

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé et dispositif de forage grand diamètre ou de creusement de puits suivant plusieurs inclinaisons.

②② Date de dépôt : 09.09.19.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SURETÉ NUCLÉAIRE ÉTABLISSEMENT
PUBLIC A CARACTÈRE INDUSTRIEL ET
COMMERCIAL — FR.*

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 12.03.21 Bulletin 21/10.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 17.09.21 Bulletin 21/37.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : CABRERA NUNEZ Justo.

⑦③ Titulaire(s) : *INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET
DE SURETÉ NUCLÉAIRE ÉTABLISSEMENT PUBLIC
A CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL.*

⑦④ Mandataire(s) : REGIMBEAU.



Description

Titre de l'invention : Procédé et dispositif de forage grand diamètre ou de creusement de puits suivant plusieurs inclinaisons

DOMAINE DE L'INVENTION

- [0001] La présente invention s'inscrit dans le domaine des forages et/ou creusements non destructifs et des carottages, réalisés par exemple dans les roches argileuses pour réaliser des puits et/ou échantillonner la roche.
- [0002] L'invention peut notamment être mise en œuvre pour les travaux de BTP, le stockage géologique à très long terme des déchets radioactifs issus des installations nucléaires, ou plus généralement pour tous types de travaux de creusement comme le creusement de connexions de cheminée ou de puits.

ETAT DE LA TECHNIQUE

- [0003] Le stockage de déchets nucléaires dans un terrain, par exemple dans des couches rocheuses imperméables, nécessite la réalisation de forages et la mise en place de bouchons qui garantissent l'étanchéité des forages.
- [0004] La plupart des procédés de forage de grand diamètre connus impliquent l'utilisation de couronnes de forage qui creusent le terrain à forer de manière destructive. Les parois des roches creusées sont en partie endommagées. Par « forage de grand diamètre », on entendra dans toute la suite un forage dont le diamètre minimal est supérieur ou égal à 60 centimètres, voire supérieur ou égal à 1 mètre. Dans le cas du prélèvement d'une carotte, les parois de la carotte peuvent partiellement être endommagées et présenter une surface extérieure irrégulière.
- [0005] Pour les programmes de recherche concernant le stockage de déchets nucléaires, notamment pour les tests de scellement ou éventuellement pour des ouvrages de stockage, il est important que les roches environnant le puits de forage soient peu endommagées et comprennent aussi peu de fissures que possible pour éviter des fuites de déchets.
- [0006] Pour d'autres types de travaux de creusement, il est également important d'obtenir des parois de forage nettes avec un faible endommagement des roches environnantes, afin par exemple d'éviter des infiltrations d'eau si le creusement sert à la réalisation d'un puits, ou d'éviter une déstructuration si le creusement sert à connecter plusieurs ouvrages.
- [0007] La demande de brevet FR 2 915 232 décrit l'utilisation d'un trépan muni de plusieurs lames, pour forer rapidement des puits de grande profondeur sans risque de colmatage du puits de forage. Une carotte de faible diamètre, présentant des bords nets, peut être extraite du terrain foré via une cavité interne du trépan.

- [0008] Toutefois, les roches au voisinage du puits de forage demeurent endommagées par les lames du trépan. De plus, pour une étude géologique ou géotechnique, il est souhaitable d'obtenir des carottes de diamètre élevé et proche de celui du puits de forage, ce qui n'est pas permis par le dispositif de cette demande de brevet au vu de la taille de la cavité interne du trépan.
- [0009] La demande de brevet FR 2 974 141 déposée au nom de la Demanderesse décrit un procédé de forage non destructif apte à réduire les perturbations des roches environnant le puits de forage et les perturbations des parois de carottes. Ce procédé comprend l'insertion dans le terrain d'un panier de confinement présentant une fente longitudinale apte à se déformer radialement, puis l'actionnement d'un éclateur contenu dans le panier pour éclater les roches de la portion de terrain confinée dans le panier.
- [0010] Toutefois, l'éclatement radial des roches dans la zone de forage génère des ondes de choc qui endommagent fortement la carotte. Les roches extraites du terrain sont déstructurées ; ce procédé ne permet pas la récupération d'une carotte en un seul bloc.
- [0011] En outre, l'extraction des carottes à l'issue de l'éclatement est principalement réalisée en récupérant les roches extraites par gravité. Ce mode d'extraction n'est utilisable que pour des puits de forage s'étendant selon un axe horizontal ou très peu incliné.
- [0012] Pour de nombreuses applications et par exemple dans le domaine du BTP, de la recherche concernant les problématiques de stockages des déchets, ou encore le creusement de puits, il peut cependant être nécessaire de forer le terrain selon un axe sensiblement vertical ou incliné descendant.
- [0013] Par ailleurs, pour les travaux de creusement dans le domaine du BTP, il est nécessaire de réduire les perturbations du matériau ou de la roche forée et d'obtenir une bonne finition des parois.
- [0014] Aucune des solutions mentionnées ci-avant ne permet de choisir invariablement toute inclinaison de l'axe de forage par rapport à la surface du sol, tout en permettant d'extraire des carottes dont les surfaces sont régulières.

DESCRIPTION GENERALE DE L'INVENTION

- [0015] Il existe, au regard de ce qui précède, un besoin pour un procédé de forage non destructif à l'issue duquel les parois des carottes extraites sont régulières et peu perturbées.
- [0016] On cherche également à limiter la détérioration des roches avoisinant le puits de forage dans le terrain, avec notamment la finalité d'obtenir un forage compatible avec les programmes de recherche sur le stockage de longue durée de déchets nucléaires.
- [0017] Il existe en outre un besoin pour un procédé de forage non destructif de grand diamètre (typiquement supérieur à 60 centimètres) qui permette la réalisation de forages selon des axes de forage inclinés par rapport à l'horizontale, voire verticaux,

sur une profondeur importante (typiquement supérieure à 10 mètres).

[0018] Le procédé recherché doit être peu onéreux et peu encombrant, tout en garantissant un haut niveau de sécurité et une bonne qualité de finition des parois du puits de forage.

[0019] De préférence, le procédé recherché n'exige pas un effort mécanique important pour le contrôle des instruments de forage et l'extraction des carottes.

[0020] A ce titre, un premier objet de l'invention est un procédé de réalisation d'un forage, notamment d'un forage de grand diamètre, le long d'un axe de forage dans un terrain, comprenant des étapes de :

i) creusement d'un interstice dans le terrain, l'interstice étant de forme sensiblement cylindrique centrée sur l'axe de forage,

ii) insertion d'une paroi latérale d'un panier de découpe dans l'interstice, la paroi entourant des lames du panier de découpe,

iii) actionnement des lames pour détacher une portion de terrain confinée à l'intérieur de la paroi latérale, ladite portion s'étendant jusqu'aux lames depuis une paroi de tête du panier,

iv) évacuation du panier de découpe et extraction de la portion de terrain, de sorte à creuser le forage.

[0021] Le panier de découpe utilisé pour le forage comprend ainsi un dispositif de coupe à l'aide des lames, les lames étant situées de préférence au cœur du dispositif. Le dispositif de coupe est préférentiellement placé sur un axe longitudinal du panier. Au cours du procédé, l'actionnement des lames, après insertion du panier dans l'interstice, permet le détachement d'une portion entière de terrain qui conserve une forme correspondant à celle du corps du panier. La portion de terrain est extraite du terrain par évacuation du panier de découpe (typiquement par soulèvement du panier le long de l'axe de forage, dans un sens opposé au sens de forage), ce qui a pour effet d'augmenter la profondeur du forage selon l'axe de forage.

[0022] Un premier avantage de ce procédé est qu'il n'est pas nécessaire d'éclater les roches contenues à l'intérieur du panier pour creuser le forage et détacher les roches à extraire. La découpe du terrain par les lames constitue une option non destructive pour les roches du terrain.

[0023] On obtient ainsi un puits de forage dont les parois sont régulières et on réduit l'endommagement des roches qui avoisinent le puits de forage, ainsi que l'endommagement des roches de la carotte constituée par la portion de terrain évacuée.

[0024] Un avantage additionnel est que l'actionnement des lames ne nécessite pas une grande puissance. Dans le cas d'un actionnement par vérin hydraulique, une pression autour de 100-200 bars pour le fluide du vérin peut suffire pour le déplacement d'une lame dans une roche argileuse. Dans une roche plus dure, cette pression de coupe peut

être plus importante. Il n'est pas nécessaire de déplacer les lames de sorte qu'elles traversent la largeur de la portion de terrain à découper, car un faible déplacement des lames peut suffire à créer une surface de rupture qui s'étend à l'intérieur du panier de découpe, permettant de désolidariser la portion de la roche à extraire (carotte) de son milieu.

- [0025] D'autres caractéristiques optionnelles et non limitatives du procédé de l'invention sont les suivantes, prises seules ou en l'une quelconque des combinaisons techniquement possibles :
- [0026] - les étapes i) à iv) sont répétées selon un nombre d'itérations dépendant d'une distance entre la paroi de tête du panier de découpe et une position axiale des lames selon l'axe de forage.
- [0027] - le procédé comprend en outre une étape préliminaire de réalisation d'un forage d'exploration le long de l'axe de forage, un diamètre intérieur de l'interstice dans le terrain étant supérieur à un diamètre du forage d'exploration, le forage d'exploration et l'interstice étant concentriques.
- [0028] - le forage d'exploration comprend une paroi interne et, au cours de l'étape ii), les lames sont positionnées à l'intérieur du forage d'exploration et en regard de la paroi interne.
- [0029] - le panier de découpe est déplacé le long d'une tige de guidage pour son insertion dans l'interstice, le procédé comprenant une étape, postérieure à l'insertion, de libération du panier de sorte à le rendre mobile en translation le long de la tige de guidage.
- [0030] - l'axe de forage présente, par rapport à une surface du terrain, un angle d'inclinaison compris entre 10 et 90 degrés, de préférence compris entre 45 et 90 degrés, encore plus préférentiellement compris entre 80 et 90 degrés.
- [0031] Un deuxième objet de l'invention est un panier de découpe pour la réalisation d'un forage, notamment d'un forage de grand diamètre, dans un terrain, d'après un procédé tel que défini ci-avant, le panier comprenant :
 - un corps de panier de forme sensiblement cylindrique centrée sur un axe de panier, comprenant une paroi latérale et une paroi de tête,
 - une pluralité de lames entourées par la paroi latérale,
 - des moyens de déplacement des lames par rapport à la paroi latérale, les lames étant aptes à détacher une portion de terrain.
- [0032] Le panier de l'invention est, de manière optionnelle et non limitative, complété par les caractéristiques suivantes prises seules ou en combinaison :
- [0033] - la paroi latérale présente un diamètre compris entre 600 et 1500 millimètres, de préférence un diamètre égal à un mètre.
- [0034] - le panier comprend une attache complémentaire avec une tige de guidage, de sorte à

être déplacé en translation le long de la tige de guidage.

[0035] - au moins une lame présente un bord de découpe qui admet un plan parallèle à la paroi de tête comme plan de symétrie.

[0036] Un troisième objet de l'invention est un dispositif de réalisation d'un forage, notamment d'un forage de grand diamètre, le long d'un axe de forage dans un terrain, le dispositif comprenant :

- une couronne de creusement configurée pour creuser un interstice de forme sensiblement cylindrique dans le terrain,

- un panier de découpe adapté pour être inséré dans l'interstice, le panier de découpe étant tel que défini ci-avant,

- un actionneur configuré pour commander un déplacement des lames du panier par rapport à la paroi latérale du panier,

- des moyens d'évacuation du panier configurés pour supporter le poids d'une portion de terrain portée par le panier,

le dispositif étant configuré pour mettre en œuvre un procédé de réalisation d'un forage tel que défini ci-avant.

DESCRIPTION GENERALE DES FIGURES

[0037] D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des figures annexées parmi lesquelles :

[0038] [fig.1] La Figure 1 représente les étapes d'un procédé de réalisation de forage selon un exemple de réalisation de l'invention ;

[0039] [fig.2a] La Figure 2a illustre schématiquement un premier état d'un terrain au cours du procédé représenté en Figure 1 ;

[0040] [fig.2b] La Figure 2b illustre schématiquement un deuxième état d'un terrain au cours du procédé représenté en Figure 1 ;

[0041] [fig.2c] La Figure 2c illustre schématiquement un troisième état d'un terrain au cours du procédé représenté en Figure 1 ;

[0042] [fig.3a] La Figure 3a est une vue schématique d'un panier de découpe avec son dispositif de coupe, au cours d'un forage ;

[0043] [fig.3b] La Figure 3b est une vue schématique de dessous dudit panier de découpe ;

[0044] [fig.4] La Figure 4 illustre des éléments d'un exemple de support de lame dudit panier de découpe, dans une position de déploiement des lames.

DESCRIPTION DETAILLEE DE MODES DE REALISATION

[0045] Dans toute la description qui va suivre, on décrit l'exemple d'un forage de grand diamètre réalisé dans un terrain de type argileux, en vue de réaliser des études géologiques et/ou géotechniques et/ou éventuellement des programmes de recherche pour

le stockage de déchets nucléaires. Le forage est réalisé selon un axe sensiblement vertical. On comprendra toutefois que le procédé de réalisation de forage décrit ci-après peut également être mis en œuvre, avec les mêmes avantages, pour la réalisation d'un forage selon un axe autre que vertical et/ou d'un forage de diamètre quelconque et/ou d'un forage dans un autre type de terrain.

[0046] Sur l'ensemble des figures, les éléments similaires portent des références identiques.

[0047] Dispositif de forage

[0048] Un dispositif de forage de grand diamètre selon un exemple de réalisation comprend une sondeuse pour la manipulation de couronnes de creusement et de paniers de découpe. La sondeuse (portant la référence 7 sur les figures) a par exemple une puissance comprise entre 40 et 60 kilowatts et peut exercer un couple compris entre 400 et 600 décanewton par mètre. Elle comprend de préférence un moteur électrique adapté aux milieux souterrains.

[0049] Pour la réalisation d'un forage de grand diamètre, la sondeuse est configurée pour entraîner les outils suivants en translation le long d'un axe de forage et en rotation sur eux-mêmes :

[0050] - une couronne de creusement 4 du dispositif de forage, qui permet la réalisation d'un interstice de forme sensiblement cylindrique dans les roches du terrain,

[0051] - un panier de découpe 2 du dispositif de forage, dont la paroi latérale présente une forme adaptée pour une insertion dans l'interstice creusé par la couronne de creusement.

[0052] Dans cet exemple, la couronne 4 présente une forme sensiblement cylindrique, la paroi latérale du cylindre étant fermée du côté de la paroi de tête de la couronne et ouverte du côté du fond d'avancement 40 permettant le creusement de l'interstice.

[0053] Ici, la couronne 4 est une couronne diamantée dont la paroi latérale présente une longueur comprise entre 50 et 100 centimètres. Le fond d'avancement 40 diamanté vient scier les roches du terrain lorsque la couronne 4 est mise en rotation et mise en contact avec le terrain. La couronne peut être entraînée en rotation par le moteur de la sondeuse. La section de coupe du fond d'avancement 40 diamanté est faible, de préférence de 2 à 10 millimètres (par exemple entre 4 et 5 millimètres) pour réduire au maximum l'endommagement des roches du terrain avoisinant l'interstice creusé.

[0054] Le diamètre extérieur de la paroi latérale de la couronne 4 porte la référence D1 sur les figures. On notera que le diamètre D1 correspond au diamètre de la paroi du puits de forage, une fois le forage achevé. Le diamètre D1 est compris de préférence entre 600 et 1500 millimètres, encore plus préférentiellement entre 800 et 1500 millimètres, et est ici égal à 1000 millimètres.

[0055] De préférence, la couronne 4 comprend un centreur 41 localisé sur un axe longitudinal de la couronne. L'axe longitudinal de la couronne s'étend depuis la paroi de

tête de la couronne, à l'intérieur de la paroi latérale. Le centreur 41 est concentrique avec la paroi latérale et permet de guider la couronne 4 le long du forage d'exploration. Le diamètre extérieur du centreur porte la référence D2 ; le diamètre D2 est inférieur au diamètre D1.

- [0056] De préférence, le diamètre D2 est compris entre 250 et 300 millimètres. Dans cet exemple, le diamètre D2 est égal à 250 millimètres. Un avantage d'un forage d'exploration de diamètre supérieur à 250 millimètres est de se passer d'un forage intermédiaire. Le forage d'exploration est alors réalisé par un carottier.
- [0057] Le panier de découpe 2 comprend un corps de panier avec une paroi latérale portant la référence 20 sur les figures, de forme cylindrique, et une paroi de tête 21 fermant la paroi latérale 20.
- [0058] La paroi latérale est ouverte du côté opposé à la paroi de tête, et présente un diamètre extérieur sensiblement égal à D1 et une épaisseur inférieure ou égale à la section de coupe de la couronne 4. Ainsi, le bord opposé à la paroi de tête peut être inséré dans un interstice creusé par la couronne 4.
- [0059] Le panier 2 comprend en outre des lames 22 disposées à l'intérieur de la paroi latérale 20 et des moyens 23 de déplacement des lames, dont un exemple sera détaillé ci-après.
- [0060] Dans cet exemple, le panier de découpe 2 est très similaire à la couronne 4 à l'exception du bord opposé à la paroi de tête, ce bord n'étant pas diamanté dans le panier 2. Dans le cas où on prévoit le creusement d'un forage d'exploration, le panier 2 comprend aussi avantageusement un centreur 24 à la taille du forage d'exploration.
- [0061] La sondeuse 7 comprend des moyens d'évacuation du panier de découpe 2 permettant une extraction du panier 2 lorsque ce dernier contient des roches à extraire. Ici, les moyens d'évacuation comprennent une tige de guidage 6 dont une extrémité est fixée à un support de train de tiges de la sondeuse 7, et dont l'autre extrémité permet la fixation amovible d'un outil. L'outil fixé à la tige peut être le panier 2 ou la couronne 4 ou éventuellement un carottier ou d'autres outils utiles à la réalisation du forage.
- [0062] Le panier 2 et la couronne 4 présentent de préférence chacun une pluralité de pattes d'accrochage sur la tige 6 de guidage (non illustrées).
- [0063] La sondeuse 7 est par exemple munie d'un mât permettant de faire avancer ou reculer un train de tiges portant la tige 6 le long de l'axe de forage. La sondeuse 7 comprend en outre une tête de rotation pour entraîner en rotation l'outil installé sur la tige de guidage.
- [0064] Le dispositif de forage comprend également un actionneur 5 pouvant coopérer avec les moyens 23 de déplacement des lames (par exemple avec des vérins), afin de déplacer les lames avec un effort mécanique suffisant pour couper les roches du terrain.

- [0065] Dans l'exemple ci-après, l'actionneur 5 est une pompe séparée de la sondeuse 7, de préférence une pompe à main. La pompe 5 peut être mise en communication fluidique avec un ou plusieurs vérins 23 du panier 2. Ici, des câbles flexibles 50 sont disposés le long du forage, depuis la surface jusqu'au panier 2, pour l'alimentation hydraulique des vérins 23.
- [0066] De manière avantageuse, le dispositif de forage comprend en outre :
- [0067] – Le carottier 8 de tout type connu, pour la réalisation d'un forage d'exploration dont le diamètre est inférieur à celui du forage de grand diamètre creusé par la couronne 4 et le panier 2. Le carottier 8 présente à son extrémité une couronne diamantée. Le diamètre de la couronne diamantée est ici compris entre 100 et 250 millimètres ;
- Un aléreur (non illustré) permettant d'élargir le forage d'exploration creusé à l'aide du carottier 8. L'aléreur est doté d'un centreur du diamètre du forage d'exploration. Ainsi, l'aléreur peut être guidé le long du forage d'exploration, ce qui évite des déviations lors du creusement du forage intermédiaire. L'aléreur comprend en outre une tête diamantée dont le diamètre extérieur correspond au diamètre D2 des centreurs du panier 2 et de la couronne 4. Le forage intermédiaire présente donc un diamètre final sensiblement égal au diamètre D2.
- En alternative, l'aléreur peut être omis dans le cas où le carottier 8 seule permet le creusement du forage d'exploration de diamètre D2 sans forage intermédiaire, notamment dans le cas où le diamètre du forage d'exploration est supérieur ou égal à 250 millimètres ;
- Une plate-forme (non illustrée) pour la surélévation de la sondeuse 7, afin de donner la place suffisante pour la récupération de la couronne 4 ou le panier D1. Une telle plate-forme peut comprendre des traverses en bois avec une distribution croisée, favorisant une bonne stabilité de la sondeuse. Au premier niveau, les traverses sont de préférence orthogonales par rapport à l'axe principal du corps de la sondeuse ;
- Un compresseur pour l'injection d'air dans le forage et un aspirateur pour récupérer la poussière générée par les creusements complètent le dispositif.
- [0068] On a représenté en **Figure 1** un exemple de procédé de réalisation d'un forage, ce procédé pouvant être mis en œuvre par un dispositif de réalisation de forage tel que décrit ci-avant.
- [0069] Le forage est réalisé sur une longueur L dans un terrain 1. Le forage est réalisé dans un sol de surface S. L'angle d'inclinaison α de l'axe A par rapport à la surface S - ou par rapport à un plan représentant le niveau moyen du sol - est compris entre environ 10 et 90 degrés, par exemple compris entre 45 et 90 degrés, par exemple compris entre

80 et 90 degrés. L'axe A est ici vertical, l'angle α ayant une mesure de 90 degrés.

[0070] La mise en œuvre des étapes du procédé selon cet exemple est décrite ci-après.

[0071] Réalisation d'un forage d'exploration

[0072] Des étapes préliminaires au creusement du forage d'exploration peuvent être mises en œuvre selon les besoins : installation de la plate-forme et/ou mise en place du compresseur et de l'aspirateur et/ou allumage de caméras de suivi installées dans le panier de découpe 2.

[0073] Ensuite, à une étape 100 optionnelle, on creuse un forage d'exploration 3 le long de l'axe A de forage, à l'aide du carottier 8. Le carottier 8 est relié au train de tiges de la sondeuse 7. On creuse soit un forage d'exploration suivi de la réalisation du forage intermédiaire avec l'aléreur, soit directement un forage d'exploration au diamètre des centreurs de la couronne ou panier.

[0074] On a représenté en **Figure 2a** l'état du terrain à l'issue du creusement 100 du forage d'exploration. Le forage d'exploration 3 s'étend sur la longueur L. Le forage 3 comprend une paroi interne 30 de forme sensiblement cylindrique. Comme il a été vu précédemment, le diamètre final D2 du forage d'exploration a été choisi pour correspondre aux diamètres des centreurs respectifs de la couronne 4 et du panier 2.

[0075] Un avantage d'un tel forage d'exploration est de guider le panier de découpe 2 lors du creusement ultérieur du forage de grand diamètre.

[0076] Il est en outre possible d'extraire une ou plusieurs carottes du terrain à ce stade à l'aide du carottier 8, pour analyser les matériaux de la zone de forage. Les carottes extraites ont par exemple une longueur comprise entre 20 et 100 centimètres. Les résultats d'analyse peuvent être utilisés pour connaître une composition du terrain ou pour régler une puissance des outils de creusement et/ou un effort mécanique communiqué aux lames du panier de découpe.

[0077] Creusement d'un forage carotté

[0078] De retour à la Figure 1, le procédé se poursuit par une étape 200 de creusement d'un interstice 10 à la taille de la paroi latérale 20 du panier 2 de découpe. On entend par « interstice » une cavité de faible épaisseur, pratiquée dans la surface libre du puits de forage. L'interstice 10 est ici cylindrique. Les parois interne et externe de l'interstice s'étendent sensiblement parallèlement à l'axe de forage.

[0079] La couronne 4 de creusement est fixée à l'extrémité de la tige 6 de guidage, puis le centreur 41, qui est solidaire du reste de la couronne 4, est inséré à travers l'extrémité libre du forage d'exploration 3. Le centreur vient de préférence buter contre la paroi interne 30 du forage d'exploration.

[0080] On actionne ensuite la couronne 4 de sorte que le bord diamanté 40 vient creuser l'interstice 10 dans le sol. Pendant le creusement, la paroi de tête de la couronne 4 progresse jusqu'à toucher le niveau du puits de forage. Le bord diamanté 40 étant de

faible épaisseur, les roches avoisinant l'interstice sont peu endommagées et la finition des parois de l'interstice est nette.

[0081] Grâce à la faible épaisseur du bord diamanté de la couronne 4 de creusement, on limite la fissuration du sol qui avoisine la zone de forage.

[0082] La **Figure 2b** illustre le terrain à l'issue du creusement 200 de l'interstice de diamètre D1, avant le retrait de la couronne 4 du terrain.

[0083] La longueur E de l'interstice selon l'axe A est supérieure ou égale à la longueur d prévue pour la carotte qui sera ensuite extraite. La longueur E de l'interstice est de préférence comprise entre 30 et 70 centimètres. Cette longueur est ici de 50 centimètres.

[0084] Une fois l'interstice 10 réalisé, on fait remonter la couronne 4 via le train de tiges et on retire la couronne 4 de l'extrémité du train de tiges.

[0085] Découpe et extraction d'une carotte

[0086] De retour à la Figure 1, on réalise ensuite l'insertion 300 du panier de découpe 2 pour procéder à la découpe et à la récupération de la carotte.

[0087] La portion de terrain à extraire lors de cette étape, qui constitue la carotte, est délimitée par la paroi interne de l'interstice 10. Dans le cas où un forage d'exploration a été réalisé, la carotte à extraire s'étend radialement entre le forage d'exploration 3 et la paroi interne de l'interstice 10.

[0088] Pour ce faire, le panier de découpe 2 est mis en place sur la tige de guidage 6, puis descendu le long de l'axe A de forage, jusqu'à ce que la paroi de tête 21 du panier 2 soit en butée contre le fond du puits de forage.

[0089] La **Figure 2c** illustre l'état du terrain et du dispositif de forage, une fois que le panier 2 de découpe est inséré dans l'interstice 10. Ici, on vient de débiter le forage

[0090] On a représenté en pointillés sur la Figure 2c le puits de forage complet, ainsi que des plans successifs correspondant aux phases de creusement du puits, à mesure que le forage est creusé le long de l'axe A jusqu'à atteindre la longueur L.

[0091] Selon un mode de réalisation préférentiel, une fois le panier 2 en place dans l'interstice, on réalise la libération 400 du panier de découpe par rapport à la tige de guidage 6. Le dispositif de découpe du panier 2 peut alors se déplacer en translation sous l'effet d'une sollicitation, mais demeure solidaire de la tige 6 en rotation.

[0092] Un avantage de ce mode de réalisation est de permettre, lors du détachement ultérieur de la carotte par rapport au reste du terrain, à la paroi de tête 21 de suivre la légère élévation de la carotte à l'intérieur du corps du panier 2. Comme il sera vu ci-après, les lames 22 doivent en effet pénétrer dans une partie de la carotte pour détacher cette dernière. L'élévation de la paroi de tête le long de la tige de guidage évite d'endommager la paroi de tête 21 et de bloquer la surface supérieure de la carotte détachée.

- [0093] Selon un mode de réalisation alternatif, le panier de découpe 2 n'est pas libéré en translation le long de la tige 6 avant l'actionnement des lames 22. Pour compenser la légère élévation de la carotte dans le panier, la tête de rotation peut être commandée pour surélever la paroi de tête de manière contrôlée, préalablement au détachement de la carotte. On évite, là encore, que la carotte détachée ne soit bloquée par la paroi de tête du panier.
- [0094] Dans l'un ou l'autre des modes de réalisation, on actionne ensuite les lames 22 à une étape 500 pour détacher la portion de terrain correspondant à la carotte.
- [0095] Au cours de l'actionnement 500 des lames, les lames 22 se déplacent d'une position rétractée vers une position déployée et pénètrent dans les roches de la portion de terrain 11 s'étendant entre la paroi de tête 21 et les lames. Selon un exemple, les lames 22 s'éloignent radialement de l'axe de forage et viennent fissurer la roche.
- [0096] Le déploiement et la pénétration des lames 22 a pour effet de créer une surface de rupture. Une surface de rupture se propage par exemple radialement depuis un bord coupant des lames jusqu'à la paroi latérale 20. La portion de terrain 11 est ainsi détachée du reste du terrain, tout en restant confinée dans le panier 2.
- [0097] La surface de rupture est par exemple perpendiculaire à l'axe A de forage, si les lames 22 attaquent la roche perpendiculairement audit axe.
- [0098] On comprendra que la surface de faiblesse mécanique ou de rupture délimite le bord inférieur de la carotte qui sera évacuée par la suite. Le bord supérieur est quant à lui délimité par la paroi de tête 21 du panier 2.
- [0099] Il est possible de placer les lames 22 de sorte qu'elles attaquent le terrain dans le sens de la stratification des roches, notamment dans le cas où cette stratification est inclinée par rapport à l'horizontale. Un avantage est d'obtenir un meilleur contrôle de la géométrie de la surface de rupture, et donc de la forme de la carotte extraite.
- [0100] Les lames 22 présentent une dureté suffisante pour, d'une part, ne pas céder ou plier face à la résistance mécanique de la roche, et d'autre part, permettre le soulèvement de la portion de terrain 11 par remontée du panier, sans céder sous le poids de la carotte réalisée.
- [0101] Il est d'autant plus important que la résistance des lames au poids de la carotte soit élevée lorsque le forage est réalisé selon un axe A sensiblement vertical, car les lames doivent alors supporter tout le poids de la carotte.
- [0102] L'actionnement 500 des lames peut être réalisé par tout moyen de déplacement apte à fournir un effort mécanique suffisant pour pénétrer la roche et générer la surface de rupture. Selon un exemple décrit ci-après, les lames coopèrent avec des pistons actionnés par vérins, de préférence hydrauliques, pour déplacer les lames vers la position déployée.
- [0103] Une fois la carotte détachée, le panier de découpe est évacué à une étape 600 pour

récupérer la carotte. Le panier chargé avec la carotte est préférentiellement récupéré au niveau d'une plate-forme de déchargement. L'extraction de la portion de terrain 11 a pour effet d'augmenter la profondeur du puits de forage selon l'axe A.

- [0104] Le panier est ici remonté par la sondeuse 7. La remontée du panier chargé avec la carotte doit être réalisée lentement et avec précaution pour éviter le blocage, la rupture ou la chute de la carotte.
- [0105] Dans le cas où un forage d'exploration 3 a été réalisé, la carotte extraite, qui correspond à la portion de terrain 11, présente une forme de cylindre traversé par un canal central à la taille du forage d'exploration.
- [0106] On notera que le panier de découpe 2 et la carotte peuvent présenter un poids total dépassant la tonne. Les lames doivent donc être particulièrement résistantes au poids de la carotte et la tige de guidage doit supporter le poids du panier et de la carotte. Le système de guidage du panier le long de la tige de guidage doit être très solide pour éviter une chute.
- [0107] Après vérification du bon positionnement de la carotte sur la plate-forme de déchargement, les lames sont ramenées en position rétractée. La séparation du panier 2 et de la carotte est ainsi permise. La carotte étant posée sur la plate-forme, le panier est soulevé et le centreur 24 est, le cas échéant, retiré du canal central de la carotte.
- [0108] Selon un avantage du procédé de forage ici décrit, les surfaces de la carotte sont beaucoup plus nettes et moins fragiles que dans le cas où les roches formant la carotte auraient été détachées à l'aide d'un instrument plus invasif tel qu'un éclateur.
- [0109] Sur la Figure 2c, l'évacuation 600 des roches de la carotte, confinées dans le panier 2 entre la paroi de tête 21 et les lames 22, permet de débiter le creusement du forage. Un puits de forage est creusé dans le terrain, de forme complémentaire à celle de la carotte extraite. Le puits a par exemple approximativement la forme d'un cylindre centré sur l'axe A de forage, de longueur d. La longueur d correspond à la distance selon l'axe A entre la paroi de tête 21 et l'emplacement longitudinal des lames 22 sur ledit axe.
- [0110] Pour augmenter la profondeur du puits de forage, il convient d'extraire progressivement des carottes le long de l'axe A à une profondeur de plus en plus importante.
- [0111] A cette fin, les étapes 200 à 600 peuvent être répétées à une étape 700 selon un nombre prédéterminé d'itérations dépendant de la distance d. Le nombre d'itérations est typiquement égal au rapport de la longueur L totale souhaitée pour le forage, divisé par la distance d.
- [0112] La profondeur du forage, qui correspond ici à la longueur L, peut-être de plusieurs dizaines de mètres, de préférence entre 10 et 20 mètres.
- [0113] A l'issue du procédé de forage de la Figure 1, on obtient un puits de forage dans le terrain 1 dont les parois sont régulières. On réduit l'endommagement des roches du terrain 1 qui avoisinent le puits de forage.

- [0114] Dans la mesure où il n'est pas nécessaire de déplacer les lames 22 jusqu'à la paroi latérale 20 du panier lors du détachement de la carotte, la puissance mécanique à fournir au niveau des lames est limitée. Le procédé nécessite des instruments courants dans le domaine des forages géotechniques. Il est peu onéreux et assez facile à contrôler.
- [0115] On notera qu'il est possible d'obtenir un puits de forage de diamètre encore plus élevé, par exemple d'un diamètre supérieur à deux mètres, en utilisant le forage réalisé par le procédé de la Figure 1 comme guidage pour un centreur d'une couronne de creusement de diamètre très grand. On peut procéder à des élargissements successifs du puits de forage.
- [0116] Exemple de panier de découpe
- [0117] La **Figure 3a** est une vue rapprochée du panier de découpe 2 des Figures 2a à 2c selon un exemple de réalisation, dans une position d'actionnement des lames 22 du panier, alors que le panier est positionné dans l'interstice 10 du terrain 1.
- [0118] Les lames 22 sont situées sous la paroi de tête 21, du côté intérieur de la paroi latérale 20. Dans cet exemple, les lames 22 sont montées au voisinage de l'axe A sur un support de lame 25 placé à une extrémité inférieure du centreur 24.
- [0119] Les lames 22 présentent une position rétractée (non illustrée) et une position déployée représentée sur la Figure 3a. Le support de lame 25 est conformé pour pouvoir être inséré dans le forage d'exploration 3 lorsque les lames sont en position rétractée.
- [0120] Le support de lame 25 renferme en outre des moyens de déplacement des lames, ici deux vérins hydrauliques 23.
- [0121] Lorsque le panier de la Figure 3a est inséré dans l'interstice 10, le bord coupant de chacune des lames 22 fait face à la paroi interne du forage d'exploration 3.
- [0122] Ici, chacune des lames 22 comprend une surface supérieure et une surface inférieure, jointes du côté radialement externe par un bord de découpe 220.
- [0123] De façon avantageuse, les surfaces supérieure et inférieure sont parallèles à la paroi de tête 21 du panier, et les vérins 23 sont configurés pour causer le déplacement des lames 22 parallèlement à ladite paroi de tête et perpendiculairement à l'axe A de forage.
- [0124] Ainsi, lorsque les lames 22 sont déployées, de préférence simultanément, les bords de découpe 220 respectifs des lames pénètrent dans la roche au-delà de la paroi interne du forage d'exploration, comme illustré sur la Figure 3a. Une surface de faiblesse mécanique ou de rupture se crée dans la roche et se propage, permettant le détachement de la carotte.
- [0125] On a représenté en **Figure 3b** une vue en perspective de dessous du panier 2. Comme il est visible sur cette figure, les lames 22 présentent par exemple chacune une forme

de demi-lune et sont disposées de part et d'autre de l'axe du panier ; ledit axe correspond à l'axe du forage lorsque le panier est positionné dans le terrain pour réaliser le forage. Le support de lame 25 présente des ouvertures sur les côtés pour le passage des lames 22.

- [0126] De façon avantageuse, le panier de découpe 2 comprend également des caméras 26 positionnées pour le suivi en temps réel de l'actionnement des lames et de la découpe de la carotte dans le terrain. Ici, le panier comprend une caméra 26 par lame, les caméras étant disposées légèrement au-dessus des lames sur le centreur. Les câbles flexibles 60 utilisés pour l'actionnement des vérins 23 peuvent aussi être utilisés pour l'alimentation électrique des caméras et la réception des données issues de ces dernières.
- [0127] On notera qu'un panier de découpe permettant la mise en œuvre du procédé de forage décrit ci-avant peut présenter un nombre de lames supérieur à deux, par exemple quatre lames réparties régulièrement sur le périmètre du support de lame.
- [0128] Des organes mécaniques à l'intérieur du support de lame 25 sont représentés en **Figure 4**. Les moyens de déplacement des lames 22 comprennent des moyens de rappel 231, des vérins hydrauliques 23 et des pistons 232 associés aux vérins hydrauliques.
- [0129] La Figure 4 illustre une position déployée des lames 22, dans laquelle les lames sont écartées l'une de l'autre. Les bords de découpe 220 des lames font saillie de la paroi externe du support de lame 25, selon une longueur LL.
- [0130] Les moyens de rappel 231 sont ici formés d'un ressort dont les deux extrémités sont fixées chacune à l'une des lames 22. Le ressort 231 travaille en compression lorsque les lames 22 s'éloignent radialement de leur position rétractée.
- [0131] Chacune des deux lames est associée à un vérin hydraulique 23 positionné à la base de la lame, du côté opposé au bord de découpe. Chaque vérin 23 comprend un piston 232 comprenant une chambre de fluide. Les chambres de fluide sont en communication de fluide avec la pompe 5 via les câbles flexibles 60. Le fluide utilisé pour déplacer les pistons est par exemple de l'huile mise sous pression par la pompe 5.
- [0132] Sous une pression suffisante (par exemple supérieure à une pression minimale comprise entre 100 et 200 bars), les vérins 23 exercent un effort sur les lames qui dépasse l'effort de rappel du ressort 231. Les lames s'éloignent radialement jusqu'à une chute de pression qui correspond à la génération de la surface de rupture dans les roches confinées dans le panier, et à la pénétration des lames.

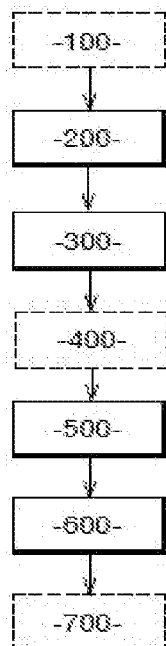
Revendications

- [Revendication 1] Procédé de réalisation d'un forage, notamment d'un forage de grand diamètre, le long d'un axe de forage (A) dans un terrain (1), le procédé comprenant des étapes de :
- i) réalisation (100) d'un forage d'exploration (3) le long de l'axe de forage (A), le forage d'exploration (3) réalisé présentant une paroi interne (30),
 - ii) creusement (200) d'un interstice (10) dans le terrain, l'interstice étant de forme sensiblement cylindrique centrée sur l'axe de forage (A), un diamètre (D1) intérieur de l'interstice (10) étant strictement supérieur à un diamètre (D2) du forage d'exploration (3) préalablement réalisé, l'interstice (10) étant concentrique avec le forage d'exploration,
 - iii) insertion (300) d'une paroi latérale (20) d'un panier de découpe (2) dans l'interstice (10), la paroi entourant des lames (22) du panier de découpe, les lames (22) s'insérant à l'intérieur du forage d'exploration (3) en regard de la paroi interne (30),
 - iv) actionnement (500) des lames (22) pour détacher une portion (11) de terrain confinée à l'intérieur de la paroi latérale (20), ladite portion s'étendant jusqu'aux lames (22) depuis une paroi de tête (21) du panier,
 - v) évacuation (600) du panier de découpe (2) et extraction de la portion (11) de terrain, de sorte à creuser le forage.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, les étapes ii) à v) étant répétées selon un nombre d'itérations dépendant d'une distance (d) entre la paroi de tête (21) du panier de découpe et une position axiale des lames (22) selon l'axe de forage (A).
- [Revendication 3] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel le creusement (200) de l'interstice (10) est réalisé à l'aide d'une couronne de creusement (4), la couronne de creusement (4) comprenant un centreur (41) configuré pour être inséré dans le forage d'exploration (3) lors du creusement (200).
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication 3, dans lequel le forage d'exploration (3) comprend une paroi interne (30) et dans lequel, au cours de l'étape iii), les lames (22) sont positionnées à l'intérieur du forage d'exploration et en regard de la paroi interne (30).
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le panier de découpe (2) est déplacé le long d'une tige de guidage (6) pour son insertion dans l'interstice (10), le procédé comprenant une étape,

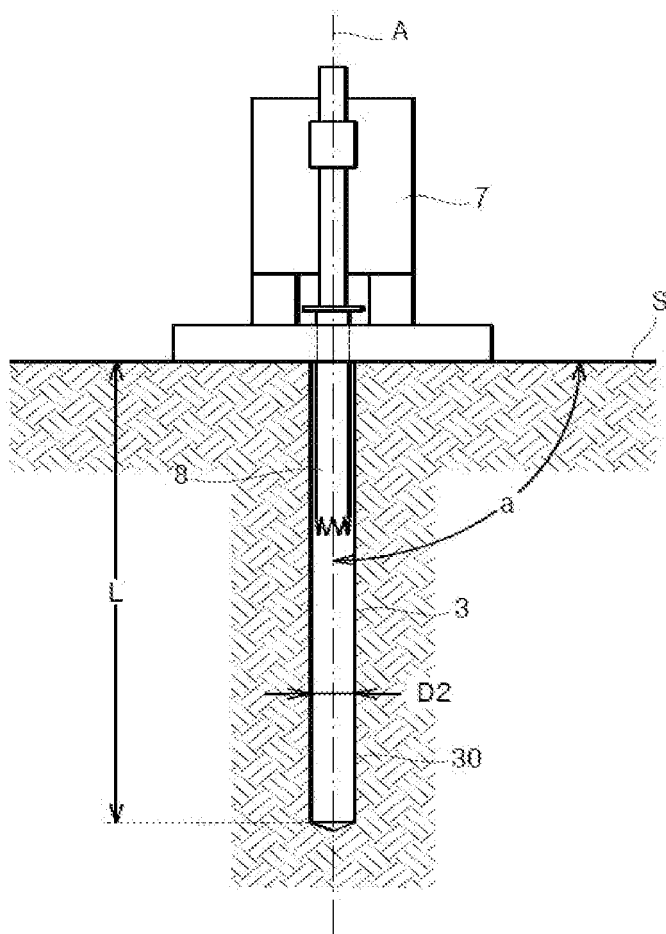
- postérieure à l'insertion (300), de libération (400) du panier (2) de sorte à le rendre mobile en translation le long de la tige de guidage (6).
- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'axe de forage (A) présente, par rapport à une surface (S) du terrain, un angle d'inclinaison (a) compris entre 10 et 90 degrés, de préférence compris entre 45 et 90 degrés, encore plus préférentiellement compris entre 80 et 90 degrés.
- [Revendication 7] Panier de découpe (2) pour la réalisation d'un forage, notamment d'un forage de grand diamètre, dans un terrain (1), d'après un procédé de réalisation d'un forage selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, le panier comprenant :
- un corps de panier de forme sensiblement cylindrique centrée sur un axe de panier, comprenant une paroi latérale (20) et une paroi de tête (21),
 - une pluralité de lames (22) entourées par la paroi latérale (20), les lames (22) étant configurées pour s'insérer à l'intérieur d'un forage d'exploration (3) de diamètre strictement inférieur à un diamètre (D1) de la paroi latérale (20),
 - des moyens (23) de déplacement des lames (22) par rapport à la paroi latérale (20), les lames étant aptes à détacher une portion de terrain.
- [Revendication 8] Panier de découpe selon la revendication 7, dans lequel le diamètre (D1) de la paroi latérale (20) est compris entre 600 et 1500 millimètres, et est de préférence égal à un mètre.
- [Revendication 9] Panier de découpe selon l'une quelconque des revendications 7 ou 8, dans lequel au moins une lame (22) présente un bord de découpe (220) qui admet un plan parallèle à la paroi de tête (21) comme plan de symétrie.
- [Revendication 10] Dispositif de réalisation d'un forage, notamment d'un forage de grand diamètre, le long d'un axe de forage (A) dans un terrain (1), le dispositif comprenant :
- une couronne de creusement (4) configurée pour creuser un interstice (10) de forme sensiblement cylindrique dans le terrain,
 - un panier de découpe (2) adapté pour être inséré dans l'interstice (10), le panier de découpe étant conforme à l'une quelconque des revendications 7 à 9,
 - un actionneur (5) configuré pour commander un déplacement des lames (22) du panier par rapport à la paroi latérale (20) du panier,
 - des moyens d'évacuation (6) du panier configurés pour supporter le

poids d'une portion (11) de terrain portée par le panier,
le dispositif étant configuré pour mettre en œuvre un procédé de réalisation d'un forage selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

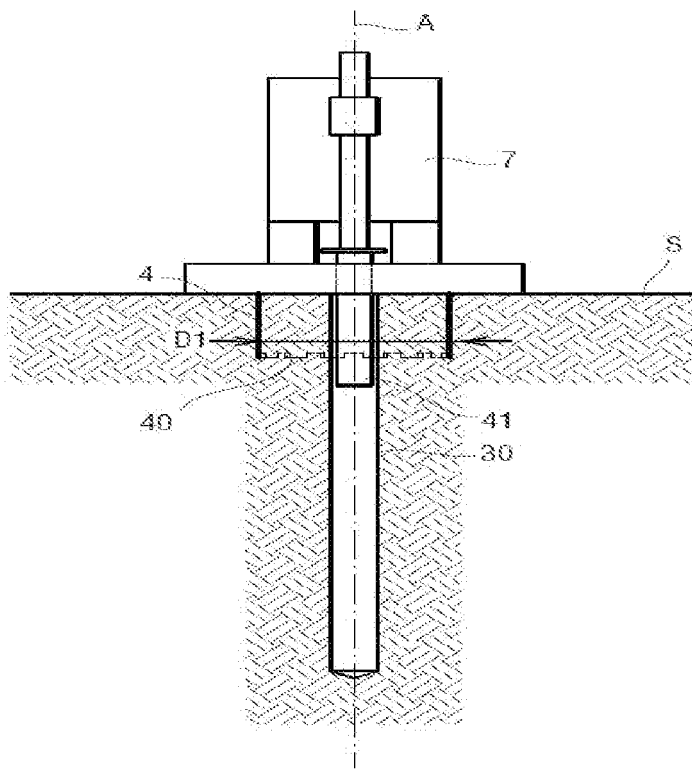
[Fig. 1]



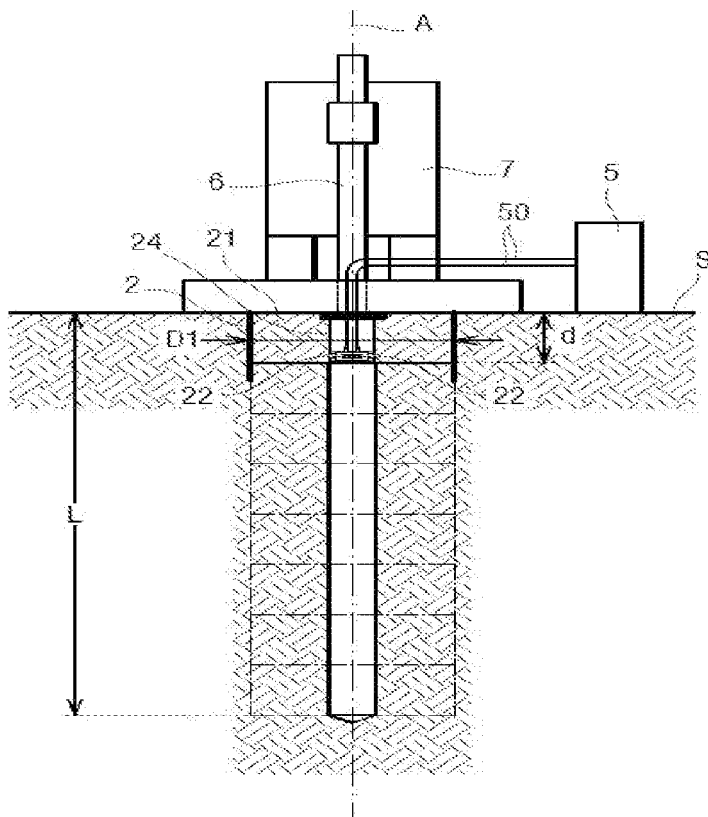
[Fig. 2a]



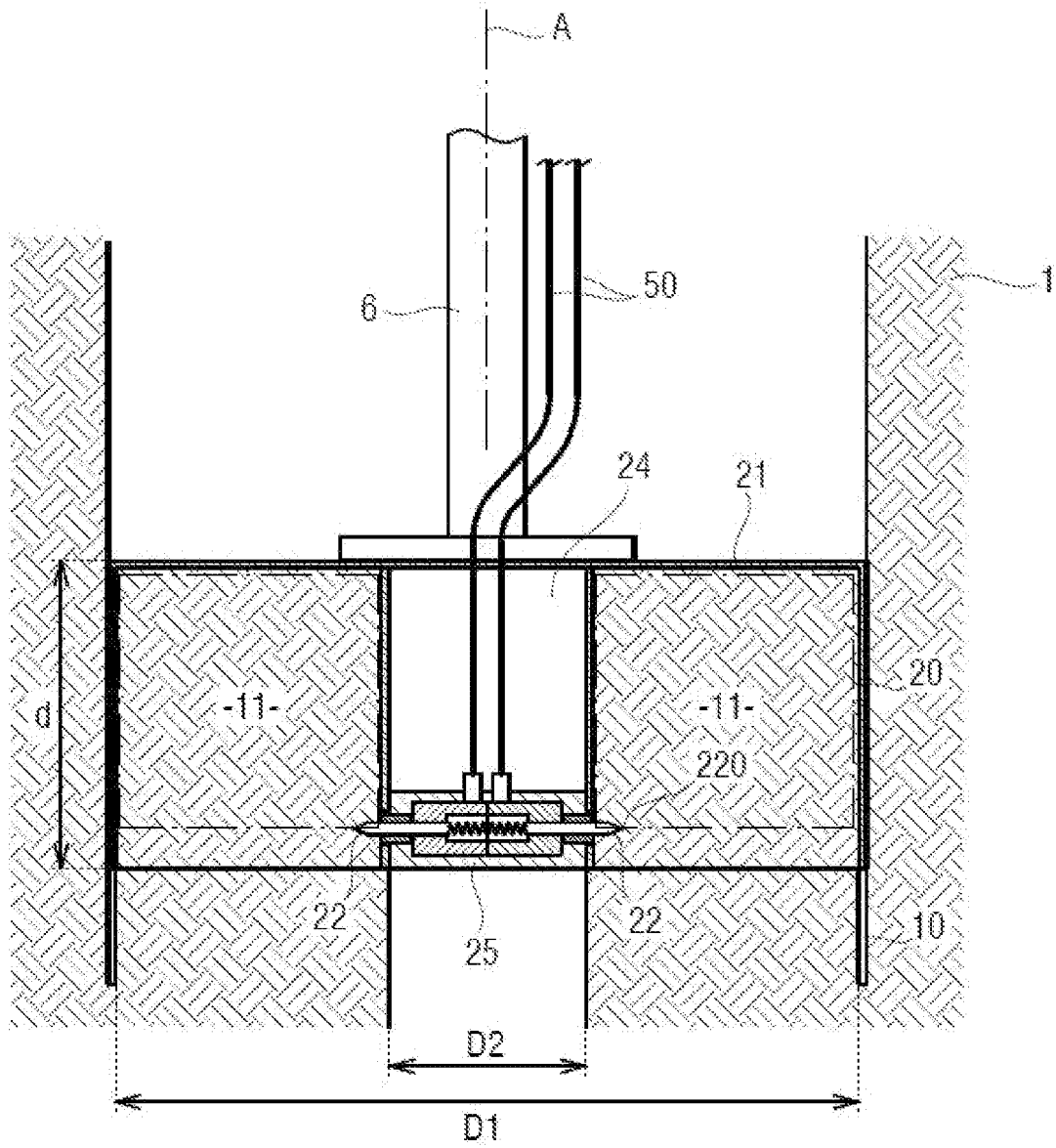
[Fig. 2b]



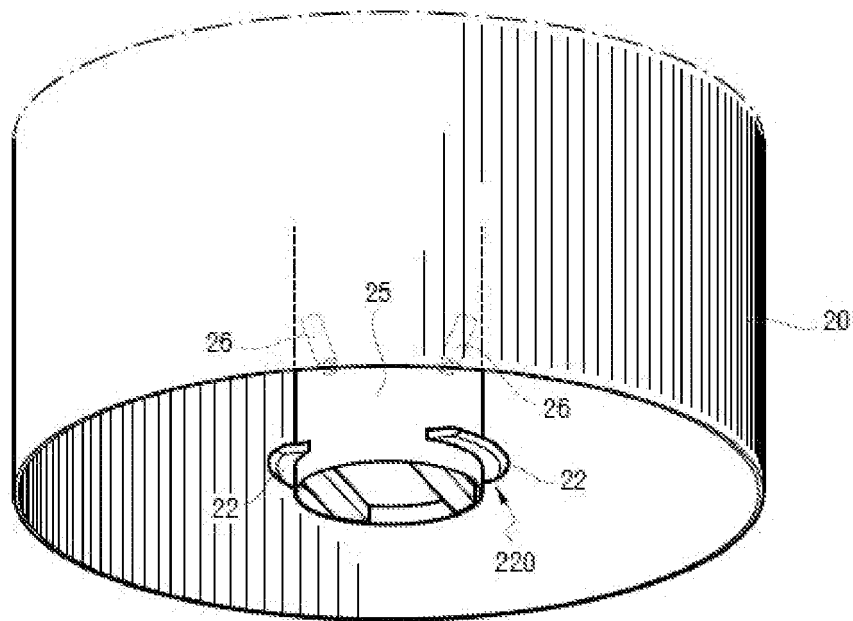
[Fig. 2c]



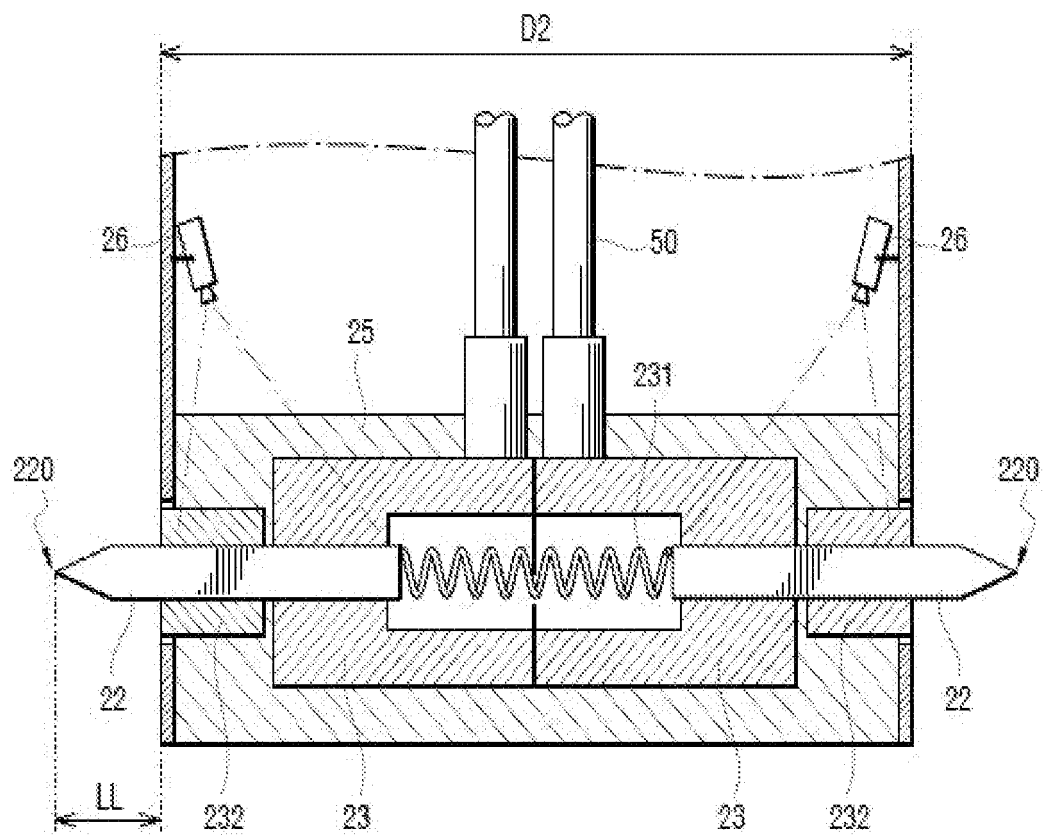
[Fig. 3a]



[Fig. 3b]



[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 (nouveau) 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

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ 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.

☐ 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

NEANT

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

US 4 854 396 A (BURCH WILLIAM E [US])
8 août 1989 (1989-08-08)

FR 2 974 141 A1 (IRSN [FR])
19 octobre 2012 (2012-10-19)

FR 2 185 746 A1 (BOURLIER JACQUE [FR])
4 janvier 1974 (1974-01-04)

US 2012/012392 A1 (KUMAR SUNIL [DE])
19 janvier 2012 (2012-01-19)

JP 2015 098760 A (KOREA INST GEOSCIENCE &
MINERA [KR]) 28 mai 2015 (2015-05-28)

US 2013/081877 A1 (PANTZKE JOHN [US])
4 avril 2013 (2013-04-04)

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

NEANT