(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 135 074**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **22 04091**

(51) Int Cl[8] : ***B 65 G 5/00*** *(2022.01), B 65 D 88/76, F 17 C 1/00*

(12) **BREVET D'INVENTION** **B1**

(54) Système de stockage souterrain pour le stockage de fluides.

(22) **Date de dépôt :** 29.04.22.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 03.11.23 Bulletin 23/44.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 28.03.25 Bulletin 25/13.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *VALLOUREC OIL AND GAS FRANCE SAS* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** MARTIN PIERRE.

(73) **Titulaire(s) :** VALLOUREC OIL AND GAS FRANCE SAS.

(74) **Mandataire(s) :** VALLOUREC TUBES.

FR 3 135 074 - B1

Description

Titre de l'invention : Système de stockage souterrain pour le stockage de fluides

Domaine technique

[0001] L'invention se rapporte au domaine du stockage souterrain, notamment pour le stockage de fluides. Plus particulièrement, l'invention se rapporte au domaine des systèmes de stockage souterrain pour le stockage de gaz, par exemple pour le stockage d'hydrogène ou pour le stockage d'oxygène. Encore plus particulièrement, l'invention se rapporte au domaine du stockage de fluides à hautes pressions. On entend par « hautes pressions », des pressions pouvant être comprises entre 100 bar à 1200 bar, plus particulièrement entre 200 bar et 500 bar.

[0002] L'invention se rapporter également à un procédé de stockage souterrain pour le stockage de fluides.

Arrière-plan technologique

[0003] L'une des technologies naissantes permettant de réduire l'empreinte carbone des industries est d'utiliser l'hydrogène généré par des procédés renouvelables, tels que l'éolien ou le solaire. L'électricité produite par ces procédés renouvelables peut être utilisée par un électrolyseur pour produire de l'hydrogène et de l'oxygène, notamment à partir de l'électrolyse de l'eau.

[0004] Cette grande quantité d'hydrogène, produite par électrolyse, doit être comprimée et stockée afin de pouvoir être ensuite utilisée à la demande pour alimenter en permanence, soit des véhicules, tels que des camions ou des voitures, soit pour alimenter le réseau électrique lors des pics de consommation. Dans ce cas, pour produire cette électricité, l'hydrogène pourra alimenter soit une turbine, soit des piles à combustible à hydrogène. Quant à l'oxygène, il peut être intéressant de le stocker pour son utilisation dans un domaine tel que l'agriculture ou à des fins médicales.

[0005] Certains gaz, comme l'hydrogène, sont connus pour être des gaz difficiles à confiner. Par exemple, leur faible densité nécessite un stockage à haute pression, et leurs molécules de petite taille ainsi que leur faible viscosité les rendent propice aux fuites. Par conséquent, ils doivent être stockés dans un dispositif parfaitement étanche, apte à stocker de grandes quantités de gaz, tout en répondant à des normes strictes de sécurité, notamment pour réduire au maximum les risques de fuites. Le stockage souterrain est également intéressant pour les consommateurs et les industriels car il permet de réduire très efficacement l'espace utilisé en surface pour ces installations de stockage.

[0006] De tels systèmes de stockage souterrain de fluides sont généralement installés à des profondeurs comprises entre 10 mètres et 50 mètres. Ces systèmes de stockage peuvent

être installés dans des terrains de différentes natures géologiques, par exemple des roches solides telles que le granite ou le basalte, ou tout autre type de structure géologique souterraine.

[0007] A cet égard, l'art antérieur décrit dans le brevet US10837601 : un dispositif comprenant une unité fixée dans un seul forage souterrain, l'unité comprenant une pluralité de récipients séparés et fixés par l'intermédiaire d'au moins un dispositif de retenue, chaque récipient de la pluralité de récipients séparés ayant au moins un bouchon comprenant un trou d'entrée, un trou de sortie et un trou central, le trou central étant positionné de manière excentrée par rapport à un centre radial d'une surface supérieure du bouchon, l'unité étant fixée dans le seul forage souterrain par du ciment s'étendant de manière continue entre la pluralité de récipients pour entourer l'unité et entrer en contact avec une paroi latérale du forage souterrain. En outre, l'unité est fixée à un élément d'ancrage à proximité du fond du forage souterrain. L'inconvénient d'un tel dispositif est que, pour maintenir les récipients en place dans le forage souterrain, lesdits récipients sont fixés dans du ciment et attachés par le bas à l'élément d'ancrage, ce qui rend les opérations de maintenances complexes, notamment lorsqu'il est nécessaire d'extraire un récipients de l'unité pour le changer, le ciment et l'élément d'ancrage empêchent une telle extraction. Or, ce type d'opération peut être nécessaire, notamment en cas de fuite, pour une opération de contrôle ou de maintenance. L'entretien et la sécurité d'un tel dispositif ne sont par conséquent pas optimales. De plus, un tel maintien des récipients dans le ciment entraine un important travail en compression des parois des récipients, ce qui augmente le risque de fuite.

Résumé

[0008] Afin de pallier les inconvénients ci-dessus, un premier but de l'invention est de faciliter les opérations de maintenance sur un système de stockage souterrain de fluides, tels que des gaz. En outre, un deuxième but de l'invention est de permettre de stocker à hautes pressions de grandes quantités de fluides tout en respectant des normes strictes de sécurité. Enfin, un troisième but de l'invention est de permettre le stockage souterrain de plusieurs fluides différents, à des pressions différentes, dans un seul et même dispositif, au sein d'un seul et même système de stockage.

[0009] Ainsi, l'invention fournit un système de stockage souterrain pour le stockage de fluides, ledit système de stockage comprenant :

- un évidement apte à être aménagé dans un terrain, ledit évidement présentant un fond,
- un élément de support comprenant au moins une ouverture apte à recevoir un élément d'assemblage,
- au moins un réservoir, ledit réservoir présentant un axe longitudinal (l), une

extrémité inférieure et une extrémité supérieure,

- un premier moyen de fermeture apte à fermer le réservoir à son extrémité inférieure, et un deuxième moyen de fermeture apte à fermer le réservoir à son extrémité supérieure,

ladite extrémité supérieure étant apte à être assemblée à l'élément de support par l'intermédiaire de l'élément d'assemblage de sorte que le réservoir soit suspendu à l'intérieur de l'évidement et qu'un jeu axial apte à absorber une dilatation thermique axiale dudit réservoir subsiste entre le premier moyen de fermeture du réservoir et le fond de l'évidement.

[0010] Grâce à ces caractéristiques, l'intégrité du réservoir n'est pas compromise par des contraintes mécaniques liées à la dilatation thermique axiale du réservoir lors des opérations d'injection et de prélèvement de fluides. En effet, le jeu axial permet d'éviter que, lors de telles opérations, la dilatation thermique axiale entraîne la compression du réservoir contre le fond de l'évidement. De telles contraintes appliquées de façon répétées affaiblissent l'étanchéité du réservoir, notamment au niveau du moyen de fermeture.

[0011] En outre, contrairement aux dispositifs de l'art antérieur, un tel système permet de ne pas utiliser de ciment pour fixer le réservoir. Le réservoir n'est donc fixé qu'à l'élément de support. Le réservoir est donc suspendu dans un fluide quelconque provenant de l'environnement dans lequel le système est placé. Par exemple, le réservoir est suspendu dans de l'air ou de l'eau provenant des formations rocheuses environnantes. Il est donc possible et simple de retirer un réservoir du système.

[0012] Selon un mode de réalisation, le réservoir est suspendu de façon sensiblement verticale.

[0013] Selon un mode de réalisation, le réservoir est composé d'au moins un tube métallique, ledit tube métallique présentant au moins une terminaison dotée d'au moins une portion filetée.

[0014] Selon un mode de réalisation, le tube métallique présente deux terminaisons, chacune desdites deux terminaisons étant dotée d'au moins une portion filetée.

[0015] Selon un mode de réalisation, le réservoir est composé d'au moins deux tubes métalliques assemblés par vissage, de sorte à former une colonne de tubes. L'assemblage entre deux tubes métalliques peut se faire par une connexion intégrale ou par l'intermédiaire d'une pièce de raccordement, tel qu'un manchon.

[0016] Selon un mode de réalisation, le jeu axial respecte l'inéquation suivante :

[0017] [Math.1]

$$G \geq (L^2 * \beta * \alpha) + \left[20 * \alpha * 80 * \left(1 - e^{-0.11 * L}\right)\right]$$

[0018] Où : G est la longueur du jeu axial exprimée en mètres, L représente la longueur d'un

réservoir (10) exprimée en mètres, β représente le gradient géothermique exprimé en degré Celsius par mètre, α représente le coefficient de dilatation thermique du métal exprimé en $Celsius^{-1}$.

[0019] Le gradient géothermique β varie selon la formation géologique dans laquelle le système de stockage est placé. Ainsi β est tel que $0,02°/m \leq \beta \leq 2°/m$. α représente le coefficient de dilatation thermique du métal exprimé en degré $Celsius^{-1}$. Le coefficient de dilatation thermique α varie selon le type de métal qui compose les tubes utilisés pour former un réservoir. Ainsi, α est tel que $8*10^{-6}\ °C^{-1} \leq \alpha \leq 18*10^{-6}\ °C^{-1}$.

[0020] L'utilisation de tubes filetés pour réaliser le réservoir permet de faciliter le montage et le démontage du réservoir. Cela est particulièrement avantageux lorsqu'un tube doit être changé. La maintenance et l'entretien du réservoir sont donc facilités et la sécurité du système est augmentée.

[0021] Selon un mode de réalisation, le réservoir est composé d'un tube unique.

[0022] Selon un mode de réalisation, les tubes utilisés pour réaliser un réservoir sont des tubes métalliques, préférentiellement des tubes métalliques filetés. Par exemple, il peut s'agir de tubes métalliques en titane, ou de tubes en acier du type de ceux utilisés dans l'industrie du gaz et du pétrole, notamment les tubes utilisés pour réaliser les puits de production de gaz et/ou de pétrole.

[0023] Selon un mode de réalisation, le premier moyen de fermeture et/ou le deuxième moyen de fermeture est apte à fermer le réservoir par vissage. Dans ce cas, le filetage desdits moyens de fermeture peut être un filetage mâle ou femelle. En plus du filetage, le premier moyen de fermeture et/ou le deuxième moyen de fermeture peut également comprendre une portée métallique. La présence d'une portée métallique contribue à améliorer l'étanchéité de la fermeture, ce qui est particulièrement avantageux pour le stockage de gaz, notamment pour le stockage d'hydrogène qui est un gaz particulièrement propice aux fuites.

[0024] Selon un mode de réalisation, le premier moyen de fermeture et/ou le deuxième moyen de fermeture est une soudure.

[0025] Des moyens de fermetures aptes à fermer le réservoir par vissage sont préférés à des soudures, car les moyens de fermeture vissés ne modifient pas significativement l'épaisseur de la paroi du réservoir au niveau de la fermeture. Ainsi, avec des moyens de fermetures par vissage les propriétés mécaniques du réservoir au niveau de la fermeture sont inchangées. En outre, dans le cas du stockage d'hydrogène, ils permettent d'éviter de potentiels problèmes de corrosion par le dihydrogène, qui peuvent se produire sur une soudure.

[0026] Selon un mode de réalisation, l'élément de support comprend une surface supérieure 54 et une surface inférieure 56.

[0027] Selon un mode de réalisation, l'élément de support est posé sur le sol ou fixé sur une

plaque en béton ou en ciment, ladite plaque étant coulée à la surface du sol. La fixation de l'élément de support à la plaque en béton ou en ciment peut se faire par tout moyen connu de l'homme du métier.

[0028] Selon un mode de réalisation, l'élément de support est une plaque cylindrique circulaire ou de forme géométrique angulaire.

[0029] Selon un mode de réalisation, l'élément de support présente au moins une surface d'aire comprise entre 0.2 m^2 et 10 m^2, préférentiellement entre 0.7 m^2 et 4 m^2.

[0030] Selon un mode de réalisation, l'élément de support peut être une plaque métallique.

[0031] Selon un mode de réalisation, l'au moins une ouverture est un trou débouchant et aménagé dans une épaisseur de l'élément de support.

[0032] Selon un mode de réalisation, l'au moins une ouverture de l'élément de support est une ouverture circulaire.

[0033] Selon un mode de réalisation, l'élément d'assemblage est fixé à l'extrémité supérieure du réservoir.

[0034] Selon un mode de réalisation, l'élément d'assemblage est soudé ou vissé à l'extrémité supérieure du réservoir.

[0035] Selon un mode de réalisation, l'élément d'assemblage est tubulaire et présente une collerette, ladite collerette étant apte à reposer sur une surface de l'élément de support de sorte que lorsque l'élément d'assemblage est fixé à l'extrémité supérieure du réservoir, ledit réservoir est suspendu à l'élément de support par l'intermédiaire de l'élément d'assemblage.

[0036] Selon un mode de réalisation, le système comprend une pluralité de réservoirs, chaque réservoir présentant un axe longitudinal l, une extrémité inférieure et une extrémité supérieure, ladite extrémité supérieure de chaque réservoir étant apte à être assemblée à l'élément de support par l'intermédiaire d'un élément d'assemblage de sorte que chaque réservoir soit suspendu à l'intérieur de l'évidement.

[0037] Un tel système, qui comprend une pluralité de réservoirs, permet d'avoir des réservoirs de longueurs différentes au sein d'un même système de stockage. Cela est particulièrement avantageux pour ne pas suspendre à l'élément de support une charge qui soit inutilement élevée. De plus, la longueur d'un réservoir peut être adaptée afin de faciliter la montée ou la baisse de pression nécessaire selon les conditions de stockage du fluide. Ainsi, différents fluides peuvent être stockés dans le même système.

[0038] Selon un mode de réalisation, chaque réservoir est relié à une alimentation en fluide et à un circuit de prélèvement de fluide qui lui sont propres de sorte que lorsque le système de stockage comprend une pluralité de réservoirs, lesdits réservoirs peuvent être indépendants les uns des autres.

[0039] Grâce ces caractéristiques, il est possible de stocker de plus grandes quantités de fluide. Notamment, pour une même profondeur de l'évidement, il est possible de

stocker à de très hautes pressions une grande quantité de gaz dans une pluralité de réservoirs. En outre, avec un tel système il est possible de stocker différents fluides, chaque fluide pouvant être stocké dans des conditions, notamment des conditions de températures et de pressions, qui sont spécifiques au fluide et à l'utilisation à laquelle le fluide est destiné.

[0040] Selon un mode de réalisation, chaque réservoir peut être équipé de capteurs, tels que des manomètres, des thermomètres, des détecteurs de fuite ou des détecteurs d'humidité. De cette façon, il est possible de contrôler la pression ainsi que la présence de fuites dans chaque réservoir. Cela est avantageux, d'une part pour la sécurité du système, et d'autre part lorsque les réservoirs ne stockent pas tous le même fluide. Ces capteurs peuvent également être placés directement dans l'évidement.

[0041] Selon un mode de réalisation, le système comprend un unique réservoir.

[0042] Selon un mode de réalisation, la longueur L d'un réservoir est comprise entre 1 mètre et 3000 mètres, préférentiellement entre 10 mètres et 2500 mètres, encore plus préférentiellement entre 20 mètres et 500 mètres.

[0043] Selon un mode de réalisation, le système de stockage comprend entre 1 et 26 réservoirs, préférentiellement entre 1 et 14 réservoirs, encore plus préférentiellement entre 1 et 6 réservoirs.

[0044] Selon un mode de réalisation, l'évidement présente une profondeur comprise entre 10 mètres et 2500 mètres, préférentiellement entre 20 mètres et 500 mètres, ladite profondeur étant mesurée entre la surface du sol et le fond de l'évidement.

[0045] Selon un mode de réalisation, l'évidement comporte au moins un cuvelage.

[0046] Selon un mode de réalisation, le cuvelage est en béton, en ciment, ou en acier.

[0047] Selon un mode de réalisation, le cuvelage est un tube de cuvelage. Le tube de cuvelage peut être cimenté.

[0048] Selon un mode de réalisation, le terrain est composé de roches solides, telles que le granite ou le basalte. L'avantage de réaliser le système de stockage dans un terrain composé de roches solides est qu'il est possible de se passer de cuvelage, ce qui simplifie la mise en place du système. En revanche, un cuvelage est nécessaire lorsque le système est réalisé dans des terrains meubles.

[0049] Selon un mode de réalisation, l'évidement peut être réalisé par forage ou par excavation.

[0050] Selon un mode de réalisation, l'évidement présente un diamètre moyen compris entre 0.5 mètre et 4.5 mètres, préférentiellement entre 1 mètre et 3 mètres.

[0051] Un autre objet de l'invention concerne un procédé de stockage souterrain pour le stockage de fluides, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- aménager un évidement (2) dans un terrain (40), ledit évidement (2) présentant un fond (3),

- fournir un élément de support (4) comprenant au moins une ouverture (7) apte à recevoir un élément d'assemblage (18),
- fournir au moins un réservoir (10), ledit réservoir (10) présentant un axe longitudinal (l), une extrémité inférieure (14) et une extrémité supérieure (12),
- fournir un premier moyen de fermeture (16) apte à fermer ledit réservoir (10) à son extrémité inférieur (14), et un deuxième moyen de fermeture (17) apte à fermer le réservoir (10) à son extrémité supérieure (12),
- assembler ladite extrémité supérieure (12) à l'élément de support (4) par l'intermédiaire de l'élément d'assemblage (18) de sorte que le réservoir (10) soit suspendu à l'intérieur de l'évidement (2) et qu'un jeu axial (G) apte à absorber une dilatation thermique axiale dudit réservoir (10) subsiste entre le premier moyen de fermeture (16) du réservoir (10) et le fond (3) de l'évidement (2).

Définitions

[0052] On entend par « extrémité inférieure » du réservoir, l'extrémité du réservoir qui se situe à proximité du fond de l'évidement. Cette « extrémité inférieure » se définie en opposition à l'extrémité dite « extrémité supérieure » du réservoir, qui se situe à proximité de l'élément de support et donc de la surface du sol.

[0053] On entend par « jeu axial » une longueur, qui s'étend selon l'axe longitudinal l du réservoir, mesurée entre le premier moyen de fermeture du réservoir et le fond de l'évidement. A noter que, la position d'un réservoir peut ne pas être parfaitement verticale. Dans ce cas, l'axe longitudinal l du réservoir présente un angle par rapport à la verticale dans le repère (x ; y). Cet angle présente une valeur maximale de 15°. Dans ce cas, la mesure du jeu axial G se fait par projection orthogonale sur l'axe vertical passant par un point du premier moyen de fermeture situé le plus proche du fond de l'évidement. Autrement dit, le jeu axial correspond toujours à la distance la plus courte, mesurée entre le fond de l'évidement et le premier moyen de fermeture.

[0054] On entend par « tube métallique fileté » un tube comprenant au moins une terminaison présentant au moins une portion filetée, apte à être assemblé à un tube métallique fileté comprenant au moins une terminaison présentant au moins une portion filetée complémentaire. Le filetage peut être mâle ou femelle.

[0055] On entend par « fond de l'évidement », la surface du fond de l'évidement. Ainsi, lorsque l'évidement est cuvelé et que ledit cuvelage est cimenté, le terme « fond de l'évidement » désigne alors la surface de la couche de ciment se trouvant au fond de l'évidement. Lorsque le cuvelage n'est pas cimenté, le terme « fond de l'évidement » désigne tout simplement la surface du terrain se trouvant au fond de l'évidement.

Brève description des figures

[0056] L'invention sera mieux comprise, et d'autres buts, détails, caractéristiques et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement au cours de la description suivante de plusieurs modes de réalisation particuliers de l'invention, donnés uniquement à titre illustratif et non limitatif, en référence aux dessins annexés.

[0057] Il doit être compris, cependant, que la présente demande n'est pas limitée aux arrangements, structures, caractéristiques, modes de réalisation et apparence précis indiqués. Les dessins ne sont pas dessinés à l'échelle et ne sont pas destinés à limiter la portée des revendications aux modes de réalisation représentés dans ces dessins.

[0058] Par conséquent, il doit être compris que lorsque des caractéristiques mentionnées dans les revendications sont suivies par des références, lesdites références sont incluses uniquement en vue d'améliorer la compréhension des revendications et ne limitent en aucun cas la portée de ces dernières.

[0059] La [Fig.1] est un schéma d'une vue en coupe d'un système de stockage selon un mode de réalisation de l'invention.

[0060] La [Fig.2] est un schéma tridimensionnel isolée de l'élément de support du système de stockage illustré à la [Fig.1].

[0061] La [Fig.3] est un schéma tridimensionnel isolée d'un élément de support alternatif pouvant être utilisé dans un mode de réalisation de l'invention.

[0062] La [Fig.4] est un schéma tridimensionnel d'un élément d'assemblage pouvant être utilisé dans le système de stockage illustré à la [Fig.1].

Description des modes de réalisation

[0063] La [Fig.1] illustre une vue en coupe d'un système de stockage 1 selon un mode de réalisation de l'invention, dans un repère (x ; y). L'axe x du repère (x ; y) est un axe horizontal, et l'axe y du repère (x ; y) est un axe vertical.

[0064] Le système de stockage 1 comprend un évidement 2 réalisé dans un terrain 40, un élément de support 4 posé sur une surface d'un sol S du terrain 40, et six réservoirs 10 suspendus à l'élément de support 4 dans l'évidement 2 (seulement quatre réservoirs sont visibles sur la [Fig.1]).

[0065] L'évidement 2 présente un fond 3 et comprend un cuvelage 30. L'évidement 2 pour être obtenu par forage ou par excavation, et présente une profondeur de 500, mesurée entre la surface du sol S et le fond 3. L'évidement 2 est de forme sensiblement cylindrique circulaire et présente un diamètre moyen de 4 mètres.

[0066] Le cuvelage est en ciment et s'étend verticalement depuis la surface du sol S jusqu'au fond 3 de l'évidement 2.

[0067] Tel que représenté sur les figures 1 et 2, l'élément de support 4 est une plaque cylindrique circulaire présentant un corps central 50 et une collerette 52, ladite collerette 52 présentant une surface inférieure 56 reposant sur le sol S. Le corps central 50

présente une première épaisseur E pouvant être comprise entre 10 mm et 500mm. La collerette 52 présente une deuxième épaisseur e pouvant être comprise entre 5 mm et 200mm. Dans le mode de réalisation illustré aux figures 1 et 2, l'élément de support 4 est une plaque métallique dans laquelle la première épaisseur E est égale à 250 mm, et la deuxième épaisseur e est égale à 100 mm.

[0068] L'élément de support 4 comprend en outre une surface supérieure 54, ladite surface supérieure 54 étant opposée à la surface inférieur 56 de la collerette 52 et, ladite surface supérieure 54 ayant une aire égale à 8,6 m².

[0069] Tel qu'illustré à la [Fig.2], l'élément de support 4 comprend également six ouvertures 7. Les ouvertures 7 sont des trous débouchant, aménagés dans la première épaisseur E du corps 50 de l'élément de support 4. D'après la [Fig.3], qui illustre un élément de support 4 pouvant être utilisé dans un mode de réalisation selon l'invention, l'élément de support 4 comprend quatorze ouvertures 7 aménagées dans la première épaisseur E du corps 50.

[0070] Chaque réservoir 10 est suspendu à l'élément de support 4 par l'intermédiaire d'un élément d'assemblage 18. Ainsi, pour chaque réservoir 10 du système de stockage 1, un jeu axial G subsiste entre d'une part, le premier moyen de fermeture 16 qui ferme le réservoir 10 à son extrémité inférieure 14, et d'autre part, le fond 3 de l'évidement 2. Ce jeu axial G a pour fonction d'absorber une dilatation thermique axiale du réservoir 10, qui se produit notamment lors des opérations de remplissage et de vidage. Ainsi, pour chaque réservoir 10, le dimensionnement du jeu axial G, et notamment sa longueur, dépend directement des conditions environnantes du système de stockage 1, notamment des conditions de température, de pression, et de la capacité du réservoir 10 à s'allonger lorsqu'il est soumis à des variations de température et de pression, notamment lors d'opérations de remplissage et de vidage. Ainsi, le jeu axial G de n'importe quel réservoir 10 du système de stockage 1 répond à l'inéquation suivante :

[0071] [Math.1]

$$G \geq (L^2 * \beta * \alpha) + \left[20 * \alpha * 80 * \left(1 - e^{-0.11 * L}\right)\right]$$

[0072] Où : G est la longueur du jeu axial exprimée en mètres. L représente la longueur d'un réservoir 10 exprimée en mètres. β représente le gradient géothermique exprimé en degrés Celsius par mètre. Le gradient géothermique β varie selon la formation géologique dans laquelle le système de stockage 1 est placé. Ainsi β est tel que 0,02°/m≤ β≤2°/m. α représente le coefficient de dilatation thermique du métal exprimé en degré Celsius^{-1}. Le coefficient de dilatation thermique α varie selon le type de métal qui compose les tubes utilisés pour former un réservoir 10. Ainsi, α est tel que $8*10^{-6}$ °C^{-1} ≤ α ≤ $18*10^{-6}$ °C^{-1}.

[0073] Les réservoirs 10 sont tubulaires, de section circulaire, et présentent chacun un axe

longitudinal (l), une extrémité inférieure 14 et une extrémité supérieure 12.

[0074] Chaque réservoir est fermé à son extrémité inférieure 14 par un premier moyen de fermeture 16, et chaque réservoir 10 est fermé à son extrémité supérieure 12 par un deuxième moyen de fermeture 17. Dans le mode de réalisation illustré à la [Fig.1], l'extrémité inférieure 14 et l'extrémité supérieure 12 de chaque réservoir 10 sont des extrémités filetées, et le premier moyen de fermeture 16 et le deuxième moyen de fermeture 17 présentent également un filetage, ledit filetage étant complémentaire du filetage des extrémités inférieure 14 et supérieure 12. Ainsi, l'extrémité inférieure 14 est fermée de façon étanche par vissage avec le premier moyen de fermeture 16, et l'extrémité supérieure 12 est fermée de façon étanche par vissage avec le deuxième moyen de fermeture 17.

[0075] Le deuxième moyen de fermeture 17 est équipé de capteurs 19 qui sont des manomètres, des thermomètres et des détecteurs de fuite. Bien entendu, le premier moyen de fermeture 16 peut aussi contenir des manomètres, des thermomètres et des détecteurs de fuite. D'autres types de capteurs peuvent être utilisés selon l'objectif que l'on s'est fixé.

[0076] Chaque réservoir 10 peut être composé d'une pluralité de tubes A. Dans le mode de réalisation illustré à la [Fig.1], les réservoirs 10 sont composés de plusieurs tubes A filetés. Ainsi, les tubes A sont assemblés par vissage de sorte à former une colonne C de tubes A. Ainsi, un ensemble composé d'une colonne C, fermée à ses extrémités 12 et 14 par des moyens de fermetures 16 et 17, forme un réservoir 10. Un réservoir 10 peut également être composé d'un unique tube A, fermé à ses extrémités 12 et 14 par des moyens de fermeture 16 et 17.

[0077] Chaque réservoir 10 est assemblé à un élément d'assemblage 18. Chaque élément d'assemblage 18 est inséré dans une ouverture 7 et est retenu par une collerette 62 qui bute contre la surface supérieure 54 de l'élément de support 4. Chaque élément d'assemblage 18 est donc suspendu à l'élément de support 4. De cette manière, chaque réservoir 10 est suspendu à l'élément de support 4 par l'intermédiaire de l'élément d'assemblage 18 auquel il est assemblé.

[0078] Tel qu'illustré à la [Fig.4], un élément d'assemblage 18 est une pièce métallique tubulaire, de section circulaire, qui comprend un corps tubulaire 60 et une collerette 62.

[0079] Le corps 60 de l'élément d'assemblage 18 est fixé à l'extrémité supérieure 12 d'un réservoir 10, de préférence par vissage. Il est possible d'utiliser du soudage dans un mode de réalisation alternatif. Le corps 60 de l'élément d'assemblage 18 comporte un filetage (non représenté) mâle ou femelle complémentaire du filetage de l'extrémité supérieure 12 du réservoir 10 auquel ledit élément d'assemblage 18 est assemblé. La collerette 62 comprend une surface supérieure 64 et une surface inférieure 66.

[0080] Dans le mode de réalisation illustré à la [Fig.1], le corps tubulaire 60 de chaque

élément d'assemblage 18 est inséré dans une ouverture 7 de l'élément de support 4. Chaque élément d'assemblage 18 repose sur l'élément de support 4 par l'intermédiaire de sa surface inférieure 66 qui bute contre la surface supérieure 54 de l'élément de support 4. En outre, chaque élément d'assemblage 18 est assemblé à un réservoir 10 par vissage à l'extrémité supérieur 12 dudit réservoir 10.

[0081] La collerette 62 de l'élément d'assemblage 18 permet donc à ce dernier de reposer sur la surface supérieure 54 de l'élément de support 4. Ainsi, l'élément d'assemblage 18 n'a pas besoin d'être fixé à l'élément de support 4, par exemple par soudage ou par vissage, ce qui simplifie l'assemblage du système de stockage 1, notamment pour suspendre les réservoirs 10.

Revendications

[Revendication 1] Système de stockage (1) souterrain pour le stockage de fluides, ledit système de stockage (1) comprenant :

- un évidement (2) aménagé dans un terrain (40), ledit évidement (2) présentant un fond (3),
- un élément de support (4) comprenant au moins une ouverture (7),
- un élément d'assemblage (18) inséré dans l'ouverture (7) de l'élément de support (4),
- au moins un réservoir (10), ledit réservoir (10) présentant un axe longitudinal (l), une extrémité inférieure (14) fermée par un premier moyen de fermeture (16), et une extrémité supérieure (12) fermée par un deuxième moyen de fermeture (17),

ladite extrémité supérieure (12) étant assemblée à l'élément de support (4) par l'intermédiaire de l'élément d'assemblage (18) de sorte que le réservoir (10) soit suspendu à l'intérieur de l'évidement (2) et qu'un jeu axial (G) apte à absorber une dilatation thermique axiale dudit réservoir (10) subsiste entre le premier moyen de fermeture (16) du réservoir (10) et le fond (3) de l'évidement (2).

[Revendication 2] Système de stockage (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le réservoir (10) est composé d'au moins un tube (A) métallique, ledit tube (A) métallique présentant au moins une terminaison dotée d'au moins une portion filetée.

[Revendication 3] Système de stockage (1) selon la revendication 2, caractérisé en ce que le réservoir (10) est composé d'au moins deux tubes (A) métalliques assemblés par vissage, de sorte à former une colonne de tubes (C).

[Revendication 4] Système de stockage (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le jeu axial (G) respecte l'inéquation suivante :

[Math.1]

$$G \geq (L^2 * \beta * \alpha) + \left[20 * \alpha * 80 * \left(1 - e^{-0.11 * L}\right)\right]$$

Où : G est la longueur du jeu axial exprimée en mètres, L représente la longueur d'un réservoir (10) exprimée en mètres, β représente le gradient géothermique exprimé en degrés Celsius par mètre, α re-

présente le coefficient de dilatation thermique du métal exprimé en mètres par degré Celsius.

[Revendication 5] Système de stockage (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le premier moyen de fermeture (16) et/ou le deuxième moyen de fermeture (17) est apte à fermer le réservoir par vissage.

[Revendication 6] Système de stockage (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit système (1) comprend une pluralité de réservoirs (10), chaque réservoir (10) présentant un axe longitudinal (l), une extrémité inférieure (14) et une extrémité supérieure (12), ladite extrémité supérieure (12) de chaque réservoir (10) étant apte à être assemblée à l'élément de support (4) par l'intermédiaire d'un élément d'assemblage (18) de sorte que chaque réservoir (10) soit suspendu à l'intérieur de l'évidement (2).

[Revendication 7] Système de stockage (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'évidement (2) comporte au moins un cuvelage (30).

[Revendication 8] Système de stockage (1) selon la revendication 7, caractérisé en ce que le cuvelage (30) est en béton, en ciment, ou en acier.

[Revendication 9] Procédé de stockage souterrain pour le stockage de fluides, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

aménager un évidement (2) dans un terrain (40), ledit évidement (2) présentant un fond (3),

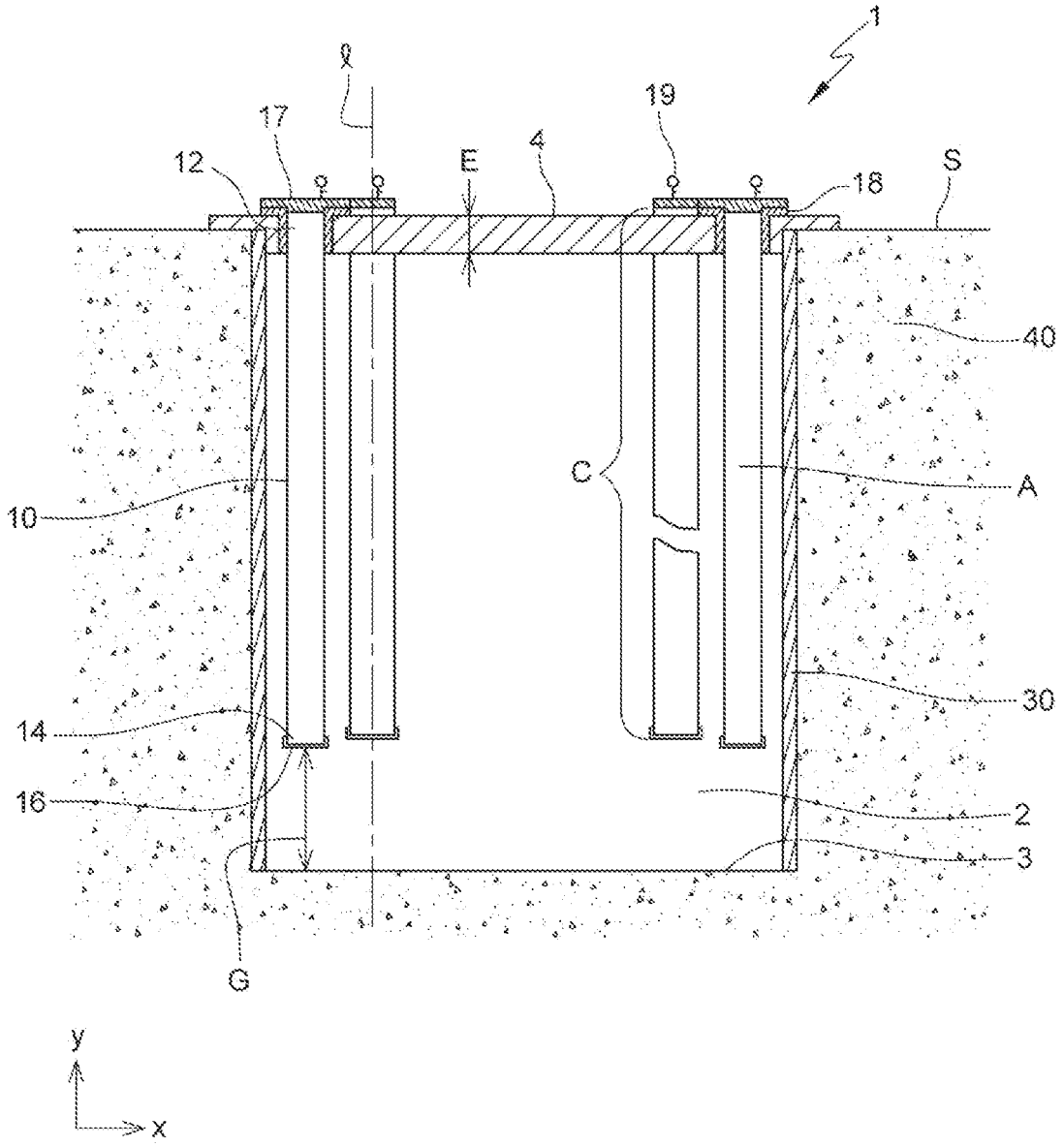
fournir un élément de support (4) comprenant au moins une ouverture (7) apte à recevoir un élément d'assemblage (18),

fournir au moins un réservoir (10), ledit réservoir (10) présentant un axe longitudinal (l), une extrémité inférieure (14) et une extrémité supérieure (12),

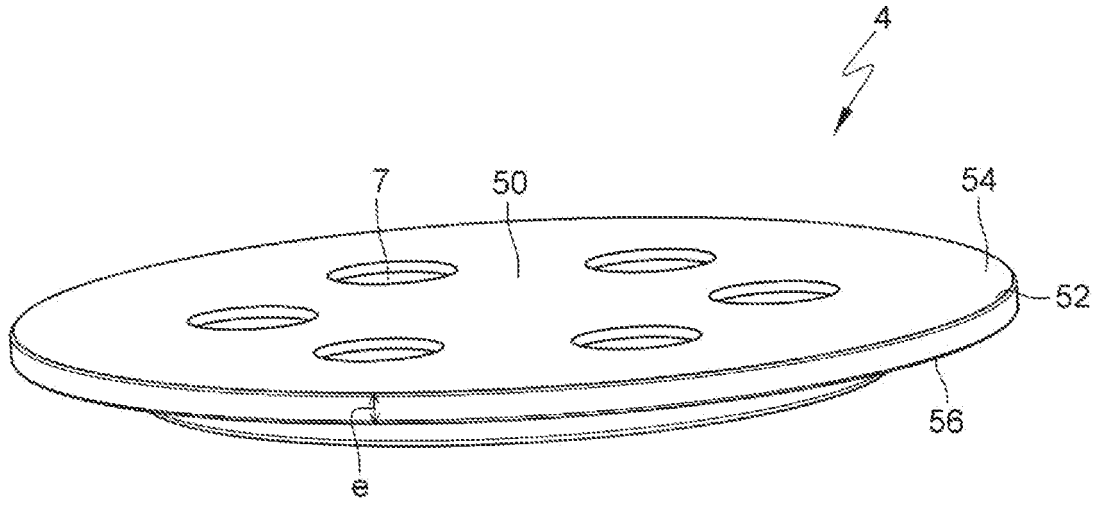
fournir un premier moyen de fermeture (16) apte à fermer ledit réservoir (10) à son extrémité inférieur (14), et un deuxième moyen de fermeture (17) apte à fermer le réservoir (10) à son extrémité supérieure (12),

assembler ladite extrémité supérieure (12) à l'élément de support (4) par l'intermédiaire de l'élément d'assemblage (18) de sorte que le réservoir (10) soit suspendu à l'intérieur de l'évidement (2) et qu'un jeu axial (G) apte à absorber une dilatation thermique axiale dudit réservoir (10) subsiste entre le premier moyen de fermeture (16) du réservoir (10) et le fond (3) de l'évidement (2).

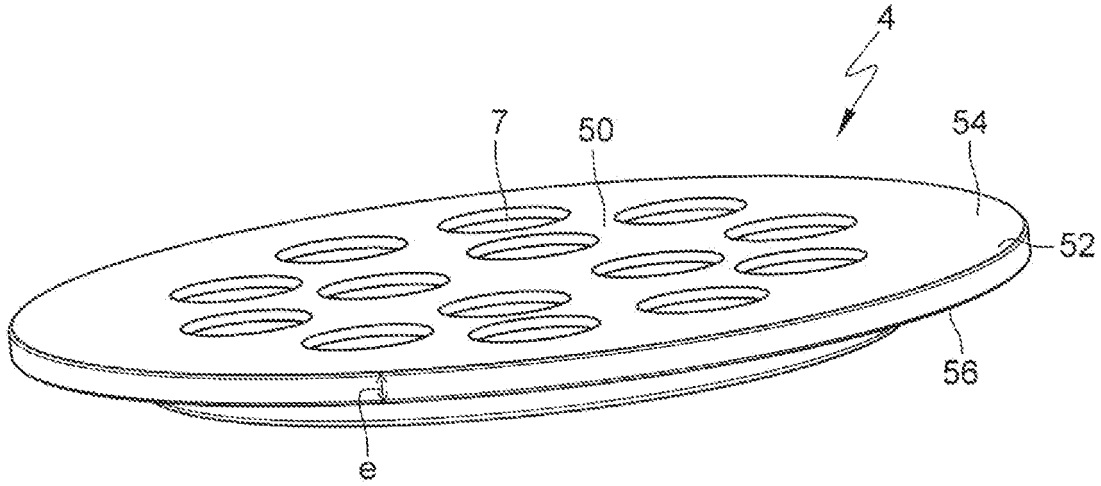
[Fig. 1]



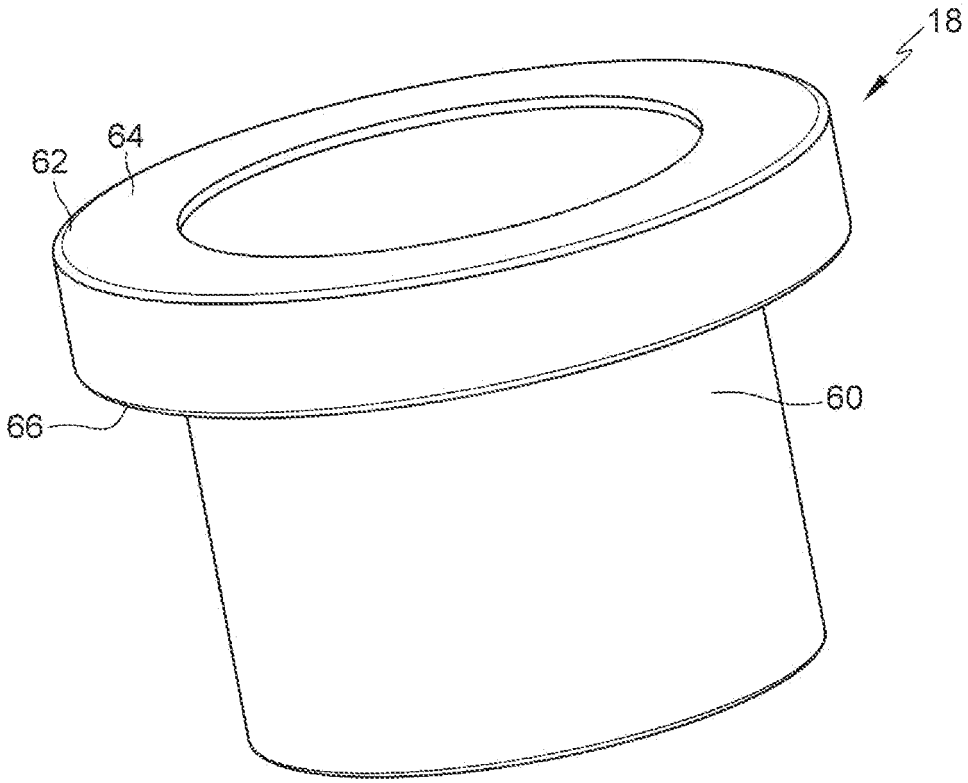
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.
Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

[x] Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

[x] Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

[x] Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

CN 202 915 039 U (SHIJIAZHUANG ENRIC GAS EQUIPMENT CO LTD) 1 mai 2013 (2013-05-01)

US 10 837 601 B2 (MERCER RONALD R [US]; MERCER MICHAEL DOUGLAS [US])
17 novembre 2020 (2020-11-17)

EP 3 792 467 A1 (POLITECHNIKA SLASKA IM WINCENT [PL]) 17 mars 2021 (2021-03-17)

US 5 333 465 A (MCBRIDE TERRY R [US])
2 août 1994 (1994-08-02)

DE 18 12 859 A1 (ROHMER RICHARD HEATH)
16 octobre 1969 (1969-10-16)

JP S53 109216 A (IKESUE TOHACHIROU)
22 septembre 1978 (1978-09-22)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT