

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
02 novembre 2023 (02.11.2023)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2023/209079 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F17C 1/00 (2006.01)

(72) Inventeur : MARTIN, Pierre ; 12 rue de la Verrerie, 92190 MEUDON (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2023/061094

(74) Mandataire : MBACKE, Mactar / VALLOUREC TUBES ; 12 RUE DE LA VERRERIE, 92190 Meudon (FR).

(22) Date de dépôt international :
27 avril 2023 (27.04.2023)

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

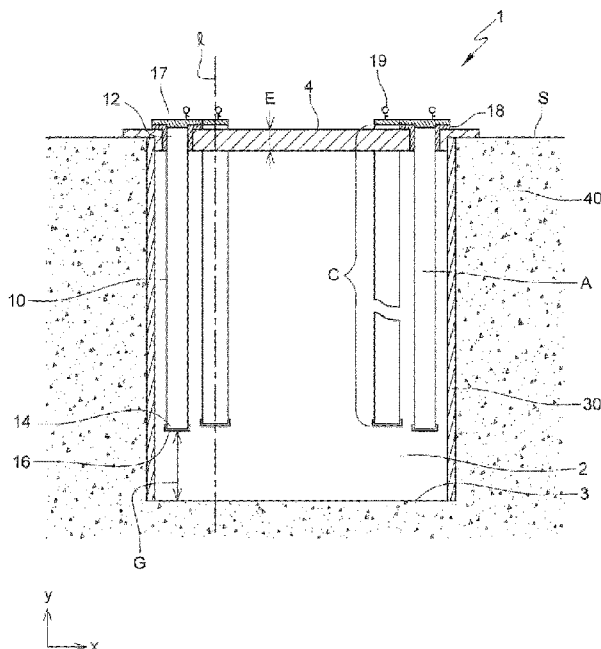
(30) Données relatives à la priorité :
FR2204091 29 avril 2022 (29.04.2022) FR

(71) Déposant : VALLOUREC OIL AND GAS FRANCE
[FR/FR] ; 54 rue Anatole France, 59620 Aulnoye-Aymeries (FR).

(54) Title: UNDERGROUND STORAGE SYSTEM FOR FLUID STORAGE

(54) Titre : SYSTÈME DE STOCKAGE SOUTERRAIN POUR LE STOCKAGE DE FLUIDES

[Fig 1]



(57) Abstract: The invention relates to an underground storage system (1) for fluid storage, comprising a recess (2) having a bottom (3), a support element (4) comprising at least one opening (7) suitable for receiving an assembly element (18), at least one tank (10) having a longitudinal axis (1), a lower end (14) and an upper end (12), a first closure means (16) suitable for closing the tank (10) at its lower end (14), and a second closure means (17) suitable for closing the tank (10) at its upper end (12), the upper end (12) being suitable for being assembled to the support element (4) via the assembly element (18) so that the tank (10) is suspended inside the recess (2) and an axial clearance (G) suitable for absorbing an axial thermal expansion of the tank (10) remains between the first closure means (16) and the bottom (3).

[Suite sur la page suivante]

TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,
ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(57) **Abrége :** Système de stockage (1) souterrain pour le stockage de fluide comprenant un évidement (2) présentant un fond (3), un élément de support (4) comprenant au moins une ouverture (7) apte à recevoir un élément d'assemblage (18), au moins un réservoir (10) présentant un axe longitudinal (1), une extrémité inférieure (14) et une extrémité supérieure (12), un premier moyen de fermeture (16) apte à fermer le réservoir (10) à son extrémité inférieure (14), et un deuxième moyen de fermeture (17) apte à fermer le réservoir (10) à son extrémité supérieure (12), ladite extrémité supérieure (12) étant apte à être 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) et le fond (3).

Description

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

Domaine technique

[1] 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.

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

Arrière-plan technologique

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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 récipient 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 entraîne un important travail en compression des parois des récipients, ce qui augmente le risque de fuite.

Résumé

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 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.

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

[13] 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 fileté.

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

[15] 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.

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

[Math 1]

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

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.

[17] Le gradient géothermique β varie selon la formation géologique dans laquelle le système de stockage est placé. Ainsi β est tel que $0,02^\circ/\text{m} \leq \beta \leq 2^\circ/\text{m}$. 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 $8 * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \leq \alpha \leq 18 * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

[18] 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.

- [19] Selon un mode de réalisation, le réservoir est composé d'un tube unique.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Selon un mode de réalisation, le premier moyen de fermeture et/ou le deuxième moyen de fermeture est une soudure.
- [23] 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.
- [24] Selon un mode de réalisation, l'élément de support comprend une surface supérieure 54 et une surface inférieure 56.
- [25] 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.
- [26] Selon un mode de réalisation, l'élément de support est une plaque cylindrique circulaire ou de forme géométrique angulaire.
- [27] Selon un mode de réalisation, l'élément de support présente au moins une surface d'aire comprise entre 0.2 m² et 10 m², préférentiellement entre 0.7 m² et 4 m².

- [28] Selon un mode de réalisation, l'élément de support peut être une plaque métallique.
- [29] Selon un mode de réalisation, l'au moins une ouverture est un trou débouchant et aménagé dans une épaisseur de l'élément de support.
- [30] Selon un mode de réalisation, l'au moins une ouverture de l'élément de support est une ouverture circulaire.
- [31] Selon un mode de réalisation, l'élément d'assemblage est fixé à l'extrémité supérieure du réservoir.
- [32] Selon un mode de réalisation, l'élément d'assemblage est soudé ou vissé à l'extrémité supérieure du réservoir.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.

[38] 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.

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

[40] 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.

[41] 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.

[42] 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.

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

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

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

[46] 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.

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

[48] 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.

[49] 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 inférieure (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

[50] 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 définit 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.

[51] 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.

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

[53] 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.

Breve description des figures

[54] 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.

[55] 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.

[56] 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.

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

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

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

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

Description des modes de réalisation

- [61] La figure 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.
- [62] 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 figure 1).
- [63] 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.
- [64] Le cuvelage est en ciment et s'étend verticalement depuis la surface du sol S jusqu'au fond 3 de l'évidement 2.
- [65] 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.
- [66] L'élément de support 4 comprend en outre une surface supérieure 54, ladite surface supérieure 54 étant opposée à la surface inférieure 56 de la collerette 52 et, ladite surface supérieure 54 ayant une aire égale à 8,6 m².
- [67] Tel qu'illustré à la figure 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 figure 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.
- [68] 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 :

[Math 1]

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

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 $0,02^\circ/\text{m} \leq \beta \leq 2^\circ/\text{m}$. 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 $8 * 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \leq \alpha \leq 18 * 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

[69] Les réservoirs 10 sont tubulaires, de section circulaire, et présentent chacun un axe longitudinal (1), une extrémité inférieure 14 et une extrémité supérieure 12.

[70] 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 figure 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.

- [71] 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.
- [72] Chaque réservoir 10 peut être composé d'une pluralité de tubes A. Dans le mode de réalisation illustré à la figure 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.
- [73] 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.
- [74] Tel qu'illustré à la figure 4, un élément d'assemblage 18 est une pièce métallique tubulaire, de section circulaire, qui comprend un corps tubulaire 60 et une collerette 62.
- [75] 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.
- [76] Dans le mode de réalisation illustré à la figure 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.

[77] 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 (I), 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]

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

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 représente 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 (1), 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).

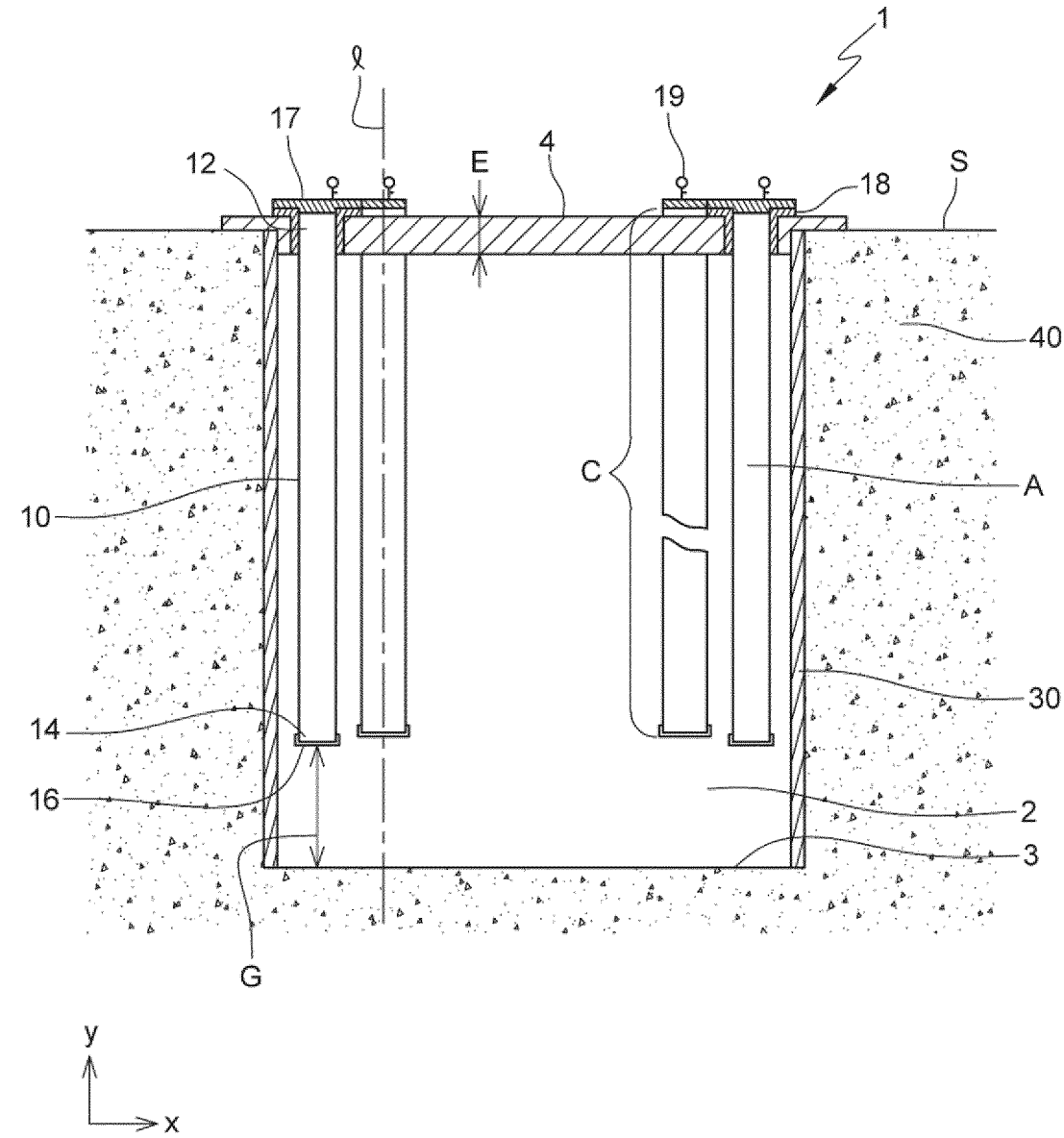
[Revendication 7] Système de stockage (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'évidement (2) comporte au moins un cuvelage (30).

[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.

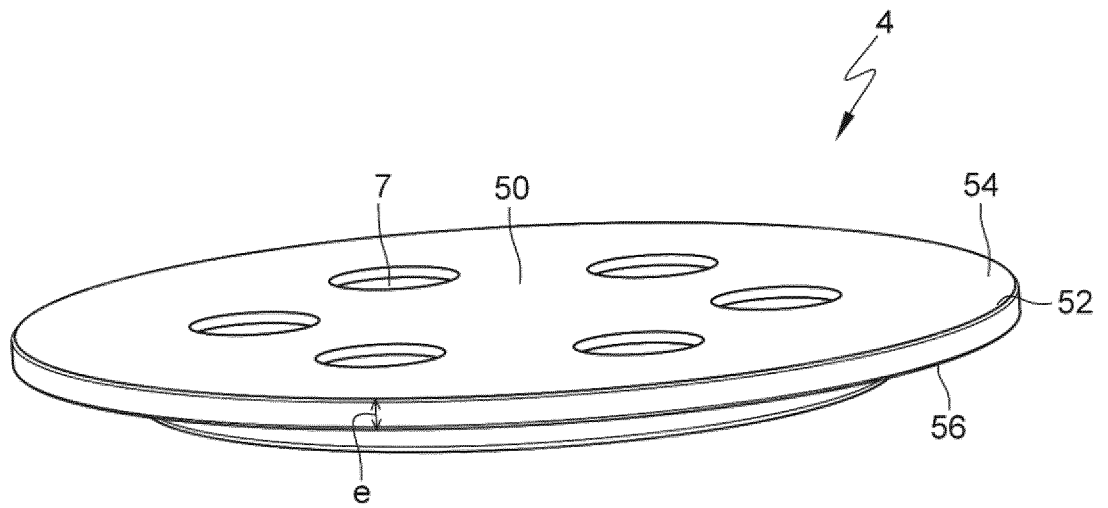
[Revendication 9] Procédé de stockage souterrain pour le stockage de fluides, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :
aménager un évidement (2) dans un terrain (40), ledit évidement (2) présentant un fond (3),
fournir un élément de support (4) comprenant au moins une ouverture (7) apte à recevoir un élément d'assemblage (18),
fournir au moins un réservoir (10), ledit réservoir (10) présentant un axe longitudinal (1), 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 inférieure (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).

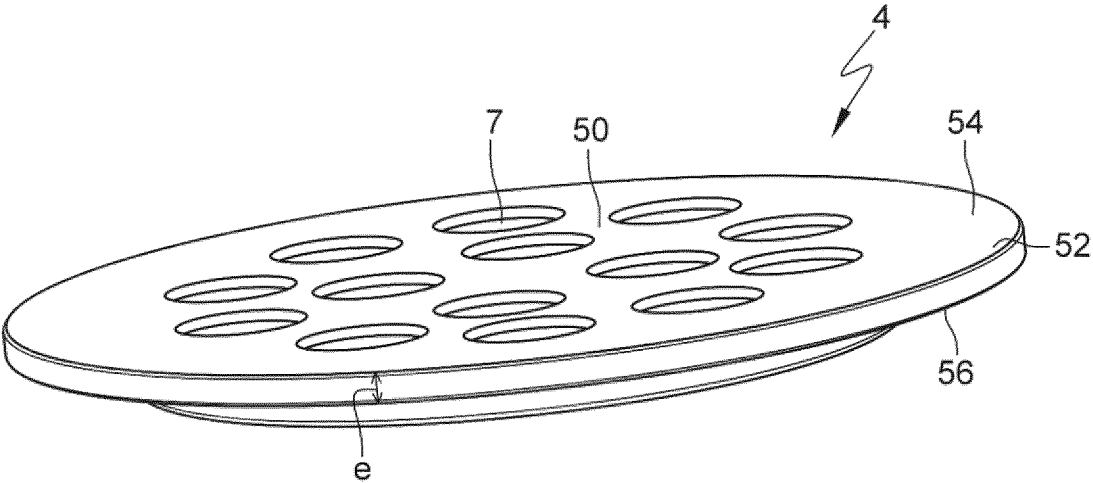
[Fig 1]



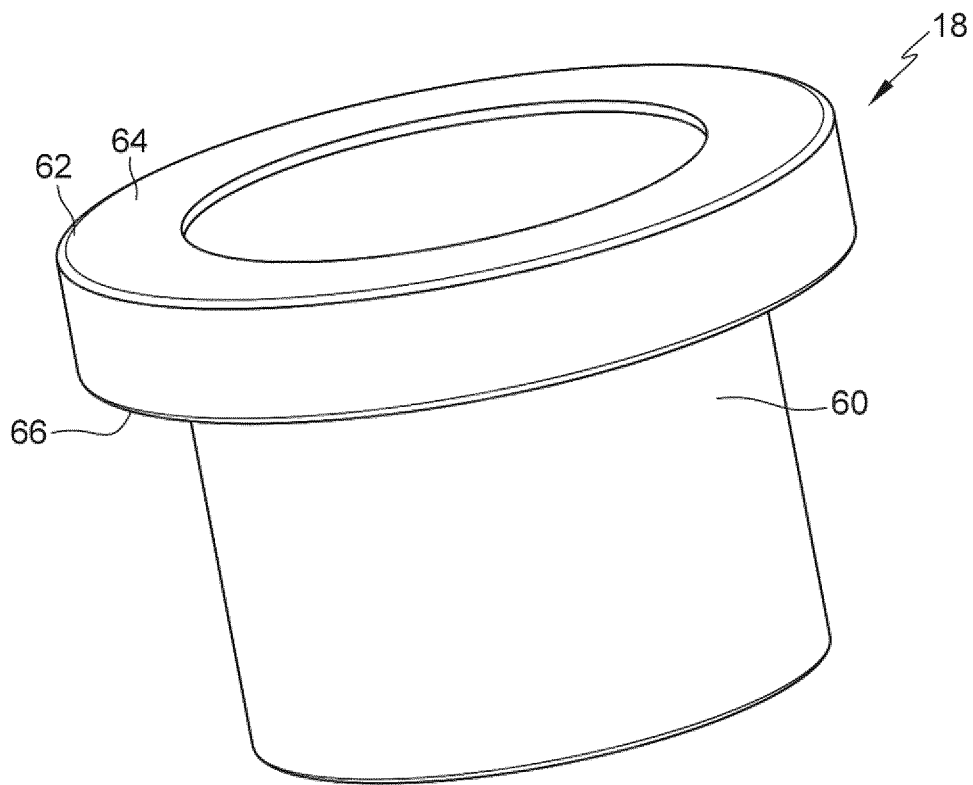
[Fig 2]



[Fig 3]



[Fig 4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/061094

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER*F17C 1/00*(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F17C

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 202915039 U (SHIJIAZHUANG ENRIC GAS EQUIPMENT CO LTD) 01 May 2013 (2013-05-01) figure 1	1-9
A	US 10837601 B2 (MERCER RONALD R [US]; MERCER MICHAEL DOUGLAS [US]) 17 November 2020 (2020-11-17) figures 3-7	1-9
A	EP 3792467 A1 (POLITECHNIKA SLASKA IM WINCENT [PL]) 17 March 2021 (2021-03-17) figure 1	1-9
A	US 5333465 A (MCBRIDE TERRY R [US]) 02 August 1994 (1994-08-02) figure 2	1-9
A	DE 1812859 A1 (ROHMER RICHARD HEATH) 16 October 1969 (1969-10-16) figure 1	1-9
A	JP S53109216 A (IKESUE TOHACHIROU) 22 September 1978 (1978-09-22) figure 1	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 July 2023

Date of mailing of the international search report

18 July 2023

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Papagiannis, Michail

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2023/061094

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	202915039	U	01 May 2013	NONE	
US	10837601	B2	17 November 2020	NONE	
EP	3792467	A1	17 March 2021	EP 3792467 A1	17 March 2021
				PL 242184 B1	23 January 2023
US	5333465	A	02 August 1994	NONE	
DE	1812859	A1	16 October 1969	BE 725497 A	29 May 1969
				DE 1812859 A1	16 October 1969
				DK 123087 B	15 May 1972
				ES 363790 A1	16 December 1970
				FR 1596297 A	15 June 1970
				GB 1194147 A	10 June 1970
				NL 6903615 A	11 September 1969
				SE 336985 B	19 July 1971
JP	S53109216	A	22 September 1978	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2023/061094

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. F17C1/00

ADD.

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

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

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

F17C

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	CN 202 915 039 U (SHIJIAZHANG ENRIC GAS EQUIPMENT CO LTD) 1 mai 2013 (2013-05-01) figure 1 -----	1-9
A	US 10 837 601 B2 (MERCER RONALD R [US]; MERCER MICHAEL DOUGLAS [US]) 17 novembre 2020 (2020-11-17) figures 3-7 -----	1-9
A	EP 3 792 467 A1 (POLITECHNIKA SLASKA IM WINCENT [PL]) 17 mars 2021 (2021-03-17) figure 1 -----	1-9
A	US 5 333 465 A (MCBRIDE TERRY R [US]) 2 août 1994 (1994-08-02) figure 2 -----	1-9
	-/-	



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



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

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

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

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

10 juillet 2023

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

18/07/2023

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Papagiannis, Michail

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DE 18 12 859 A1 (ROHMER RICHARD HEATH) 16 octobre 1969 (1969-10-16) figure 1 -----	1-9
A	JP S53 109216 A (IKESUE TOHACHIROU) 22 septembre 1978 (1978-09-22) figure 1 -----	1-9

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2023/061094

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 202915039	U	01-05-2013	AUCUN	
US 10837601	B2	17-11-2020	AUCUN	
EP 3792467	A1	17-03-2021	EP 3792467 A1	17-03-2021
			PL 242184 B1	23-01-2023
US 5333465	A	02-08-1994	AUCUN	
DE 1812859	A1	16-10-1969	BE 725497 A	29-05-1969
			DE 1812859 A1	16-10-1969
			DK 123087 B	15-05-1972
			ES 363790 A1	16-12-1970
			FR 1596297 A	15-06-1970
			GB 1194147 A	10-06-1970
			NL 6903615 A	11-09-1969
			SE 336985 B	19-07-1971
JP S53109216	A	22-09-1978	AUCUN	