publication :
30.06.2021

(21) N° Dépôt :
41361

(22) Date de Dépôt :
18.12.2015

(30) Données de Priorité :
19.12.2014 NO 20141546

(86) Données relatives à la demande internationale selon le PCT:
PCT/NO2015/050252 18.12.2015

(71) Demandeur(s) :
ENERGYNEST AS, Olav Brunborgsvei 6 1396 Billingstad (NO)

(72) Inventeur(s) :
GREINER, Christopher ; BERGAN, Pål G. ; HØIVIK, Nils

(74) Mandataire :
SABA & CO., TMP

(86) N° de dépôt auprès de l'organisme de validation: EP15870420.5

(54) Titre : **SYSTÈME D'ACCUMULATION D'ÉNERGIE THERMIQUE À HAUTE TEMPÉRATURE, PROCÉDÉ DE CONSTRUCTION ET PROCÉDÉ D'EXPLOITATION DUDIT SYSTÈME D'ACCUMULATION**

(57) Abrégé : La présente invention concerne un système d'accumulation d'énergie thermique à haute température, caractérisé en ce que le système d'accumulation comprend : une fondation isolée thermiquement, au moins une cassette autoportante disposée sur ladite fondation, laquelle cassette consiste en un bâti autoportant ou en une structure autoportante contenant un certain nombre d'éléments d'accumulation d'énergie thermique en béton, certains ou la totalité desdits éléments comprenant des échangeurs de chaleur incorporés, un système de canalisation, le système de canalisation comprenant une entrée et une sortie servant respectivement d'entrée thermique vers le système d'accumulation et de sortie thermique à partir de ce dernier, et des liaisons avec lesdits échangeurs de chaleur permettant de faire circuler un fluide à travers lesdits échangeurs de chaleur de sorte que l'énergie thermique pénètre dans lesdits éléments d'accumulation d'énergie thermique ou sorte à partir de ceux-ci, et un isolant thermique agencé autour et au-dessus de ladite cassette autoportante à éléments d'accumulation thermique en béton. L'invention

concerne également un procédé de construction et des procédés d'exploitation du système d'accumulation.

REVENDICATIONS

1. Procédé de construction d'une unité de stockage d'énergie thermique à haute température, dans lequel le procédé comprend les étapes consistant à :
- 5 construire une fondation isolée thermiquement pour l'unité de stockage, construire au moins une cassette autoportée contenant un certain nombre d'éléments de stockage d'énergie thermique en béton, laquelle cassette est une ossature ou structure autoportante par rapport au transport et à l'installation, en construisant ladite ossature ou structure,
- 10 en construisant un certain nombre d'éléments de stockage d'énergie thermique en béton individuels, certains ou tous lesdits éléments comprenant des échangeurs de chaleur noyés dans ledit béton, et en agencant lesdits éléments dans ladite ossature ou structure, agencer et/ou construire la au moins une cassette sur ladite fondation,
- 15 construire et connecter de manière opérationnelle un système de canalisation, le système de canalisation comprenant une entrée vers et une sortie depuis l'unité de stockage, respectivement, et des connexions aux échangeurs de chaleur pour faire circuler un fluide à travers lesdits échangeurs de chaleur pour l'entrée ou la sortie d'énergie thermique à partir desdits éléments de
- 20 stockage d'énergie thermique, et agencer une isolation thermique autour et au-dessus des cassettes autoportantes contenant des éléments de stockage d'énergie thermique en béton.
2. Procédé selon la revendication 1, comprenant une ou plusieurs des étapes
- 25 consistant à :
- empiler un certain nombre de cassettes verticalement sur la fondation, en construisant une ou plusieurs piles de cassettes agencées en une ou plusieurs rangées de piles ;
- agencer la pile ou les piles de cassettes de manière à ce que les éléments
- 30 de stockage d'énergie thermique en béton soient orientés horizontalement ;

agencer des cassettes avec des éléments de stockage d'énergie thermique en béton se tenant verticalement sur la fondation, ce qui est particulièrement réalisable avec du gaz comme fluide caloporteur, et comprenant de préférence l'étape de construction desdites cassettes avec lesdits éléments se tenant
5 verticalement sur la fondation,

agencer le système de canalisation sur un premier côté de la cassette ou de la pile de cassettes ;

connecter les cassettes verticales en série via des tuyaux qui se connectent aux échangeurs de chaleur dans les cassettes ;

10 agencer le système de canalisation de sorte que plusieurs piles de cassettes soient couplées en parallèle ;

agencer le système de canalisation et les cassettes ou piles de cassettes en blocs, de sorte que chaque bloc puisse être isolé du reste de l'unité de stockage en actionnant des vannes du système de canalisation ;

15 empiler et disposer de cassettes conditionnées de manière à minimiser le rapport entre l'aire de surface extérieure et le volume, pour obtenir un volume conditionné serré de l'unité de stockage avec un faible encombrement,

agencer les cassettes de manière à ce que les éléments de stockage d'énergie thermique en béton soient orientés horizontalement et à ce que le système de canalisation soit disposé sur un premier côté des cassettes dans une
20 rangée de cassettes, faisant face à un premier côté de l'unité de stockage,

combiner une enveloppe métallique extérieure de l'élément de stockage d'énergie thermique en béton et l'ossature de cassette en une seule structure fonctionnant comme un moule pour couler du béton, une armature pour le béton,
25 un capteur de fuite de fluide caloporteur et la structure de cassette modulaire autoportante,

agencer ou construire un échangeur de chaleur pour une cassette ou un élément de stockage d'énergie thermique en béton sous la forme d'une structure unique.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'étape de construction d'au moins une cassette autoportée comprend les étapes consistant à :
- construire une ossature,
 - agencer des enveloppes métalliques extérieures d'éléments de stockage
- 5 d'énergie thermique dans l'ossature, les enveloppes métalliques extérieures des éléments de stockage d'énergie thermique étant un moule de coulée combiné, de renforcement et de confinement de fluide pour une entrée ou une sortie d'énergie thermique en cas de fuite de fluide ;
- agencer des échangeurs de chaleur et des dispositifs de chauffage
- 10 électriques facultatifs dans lesdites enveloppes métalliques ;
- avec lesdites enveloppes métalliques extérieures orientées dans une position verticale debout et avec une extrémité supérieure ouverte, verser du coulis ou du mélange de béton jusqu'à un niveau prescrit, niveau auquel les extrémités ou les connexions desdits échangeurs de chaleur s'étendent sur le
- 15 dessus des éléments en position debout verticale ;
- durcir le coulis ou le béton, et
 - manipuler et transporter la cassette, en plaçant la cassette dans sa position et son orientation prévues dans l'unité de stockage,
 - dans lequel l'ossature est utilisée non seulement comme un accessoire
- 20 pour couler et durcir les éléments de stockage d'énergie thermique en béton, et une structure pour faciliter la manutention et le transport desdits éléments, mais également comme structure autoportante pour l'unité de stockage elle-même et les piles de cassettes dans l'unité stockage.
- 25 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant une ou plusieurs des étapes consistant à :
- construire des éléments de stockage d'énergie thermique en béton allongés et des ossatures de cassette allongées, et orienter les éléments et la cassette horizontalement lors de l'agencement des cassettes avec des éléments dans
- 30 l'unité de stockage,

- agencer le système de canalisation pour l'entrée et la sortie d'énergie thermique de sorte que l'entrée et la sortie vers l'unité de stockage puissent être modifiées de manière réversible et de sorte qu'au moins une entrée ou une sortie soit agencée à une hauteur élevée de l'unité de stockage et qu'au moins une
- 5 entrée ou une sortie soit agencée à une faible hauteur de l'unité de stockage, et agencer les connexions et/ou vannes par rapport aux échangeurs de chaleur des éléments d'énergie thermique de sorte que du fluide puisse circuler à travers lesdits échangeurs de chaleur progressivement ou par étapes verticalement vers le haut ou vers le bas ou sur le côté horizontalement ;
- 10 agencer les cassettes en piles ou blocs avec plusieurs piles de cassettes, avec le système de canalisation de sorte que le système de canalisation ne soit agencé que sur un côté de ladite pile ou dudit bloc d'éléments, de préférence faisant face à une paroi de l'unité de stockage,
- agencer des cassettes ou une structure autoportante(s) avec des pièces de
- 15 couplage pour des éléments de toit et/ou de paroi, et des éléments de toit et/ou de paroi isolés thermiquement comprenant des pièces de couplage s'appariant aux pièces de couplage de cassette ou de structure, agencer et coupler lesdits éléments sous la forme de toit et murs isolés thermiquement, respectivement.
- 20 5. Procédé selon la revendication 1, comprenant une ou plusieurs des étapes consistant à :
- agencer les éléments de stockage d'énergie thermique en béton en piles dans une ossature comprenant deux parois latérales opposées et un plancher mais pas de toit, les éléments reposant sur des éléments en-dessous tels qu'ils
- 25 sont contenus orientés horizontalement à l'intérieur des parois latérales, en fournissant ainsi des cassettes qui sont ouvertes vers le haut mais qui peuvent facilement être empilées les unes sur les autres,
- agencer les éléments en piles, avec des inserts, des supports, des cales ou des objets similaires entre les éléments, dans des positions régulières ou
- 30 irrégulières sur la longueur des éléments, en prévoyant une distance entre les

éléments, lesdits inserts, supports, cales ou objets similaires entre les éléments comprenant des pièces de couplage constituant une structure de cassette autoportante empilée et couplée,

agencer les éléments en piles, avec des pièces de système de support entre
5 les éléments, les pièces de système de support comprenant des pièces de couplage et sont agencées dans des positions régulières ou irrégulières sur la longueur des éléments, en fournissant une distance entre les éléments, les pièces de système de support étant couplées fournissent une structure autoportante comprenant des ouvertures pour des éléments, les ouvertures ayant une forme
10 hexagonale, une forme carrée, une forme rectangulaire, une forme ronde, une forme elliptique, une forme triangulaire ou une autre forme dans laquelle les éléments s'ajustent,

agencer les éléments en piles, avec des couches de système de support entre les éléments, les couches de système de support comprenant des pièces de
15 couplage dans des positions régulières ou irrégulières sur la longueur des éléments, en prévoyant une distance entre les éléments, les couches de système de support étant couplées fournissent une structure autoportante comprenant les couches du système de support assemblées ou couplées et empilées, fournissant un système de support avec des ouvertures pour des éléments, les ouvertures
20 ayant une forme hexagonale, une forme carrée, une forme rectangulaire, une forme ronde, une forme elliptique, une forme triangulaire ou une autre forme dans laquelle les éléments s'ajustent,

verser un milieu de transfert et de stockage de chaleur actif sous la forme d'un matériau à changement de phase, dans le volume entre les éléments et un
25 boîtier de stockage, ou

verser un milieu de transfert et de stockage de chaleur actif sous la forme d'un liquide stagnant, dans le volume entre les éléments et un boîtier de stockage, ou

verser un milieu de transfert et de stockage de chaleur actif sous la forme
30 d'un fluide dynamique, dans le volume entre les éléments et un boîtier de

stockage, de sorte que le fluide dynamique puisse s'écouler entre les éléments et les cassettes d'une entrée vers le boîtier jusqu'à une sortie depuis le boîtier.

6. Unité de stockage d'énergie thermique à haute température comprenant :
- 5 une fondation isolée thermiquement,
au moins une cassette autoportée agencée sur ladite fondation contenant un certain nombre d'éléments de stockage d'énergie thermique en béton, certains ou la totalité desdits éléments comprenant des échangeurs de chaleur noyés dans le béton desdits éléments de stockage d'énergie thermique en béton,
- 10 un système de canalisation, le système de canalisation comprenant une entrée et une sortie pour une entrée thermique vers et une sortie depuis l'unité de stockage, respectivement, et des connexions auxdits échangeurs de chaleur pour faire circuler du fluide à travers lesdits échangeurs de chaleur pour une entrée ou une sortie d'énergie thermique vers et depuis les éléments de stockage
- 15 d'énergie thermique, et
une isolation thermique autour et au-dessus de la au moins une cassette autoportée avec des éléments de stockage d'énergie thermique en béton ; caractérisée en ce que ladite au moins une cassette est une ossature ou une structure autoportante par rapport au transport et à l'installation.
- 20
7. Unité de stockage d'énergie thermique à haute température selon la revendication 6, comprenant une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :
- une ou plusieurs piles verticales de cassettes ;
des piles de cassettes agencées de manière à ce que les éléments de
- 25 stockage d'énergie thermique en béton soient orientés horizontalement ;
des cassettes agencées avec des éléments de stockage thermique en béton en position debout verticalement sur la fondation, ce qui est particulièrement réalisable avec du gaz en tant que fluide caloporteur,
un système de canalisation sur un côté de la cassette ou de la pile de
- 30 cassettes ;

un système de tuyaux agencé de telle sorte que plusieurs piles de cassettes sont couplées en parallèle ;

un système de canalisation et des cassettes ou des piles de cassettes agencées en blocs, de sorte que chaque bloc puisse être isolé ou contourné, un
5 après l'autre ou par étapes, par rapport au reste de l'unité de stockage en actionnant de vannes du système de canalisation,

un système de canalisation agencé de telle sorte que des éléments thermiques individuels et des cassettes individuelles peuvent être isolés ou contournés, l'un après l'autre ou par étapes, par rapport au reste de l'unité de
10 stockage, en actionnant des vannes du système de canalisation,

une pile ou des piles de cassettes empilées et agencées de manière serrée de telle sorte qu'un rapport entre l'aire de surface extérieure d'unité de stockage et le volume est minimisé, obtenant un faible encombrement et une faible perte de chaleur de l'unité de stockage,

15 les cassettes agencées de sorte que les éléments de stockage d'énergie thermique en béton soient orientés horizontalement et avec le système de canalisation disposé agencé sur un premier côté dans une rangée de cassettes empilées, faisant face à un côté de l'unité de stockage,

une enveloppe métallique extérieure combinée de l'élément de stockage
20 d'énergie thermique en béton et de l'ossature de cassette sous la forme d'une structure unique fonctionnant comme un moule pour couler du béton, une armature pour le béton, un capteur de fuite de fluide caloporteur et la structure de cassette modulaire,

un échangeur de chaleur pour une cassette ou un élément de stockage
25 d'énergie thermique en béton sous la forme d'une structure unique.

8. Stockage d'énergie thermique à haute température selon la revendication 6 ou 7, comprenant des éléments de stockage d'énergie thermique comprenant

une enveloppe métallique extérieure,

30 un échangeur de chaleur tubulaire intégré,

8

du béton ou coulis durci à l'intérieur de l'enveloppe, avec des extrémités ou des connexions d'échangeurs de chaleur s'étendant à l'extérieur du béton,

5 dans lequel l'enveloppe extérieure est un moule de coulée combiné, de renforcement et de confinement de fluide pour une entrée ou une sortie d'énergie thermique en cas de fuite d'échangeur de chaleur intégré.

9. Unité de stockage d'énergie thermique à haute température selon la revendication 6 à 8, comprenant un système de canalisation pour l'entrée et la sortie d'énergie thermique agencé de manière à ce que l'entrée et la sortie de
10 l'unité de stockage puissent être modifiées de manière réversible et de manière à ce qu'au moins une entrée ou une sortie soit agencée à une hauteur élevée de l'unité de stockage et à ce qu'au moins une entrée ou une sortie soit agencée à une faible hauteur de l'unité de stockage, et des connexions ou des vannes vers un ou plusieurs groupes d'échangeurs de chaleur des éléments d'énergie
15 thermique agencées de manière à ce que du fluide puisse être mis en circulation à travers ledit échangeurs de chaleur progressivement ou par étapes vers le haut ou vers le bas.

10. Unité de stockage d'énergie thermique à haute température selon la revendication 6 à 9, comprenant un empilement de cassettes autoportées, les
20 cassettes comprenant une ossature ouverte à au moins une extrémité, contenant des éléments de stockage d'énergie thermique en béton conditionnés de manière serrée avec une enveloppe métallique extérieure et des échangeurs de chaleur tubulaires noyés dans le béton, lesdits éléments étant agencés dans une
25 orientation horizontale en des piles de cassettes verticales, dans lequel l'ossature n'est pas seulement un accessoire pour la coulée et le durcissement desdits éléments, et une structure pour faciliter la manutention et le transport, mais aussi comme une structure pour l'unité de stockage elle-même et les piles de cassettes dans l'unité de stockage.

30

11. Unité de stockage d'énergie thermique à haute température selon les revendications 6 à 10, comprenant des ossatures de cassette autoportante ou une structure avec des pièces de couplage pour des éléments de toit et/ou de paroi, et des éléments de toit et/ou de paroi isolés thermiquement comprenant des
- 5 pièces de couplage appartenant à l'ossature de cassette ou les pièces de couplage de structure, agencées et couplées respectivement sous forme de toit et de parois isolés thermiquement.
12. Unité de stockage d'énergie thermique à haute température selon les revendications 6 à 11, comprenant une ou plusieurs des caractéristiques
- 10 suivantes :
- au moins deux ossatures de support, constituées de parties d'ossature de support assemblées alignées verticalement, décalées ou inversées en miroir d'une couche à l'autre, les éléments de stockage d'énergie thermique ayant été

15 agencés dans et étant supportés par lesdites ossatures,

 - des cassettes comprenant une ossature comprenant deux parois latérales opposées et un plancher mais pas de toit, avec les éléments de stockage d'énergie thermique en béton empilés à l'intérieur, les éléments reposant sur les éléments en dessous tels qu'ils sont contenus orientés horizontalement dans les parois

20 latérales, en fournissant ainsi des cassettes qui sont ouvertes vers le haut mais peuvent facilement être empilées les unes sur les autres,

 - des piles, avec des inserts, supports, cales ou objets similaires entre les éléments, à des positions régulières ou irrégulières sur la longueur des éléments, fournissant une distance entre les éléments, lesdits inserts, supports, cales ou

25 objets similaires entre les éléments comprenant des pièces de couplage assurant une structure de cassette autoportante lorsqu'empilée et couplée,

 - des pièces de système de support entre les éléments, les pièces de système de support comprenant des pièces de couplage et sont agencées dans des positions régulières ou irrégulières sur la longueur des éléments, en fournissant

30 une distance entre les éléments, les pièces de système de support couplées

- fournissant une structure autoportante comprenant des ouvertures pour des éléments, les ouvertures ayant une forme hexagonale, une forme carrée, une forme rectangulaire, une forme ronde, une forme elliptique, une forme triangulaire ou une autre forme dans laquelle les éléments s'ajustent,
- 5 de couches de système de support entre les éléments, les couches de système de support comprenant des pièces de couplage dans des positions régulières ou irrégulières sur la longueur des éléments, en fournissant une distance entre les éléments, les couches de système de support couplées fournissant une structure autoportante comprenant les couches de système de
- 10 support assemblées ou couplées et empilées, fournissant un système de support avec des ouvertures pour des éléments, les ouvertures ayant une forme hexagonale, une forme carrée, une forme rectangulaire, une forme ronde, une forme elliptique, une forme triangulaire ou une autre forme dans laquelle les éléments s'insèrent,
- 15 un milieu de transfert et de stockage de chaleur actif sous la forme d'un matériau à changement de phase, dans le volume entre les éléments et un boîtier, ou
- un milieu de transfert et de stockage de chaleur actif sous la forme d'un liquide stagnant, dans le volume entre les éléments et un boîtier, ou
- 20 un milieu de transfert et de stockage de chaleur actif sous la forme d'un fluide dynamique, dans le volume entre les éléments et un boîtier, le fluide dynamique pouvant s'écouler d'une entrée vers le boîtier à une sortie depuis le boîtier.
- 25 13. Procédé de fonctionnement d'une unité de stockage d'énergie thermique à haute température selon l'une quelconque des revendications 6 à 12, caractérisé en ce que le procédé comprend les étapes consistant à :
- faire circuler du fluide caloporteur à une température supérieure à l'unité de stockage, pour une entrée d'énergie thermique vers l'unité de stockage, par
- 30 étapes ou progressivement d'une hauteur plus élevée à une hauteur moins élevée

dans l'unité de stockage, en faisant fonctionner le système de canalisation en conséquence, et

5 faire circuler du fluide caloporteur à une température inférieure à l'unité de stockage, pour une sortie d'énergie thermique depuis l'unité de stockage, par étapes ou progressivement d'une hauteur moins élevée à une hauteur plus élevée dans l'unité de stockage, en faisant fonctionner le système de canalisation en conséquence.

10 14. Procédé selon la revendication 13, dans lequel l'unité de stockage contient un matériau à changement de phase dans le volume entre les éléments de stockage d'énergie thermique en béton et le boîtier, et de l'eau est mise en circulation à travers des échangeurs de chaleur noyés dans lesdits éléments lorsque de l'énergie thermique est extraite de l'unité de stockage, de telle sorte que l'unité de stockage est actionnée dans des conditions telles que le matériau
15 à changement de phase se solidifie pendant que l'eau s'évapore, en utilisant ainsi la chaleur de solidification du matériau à changement de phase comme chaleur d'évaporation pour l'eau.

20 15. Procédé selon la revendication 13, pour faire fonctionner l'unité de stockage avec une huile thermique ou un autre liquide à phase unique en tant que fluide caloporteur, de telle sorte que

la circulation pour une entrée d'énergie thermique vers l'unité de stockage intervient via une entrée à une hauteur la plus élevée de l'unité de stockage, en dirigeant le fluide plus chaud vers les éléments les plus élevés ou les éléments
25 à une hauteur avec une température inférieure à celle du fluide plus chaud ; et

la circulation pour une sortie d'énergie thermique de l'unité de stockage intervient via une entrée à une hauteur la moins élevée de l'unité de stockage, en dirigeant le fluide le plus froid vers les éléments les moins élevés ou les éléments à une hauteur avec une température supérieure à celle du fluide plus
30 froid,

dans lequel ladite circulation intervient par pompage avec une pompe lorsqu'une huile thermique ou un autre liquide à phase unique est le fluide caloporteur mis en circulation.

- 5 16. Procédé de fonctionnement d'une unité de stockage d'énergie thermique à haute température selon l'une quelconque des revendications 6 à 12, pour faire fonctionner l'unité de stockage avec de l'eau/vapeur, du GPL ou un autre mélange liquide-gaz à deux phases en tant que fluide caloporteur, avec des éléments de stockage d'énergie thermique en béton orientés horizontalement et
- 10 avec un séparateur liquide/gaz connecté à hauteur élevée et connecté avec un ou plusieurs tuyaux extérieurement au (x) tuyau (s) d'entrée à une hauteur basse, permettant une circulation naturelle par gravité sans l'utilisation d'une pompe, l'unité de stockage agissant comme un condenseur lorsque l'unité de stockage est en charge et comme une chaudière lorsque l'unité de stockage décharge de
- 15 l'énergie thermique, caractérisée par les étapes consistant à :

ajouter de la vapeur ou un autre gaz via une entrée à une hauteur la moins élevée de l'unité de stockage, le gaz étant ajouté au liquide soit via un tuyau ou généré par des résistances électriques à l'intérieur du tuyau, lors d'une charge d'énergie thermique,

- 20 ajouter de l'eau ou un autre liquide via une entrée à la hauteur la plus élevée de l'unité de stockage, de sorte que de l'eau ou un autre liquide est ajouté(e) à un séparateur gaz/liquide tel qu'un tambour à vapeur, en variante l'eau ou un autre liquide est ajouté(e) à la hauteur la moins élevée de l'unité de stockage, et de la vapeur ou un autre gaz est extrait(e) du séparateur liquide/gaz au niveau
- 25 du haut,

dans lequel du liquide s'écoule vers le bas dans le ou les tuyaux externes et le mélange liquide-gaz s'écoule vers le haut dans l'unité de stockage, à la fois en mode de charge et de décharge.