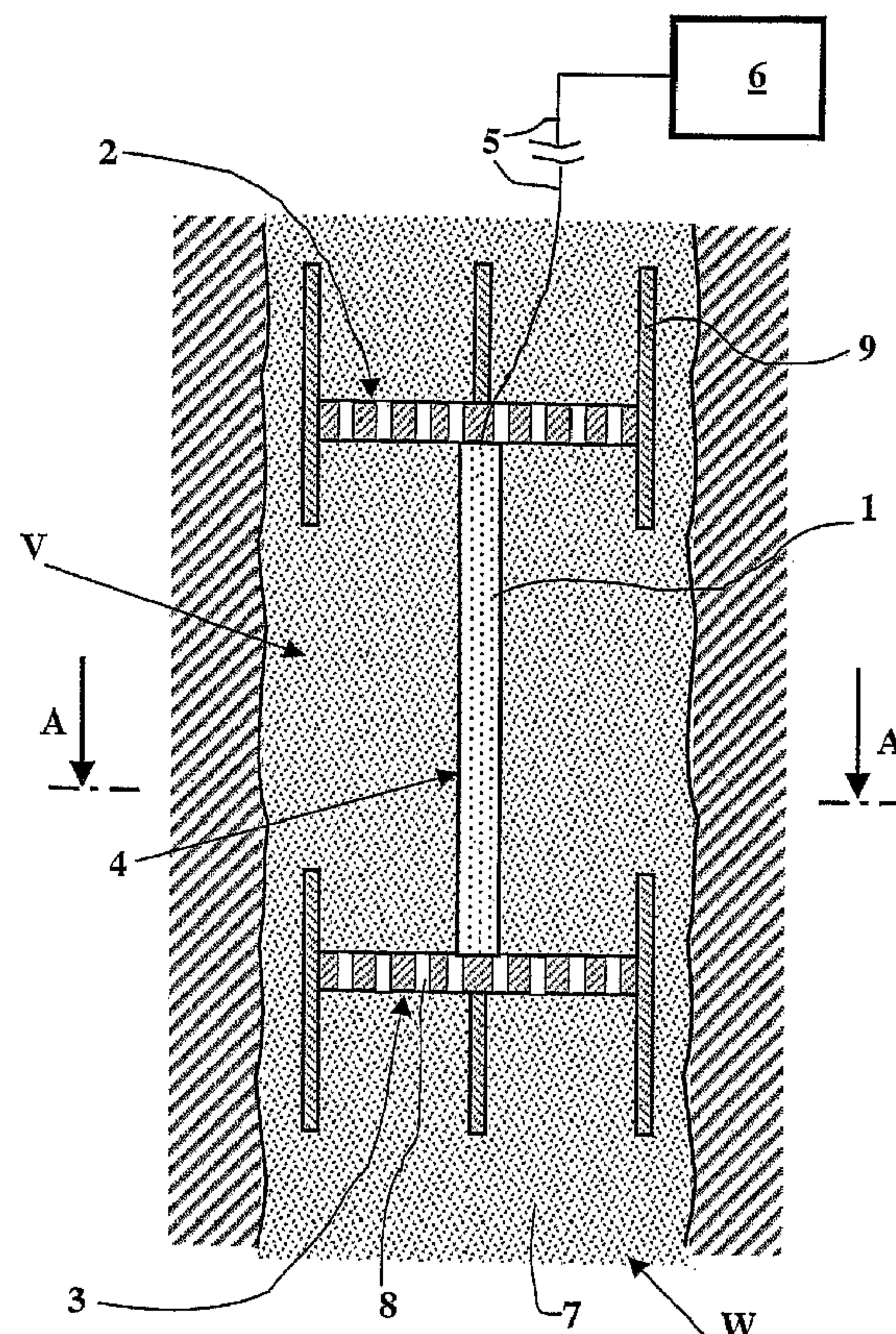




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2003/09/24
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2004/04/08
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2013/04/09
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2005/03/21
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2003/002800
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2004/029661
(30) Priorité/Priority: 2002/09/26 (FR02/11945)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01V 1/047* (2006.01),
G01V 1/053 (2006.01)
(72) Inventeurs/Inventors:
MEYNIER, PATRICK, FR;
HUGUET, FREDERIC, FR;
MEUNIER, JULIEN, FR
(73) Propriétaires/Owners:
GAZ DE FRANCE - SERVICE NATIONAL, FR;
CGGVERITAS SERVICES SA, FR;
IFP ENERGIES NOUVELLES, FR
(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : DISPOSITIF D'EMISSION SISMIQUE DANS UNE FORMATION SOUTERRAINE ET METHODE POUR SA
MISE EN OEUVRE
(54) Title: DEVICE FOR SEISMIC EMISSION IN AN UNDERGROUND FORMATION AND METHOD OF IMPLEMENTING
SAME



(57) Abrégé/Abstract:

-Dispositif d'émission sismique dans une formation souterraine comprenant un ou plusieurs vibrateurs d'un type quelconque, et méthode pour sa mise en oeuvre. -Suivant un mode préféré de réalisation, chaque vibreur comporte au moins un pilier (1)



(57) Abrégé(suite)/Abstract(continued):

d'éléments sensibles (de type piézoélectrique par exemple) entre deux plaques terminales ou pavillons (2, 3) et un générateur de signaux pour appliquer des signaux vibratoires au pilier. Le pilier (1) est enrobé dans une gaine de protection (4) et le vibreur est positionné dans un puits ou cavité (W) et noyé dans une masse d'un matériau solide de couplage (7) au contact avec la gaine de protection (4) et avec les deux pavillons terminaux (2, 3) sur une partie au moins de chacune de leurs faces respectives, qui assure le couplage du vibreur avec la formation environnante. Plusieurs de tels vibrateurs peuvent être enfouis à intervalles les uns des autres dans un puits. En les déclenchant en séquence avec des retards choisis, on peut renforcer les ondes émises par le dispositif dans une direction privilégiée. -Applications par exemple à la surveillance sismique répétitive d'un gisement souterrain en cours d'exploitation.

(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
8 avril 2004 (08.04.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/029661 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ :**G01V 1/047**, 1/053

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2003/002800

(22) Date de dépôt international :

24 septembre 2003 (24.09.2003)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

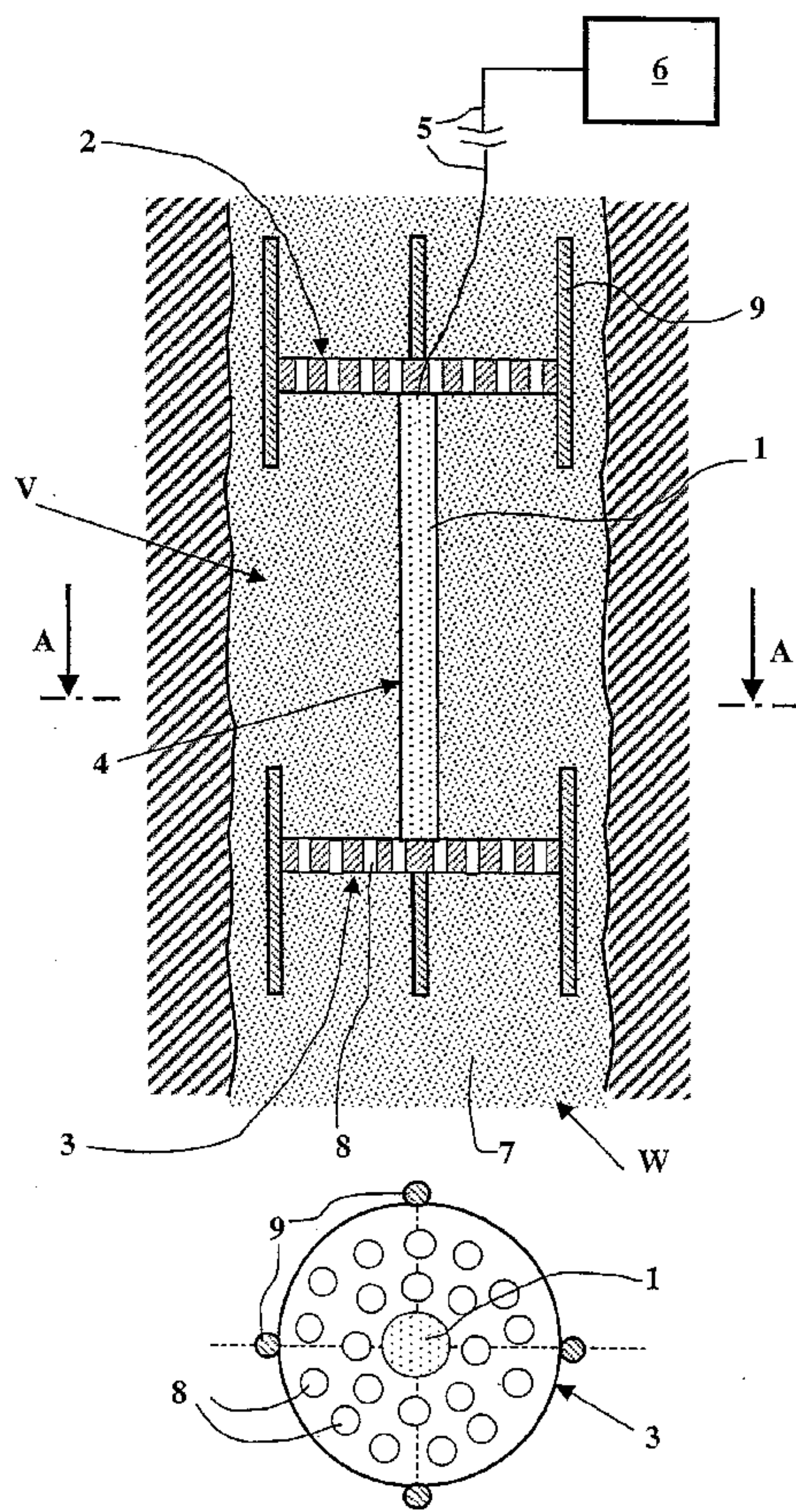
(30) Données relatives à la priorité :

02/11945

26 septembre 2002 (26.09.2002) FR

(71) **Déposant** (pour AT, BE, BG, CA, CH, CN, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, MX, NL, OM, PT, RO, SE, SI, SK, TR, ZA seulement) : **INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE** [FR/FR]; 1 et 4, avenue du Bois Préau, F-92852 Rueil-Malmaison Cedex (FR).(71) **Déposant** (pour AT, BE, BG, CA, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR seulement) : **GAZ DE FRANCE - SERVICE NATIONAL** [FR/FR]; 23, rue Philibert Delorme, F-75840 Paris Cedex 17 (FR).(71) **Déposant** (pour AE, AT, BE, BG, CA, CH, CN, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, MX, NL,

[Suite sur la page suivante]

(54) **Title:** DEVICE FOR SEISMIC EMISSION IN AN UNDERGROUND FORMATION AND METHOD OF IMPLEMENTING SAME(54) **Titre :** DISPOSITIF D'EMISSION SISMIQUE DANS UNE FORMATION SOUTERRAINE ET METHODE POUR SA MISE EN OEUVRE

(57) **Abstract:** The invention relates to a device for seismic emission in an underground formation, comprising one or more vibrators of any type, and to a method of implementing same. In a preferred embodiment, each vibrator comprises at least one pillar (1) of sensitive elements (e.g. piezoelectric type) which is disposed between two end plates or horns (2, 3) and a signal generator which applies vibratory signals at the pillar. Said pillar (1) is encased in a protective sleeve (4) and the vibrator is positioned in a pit or cavity (W) and embedded in a mass of solid coupling material (7) which is in contact with the protective sleeve (4) and with the two end plates (2, 3) on at least one part of each of the respective faces thereof and which connects the vibrator to the surrounding formation. Several of such vibrators can be buried at intervals from one another in the pit. By triggering the aforementioned vibrators in sequence with the desired delays, it is possible to intensify the waves emitted by the device in a preferred direction. The invention is suitable, for example, repeated seismic monitoring of an underground deposit being mined.

(57) **Abrégé :** -Dispositif d'émission sismique dans une formation souterraine comprenant un ou plusieurs vibrateurs d'un type quelconque, et méthode pour sa mise en oeuvre. -Suivant un mode préféré de réalisation, chaque vibreur comporte au moins un pilier (1) d'éléments sensibles (de type piézo-électrique par exemple) entre deux plaques terminales ou pavillons (2, 3) et un générateur de signaux pour applique des signaux vibratoires au pilier. Le pilier (1) est enrobé dans une gaine de protection (4) et le vibreur est positionné dans un puits ou cavité (W) et noyé dans une masse d'un matériau solide de couplage (7) au contact avec la gaine de protection (4) et avec les deux pavillons terminaux (2, 3) sur une partie au moins de chacune de leurs faces respectives, qui assure le couplage du vibreur avec la formation environnante. Plusieurs de tels vibrateurs peuvent être enfouis à intervalles les uns des autres dans un puits. En les déclenchant en séquence avec des retards choisis, on peut renforcer les ondes émises par le dispositif dans une direction privilégiée. -Applications

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/029661 A1



OM, PT, RO, SE, SI, SK, TR, ZA seulement) : **COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE** [FR/FR]; 1, rue Léon-Migaux, F-91341 Massy Cedex (FR).

(72) **Inventeurs; et**

(75) **Inventeurs/Déposants** (*pour US seulement*) : **MEYNIER, Patrick** [FR/FR]; 23 bis, rue des Garennes, F-78400 Châtou (FR). **HUGUET, Frédéric** [FR/FR]; 30, rue du Maréchal Foch, F-95470 Fosses (FR). **MEUNIER, Julien** [FR/FR]; 12, rue de Père Guérin, F-75013 Paris (FR).

(74) **Représentant commun** : **INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE**; 1 et 4, avenue du Bois Préau, F-92852 Rueil-Malmaison Cedex (FR).

(81) **États désignés** (*national*) : AE, CA, CN, MX, OM, US, ZA.

(84) **États désignés** (*régional*) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

5

DISPOSITIF D'EMISSION SISMIQUE DANS UNE FORMATION SOUTERRAINE ET METHODE POUR SA MISE EN ŒUVRE

La présente invention concerne un dispositif d'émission sismique dans une
10 formation souterraine et méthode pour sa mise en oeuvre.

Un tel dispositif d'émission trouve des applications notamment dans le cadre
d'opérations sismiques où l'on forme des images sismiques d'une formation souterraine à
explorer à partir d'ondes élastiques captées par des récepteurs sismiques appropriés, ces
ondes étant renvoyées par les discontinuités du sous-sol en réponse à des ondes émises par
15 une source telle qu'un vibreur électromécanique.

Le système selon l'invention est plus particulièrement utile dans le cadre
d'opérations de surveillance à long terme d'un gisement souterrain en cours d'exploitation,
(un réservoir de stockage de fluides par exemple ou un gisement pétrolier) dites de
sismique répétitive, où l'on compare des images sismiques du sous-sol obtenues à
20 intervalles réguliers de façon à déceler les modifications qui ont pu s'y produire dues à
l'exploitation. Il s'agit d'opérations de longue durée car les variations à observer sont
relativement lentes.

Etat de la technique

La reconnaissance sismique d'un gisement souterrain s'opère d'une façon générale
25 en couplant avec le sous-sol des sources sismiques et des récepteurs, suivant différentes
combinaisons où les sources et/ou les récepteurs sont disposés à la surface ou à son

voisinage ou dans un ou plusieurs puits au travers de la formation explorée. On réalise des séries de cycles d'émission réception sismique en changeant à chaque fois l'emplacement de la source sismique par rapport à l'axe du puits où les ensembles de récepteurs sont installés, suivant une technique dite de "walk-away", et en enregistrant les arrivées aux récepteurs R1 à Rn en fonction du temps de propagation t.

Les sources sismiques utilisées sont le plus souvent des vibrateurs électromécaniques : électro-hydrauliques, piézoélectriques, etc. Des vibrateurs de type piézoélectrique sont décrits par exemple dans le brevet FR 2.791.180 ou le brevet US 5 360 951.

La surveillance de l'évolution des gisements nécessite généralement des opérations sismiques de surveillance espacées dans le temps. Dans la pratique, il faut réinstaller l'équipement sismique de surface à chaque nouvelle séance d'enregistrement sismique, et, de préférence, reproduire les conditions d'émission des opérations sismiques précédentes.

Une méthode connue de surveillance d'un gisement d'hydrocarbures ou d'un réservoir souterrain de fluide comporte l'utilisation d'un système de surveillance comprenant des antennes de réception formées par interconnexion de récepteurs sismiques, installées à demeure respectivement dans des trous de faible profondeur, avec des moyens de connexion sur lesquels peuvent se brancher des câbles de connexion à un laboratoire sismique, et un camion vibrateur que l'on déplace sur le terrain.

L'utilisation d'une source mobile telle qu'un vibrateur présente des inconvénients surtout dans le cadre d'une surveillance périodique d'un réservoir de stockage souterrain. Avec une source déplaçable, on ne peut assurer une reproductibilité suffisante dans le temps et dans l'espace des ondes sismiques émises. Il est très difficile de positionner la source exactement aux mêmes endroits que celles qu'elle occupait lors des cycles précédents d'émission réception précédents, et, dans l'hypothèse où ce lieu serait exactement le même, d'obtenir que son coefficient de couplage avec le sol y soit tout à fait le même.

Par le brevet FR 2 728 973 (US 5 724 311), on connaît également une méthode et un dispositif de surveillance sismique permanente d'une formation souterraine Dans le

cadre d'opérations de surveillance régulière à long terme d'une zone souterraine, on installe un dispositif d'émission réception sismique à poste fixe sur le site d'exploitation, de façon à retrouver d'une fois sur l'autre des conditions opératoires stables : emplacements identiques d'émission réception, qualité de couplage identique avec les terrains etc. Le dispositif

5 comporte une pluralité de sources sismiques (des vibrateurs électromécaniques par exemple) à des emplacements fixes en surface ou bien enterrées à faible profondeur, que l'on alimente et on déclenche par une station centrale de commande et d'enregistrement. Les sources sismiques et le réseau de liaison peuvent être enterrés ou bien encore installés de façon permanente en surface, et associée à au moins un ensemble de récepteurs qui est

10 couplé en permanence avec le sol en surface ou bien avec la paroi d'au moins un puits traversant la zone souterraine. Grâce à cet ensemble de sources à poste fixe dont le couplage avec les terrains environnant reste stable, et à ce réseau d'alimentation au moins en partie enterré dont l'aire d'emprise en surface est réduite, on peut mener toute une série d'opérations sismiques de surveillance dans des conditions opératoires stables, sans risque

15 d'incompatibilité avec les activités du chantier d'exploitation.

Par le brevet FR 2.728.973 (US 5,724,311), on connaît un autre dispositif de surveillance sismique permanente d'une formation souterraine au moyen d'un ou plusieurs ensembles d'émission réception sismique comportant chacun une source telle qu'un

20 vibrateur et une antenne réceptrice formée d'une pluralité des récepteurs d'ondes élastiques tels que des géophones et/ou des hydrophones descendus dans un puits et couplés avec la formation. La source sismique peut être disposée à la surface sur un bloc de béton solidaire du sol. De préférence, on la fixe à une dalle dans une cavité voisine du puits ou formée par élargissement de la section du puits dans sa partie supérieure de façon à diminuer les perturbations dues aux variations hydrométriques du sol. Les récepteurs et la source sont

25 reliés à une station extérieure de commande et d'acquisition de signaux. Les opérations de mise en place de ces ensembles sont relativement simples et la zone d'emprise au sol des différents puits est réduite ce qui facilite leur intégration sur des chantiers d'exploitation de gisements.

Grâce à cet ensemble de sources à poste fixe facilement intégrables sur les chantiers

30 d'exploitation de gisements ou de stockage de fluides et dont la qualité de couplage avec les terrains environnant est connue et stable, on peut mener toute une série d'opérations.

sismiques de surveillance dans des conditions opératoires similaires. Les jeux de traces sismiques peuvent être utilement comparés et leurs différences sont bien significatives des changements survenus dans les formations.

Les vibrateurs évoqués ci-dessus sont couplés avec les terrains par une surface limitée ce qui présente de notables inconvénients. Le diagramme de rayonnement favorise en effet la formation d'ondes de surface et de type S se propageant à l'horizontale, qui perturbent les enregistrements et compliquent leur traitement. De plus, leur rendement en ondes de compression est relativement faible, et, comme leur profondeur d'enfouissement est relativement faible, on ne peut pas s'affranchir complètement avec elles des variations des caractéristiques pétroélastiques de la zone altérée dues aux conditions météorologiques.

Le dispositif et la méthode selon l'invention

Le dispositif selon l'invention est adapté à émettre des ondes dans une formation souterraine. Il comporte un ou plusieurs vibrateur(s) comprenant chacun deux pavillons, au moins un élément moteur adapté à engendrer des vibrations et à les communiquer aux pavillons et un générateur pour appliquer des signaux de commande périodiques à l'élément moteur. Il est caractérisé en ce que le ou chaque vibrateur est positionné dans un puits ou cavité et noyé dans au moins un matériau solide assurant son couplage avec la formation souterraine, ce matériau étant au contact avec les deux pavillons sur une partie au moins de chacune de leurs faces respectives.

Chaque vibrateur peut comporter des barres d'ancrage associées à au moins un des pavillons pour accroître le couplage du vibrateur avec la masse de matériau de couplage.

Suivant un mode de réalisation, chaque pavillon comporte au moins deux plaques disposées à distance l'une de l'autre et réunies par les barres d'ancrage.

De préférence, la surface externe de chaque plaque et celle des barres d'ancrage sont pourvues d'inégalités de relief (surface cannelée) pour accroître la surface de couplage du dispositif avec le matériau de couplage.

Les pavillons peuvent être perforés de façon à faciliter la pénétration du matériau de couplage dans l'espace compris entre les pavillons.

On peut utiliser par exemple un seul matériau d'enrobage qui est réparti de façon à assurer le couplage avec la formation, au moins au niveau des extrémités opposées du vibreur. On peut aussi utiliser au moins deux matériaux de couplage différents, un premier matériau étant réparti suivant deux masses distinctes pour assurer le couplage du
5 vibreur avec la formation, au niveau de ses extrémités opposés, et un deuxième matériau étant intercalé entre les deux masses.

Avec ses pavillons étroitement en contact avec le matériau de couplage à la formation, le rendement énergétique du vibreur est amélioré et l'émission des ondes S très atténuée par le mouvement en sens opposé des deux plaques.

10 Suivant un mode de mise en œuvre préféré, le dispositif comporte plusieurs vibrateurs connectés à un générateur de signaux, ces vibrateurs étant disposés à intervalles les uns des autres le long d'un puits et tous noyés dans au moins un matériau de couplage. Un boîtier de contrôle peut être intercalé entre les vibrateurs et le générateur de signaux ce qui permet de les déclencher successivement, de façon à obtenir une émission orientée
15 principalement suivant un diagramme défini.

Pour permettre ce déclenchement des vibrateurs en séquence, le dispositif comporte par exemple un récepteur sismique couplé avec les formations environnant le puits à une profondeur déterminée qui est connecté avec un ensemble d'acquisition et de traitement, adapté à commander en séquence les vibrateurs.

20 Il peut également comporter des récepteurs sismiques associés aux différents vibrateurs (ils sont par exemple fixés à des supports solidaires des barres d'ancrage) et connectés à l'ensemble d'acquisition et de traitement qui est adapté à déterminer les temps de trajet des ondes entre les emplacements des différents vibrateurs et à les commander en séquence.

25 Les éléments moteurs peuvent être d'un type quelconque : électromécanique, électromagnétique, hydraulique, etc. Suivant un mode préféré de réalisation, chaque vibreur comporte un pilier d'éléments sensibles (constitué par exemple d'éléments sensibles piézoélectriques ou magnétostrictifs) enrobé dans une gaine de protection, le matériau de couplage étant au contact avec la gaine de protection et avec les deux plaques

terminales sur une partie au moins de chacune de leurs faces respectives. L'espace entre la gaine et le pilier d'éléments sensibles peut être rempli d'un liquide tel que de l'huile.

La méthode selon l'invention permet de générer dans une formation souterraine des signaux vibratoires suivant un diagramme d'émission orienté. Elle comporte :

- 5 - l'installation dans un même puits de plusieurs vibreurs comprenant chacun deux pavillons, au moins un élément moteur adapté à engendrer des vibrations et à les communiquer aux pavillons et un générateur pour appliquer des signaux de commande périodiques à l'élément moteur, chaque vibreur étant positionné dans un puits ou cavité et noyé dans au moins un matériau solide assurant son couplage avec la
10 formation souterraine, ce matériau étant au contact avec les deux pavillons sur une partie au moins de chacune de leurs faces respectives. ; et
- le pilotage en séquence des différents vibreurs, par l'intermédiaire d'un boîtier de contrôle avec des décalages entre les instants respectifs de déclenchement qui dépendent des intervalles entre les emplacements des vibreurs et de la vitesse de
15 propagation des ondes dans les formations environnant le puits.

Le pilotage en séquence des vibreurs comporte par exemple l'application aux vibreurs de signaux de commande à fréquence fixe f dont la phase Φ_i est reliée à la fréquence f et au décalage de temps par la relation $\Phi_i = 2\pi \cdot f \cdot t_i$.

Il est possible également de piloter en séquence les vibreurs en leur appliquant des
20 signaux de commande de fréquences fixes distinctes les unes des autres de façon à permettre leur séparation.

Suivant un mode de mise en œuvre, la méthode comporte le couplage avec la formation environnant le puits d'un récepteur sismique et la détermination au préalable des temps de trajet des ondes respectivement entre chaque vibreur et le dit récepteur.

25 Suivant un autre mode de mise en œuvre, la méthode comporte l'adjonction aux vibreurs, de récepteurs connectés à un ensemble d'acquisition et de traitement de signaux et le déclenchement en séquence des différents vibreurs avec des décalages entre les

instants respectifs de déclenchement calculés par le dit ensemble en corrélant les signaux produits par les différents récepteurs.

Présentation sommaire des figures

Les caractéristiques et avantages du dispositif et de la méthode selon l'invention, apparaîtront plus clairement à la lecture de la description ci-après d'un exemple non limitatif de réalisation, en se référant aux dessins annexés où :

- la fig.1 montre schématiquement un vibreur enfoui dans du matériau de couplage tel que du ciment ou analogue ;
- la fig.1a montre une plaque terminale de chaque vibreur avec les barres d'ancrage réparties sur son pourtour ;
- la fig.2a montre schématiquement un mode de couplage de chaque vibreur où les pavillons d'extrémité sont séparément couplés aux terrains environnant par un même matériau de couplage;
- les fig.2b et 2c montrent respectivement des cavités aménagées dans le puits au niveau de chaque pavillon, et un mode particulier permettant de créer chacune de ces cavités ;
- la fig.3 montre schématiquement un agencement de plusieurs vibrateurs enfouis à des profondeurs différentes d'un puits, connectés à un système de pilotage en surface, permettant leur commande séquentielle avec des décalages de temps tenant compte de la vitesse réelle des ondes dans les formations environnant le puits ;
- la fig.4 montre schématiquement un vibreur avec un géophone associé, permettant un autre mode de commande séquentielle de vibrateurs dans un puits ; et
- la fig.5 montre schématiquement un mode de réalisation du dispositif où chaque pavillon comporte deux plaques disposées parallèlement.

Description détaillée

Le dispositif selon l'invention comporte au moins un (et de préférence plusieurs) vibrateurs V. Les vibrateurs peuvent être d'un type quelconque : électromécaniques, électromagnétiques, hydrauliques, etc.

5 Dans la description qui suit, on va considérer à titre d'exemple, le cas de vibrateurs comprenant au moins un pilier d'éléments sensibles (piézoélectriques ou magnétostrictifs) 1 associé rigidement à chacune de ses extrémités opposées à un pavillon 2, 3 ou plaque. Le pilier d'éléments sensibles est centré par rapport aux pavillons 2, 3 et recouvert par une membrane déformable 4. Un câble de connexion 5 relie le pilier 1 à un générateur 6 de
10 signaux de commande.

Le vibrateur V est placé dans une cavité ou puits W et un matériau de couplage 7 tel que du ciment ou du béton par exemple, est injecté dans le puits de façon qu'il soit en contact intime avec le pilier 1 sur toute sa longueur et également avec les faces opposées de chacun des pavillons 2, 3. Pour permettre au matériau de couplage 7 de se répartir de
15 manière bien homogène à l'intérieur de l'espace entre les pavillons, ceux-ci peuvent être pourvus de perforations 8. Le diamètre des pavillons 2, 3 doit correspondre sensiblement au diamètre de la cavité ou du puits W de manière à obtenir une surface maximum de couplage.

Pour améliorer encore le couplage et répartir les contraintes dans un volume
20 important du matériau de couplage 7, des tiges d'ancrage 9 de longueur appropriée peuvent être fixées à la périphérie des pavillons 2, 3.

Suivant le mode de réalisation de la fig. 5, chaque pavillon 2, 3 comporte comme celui représenté, au moins deux plaques 2a, 2b disposées parallèlement reliées l'une à l'autre par des tiges d'ancrage 9. Pour améliorer le couplage avec le matériau de couplage 7,
25 la surface externe de chaque plaque 2a, 2b et aussi des tiges de couplage 9 est de préférence pourvue d'inégalités de relief, telles que des cannelures. L'espace entre la membrane tubulaire déformable 4 et le pilier d'éléments sensibles 1 peut comme représenté être rempli d'un liquide L tel que de l'huile.

Le ciment utilisé pour le couplage doit sécher sans se rétracter de manière à garantir un bon couplage.

Au lieu de noyer le vibreur entièrement dans un même volume 7 de matériau de couplage, il est possible aussi comme illustré à la fig.2a, de coupler chacun des pavillons
5 séparément avec les terrains environnants, par l'intermédiaire de deux volumes 7a, 7b de ce même matériau. Pour isoler l'un de l'autre les deux volumes 7a, 7b, on coule entre eux un autre matériau 10. On peut utiliser par exemple de la bentonite ou analogue qui a la propriété de gonfler une fois mouillée et ainsi peut combler l'espace intermédiaire. Cette solution est utile par exemple quand le matériau de couplage a des propriétés mécaniques
10 différentes de celles de l'encaissant (terrains environnants).

Suivant une variante de mise en œuvre, le couplage du vibreur avec les formations peut être amélioré si on aménage une chambre 11 dans la paroi du puits au niveau de chaque pavillon comme indiqué fig.2b. Pour créer un tel chambrage, on peut utiliser par exemple des outils de forage appropriés ou encore des substances explosives. Une solution
15 consiste par exemple (fig.2c) à descendre dans le puits à l'endroit prévu d'enfouissement du vibreur, une tige 12 portant deux enroulements 13 de cordeau détonant suffisamment espacés l'un de l'autre, que l'on fait détoner.

Suivant le mode de mise en œuvre de la fig.3, le dispositif comporte plusieurs vibreurs V1, V2, ..., Vn analogues à celui de la fig.1 ou 5, qui sont placés à intervalles les
20 uns des autres le long d'un puits W. Les vibreurs sont de même noyés dans un ou plusieurs matériau(x) de couplage 7, 10 (fig.1 ou fig.2a).

Avec un tel agencement, en connectant les différents vibreurs V1 à Vn au générateur 6 par l'intermédiaire d'un boîtier de commande 14 et en les actionnant en séquence avec des décalages de temps choisis entre eux, on peut obtenir un effet de
25 directivité.

On amplifie ainsi les signaux vibratoires émis plutôt vers le bas au détriment de ceux qui se propagent dans d'autres directions. De ce fait, on diminue notamment l'amplitude du premier multiple réfléchi par la surface de la formation, qui présente une instabilité nuisible à la répétabilité du signal.

Pour déterminer les instants de déclenchement, on procède par exemple de la manière suivante.

On utilise un récepteur sismique R (hydrophone, géophone ou de préférence une combinaison de ces deux capteurs) disposé de préférence sensiblement à la verticale du puits contenant les vibrateurs ou bien à une distance horizontale suffisamment faible pour que les temps de trajets entre chaque vibrateur et ce récepteur R ne diffèrent pas sensiblement des temps de trajet verticaux. Le récepteur peut être positionné dans le puits contenant les vibrateurs et il est relié à un ensemble d'acquisition et de traitement 15 disposé par exemple en surface. Si plusieurs récepteurs sont positionnés le long du puits sous les vibrateurs, on choisira par exemple le plus profond d'entre eux. On peut utiliser aussi un récepteur en surface. On mesure au préalable le temps de trajet ϑ_i des ondes entre chaque vibrateur V_i et ce récepteur R. Les décalages de temps t_i ($i=1$ à n) à appliquer aux différents vibrateurs V_i se déduisent de ces temps de trajet par la relation :

$t_i = K + \varepsilon \cdot \vartheta_i$ où K est une constante et ε est égal à $+1$ ou -1 suivant que le récepteur R est situé au-dessus ou au -dessous de l'ensemble des vibrateurs. L'ensemble 15 commande l'application de ces décalages de temps aux vibrateurs par l'intermédiaire du boîtier de commande 14.

Dans le cadre d'une utilisation où les vibrateurs émettent chacun une mono-fréquence comme décrit dans la demande de brevet FR 00 01792 des demandeurs le décalage apparaîtra sous la forme d'un déphasage par fréquence relié au décalage en temps précédent par la relation : $\phi_i = 2\pi f t_i$.

Suivant le mode de mise en œuvre de la fig.4, il est également possible de contrôler le déclenchement en séquence des vibrateurs placés dans le puits, en associant à chacun d'eux, un récepteur sismique tel qu'un géophone G1. Chaque géophone est par exemple fixé à un support 16 disposé entre deux barres d'ancrage 9. Les géophones sont connectés 25 respectivement à l'ensemble d'acquisition et de traitement 15 extérieur au puits. Pour ajuster en temps réel le retard au déclenchement d'un vibrateur V_i quelconque par rapport au premier de la série, on mesure le temps effectif de parcours des ondes entre eux par toute méthode de mesure de décalage entre signaux, notamment en réalisant une intercorrélation

entre les signaux délivrés respectivement par les géophones soit dans le domaine temporel ou dans le domaine des fréquences et l'on déclenche le vibreur Vi en tenant compte de ce temps de parcours effectif. Cette mesure du décalage temporel peut être réalisée par intercorrélation. Les décalages calculés par l'ensemble de traitement 15 sont transmis au 5 boîtier de commande 14 qui retarde en conséquence les différents vibrateurs par rapport au premier d'entre eux.

On a décrit des vibrateurs comprenant un seul pilier central 1. On ne sortirait pas cependant du cadre de l'invention en intercalant plusieurs piliers d'éléments sensibles piézoélectriques entre les deux pavillons 2, 3.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif d'émission d'ondes dans une formation souterraine, comportant au moins un vibreur comprenant deux pavillons (2, 3), au moins un élément moteur (1) adapté à engendrer des vibrations et à les communiquer auxdits pavillons et un générateur (6) pour appliquer des signaux de commande périodiques à l'élément moteur, caractérisé en ce que le vibreur est positionné dans un puits ou cavité (W) et noyé dans au moins un matériau solide (7,10) assurant son couplage avec la formation souterraine, ce matériau étant au contact avec les deux pavillons (2,3) sur une partie au moins de chacune de leurs faces respectives.
- 10 2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte des barres d'ancrage (9) associées à au moins un pavillon (2,3), pour accroître le couplage du vibreur avec la masse (7,10) de matériau de couplage.
3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque pavillon comporte au moins deux plaques (2a,2b) disposées à distance l'une de l'autre et réunies par des barres d'ancrage (9).
4. Dispositif selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que la surface externe de chaque pavillon est pourvu d'inégalités de relief telles que des cannelures pour accroître la surface de couplage du dispositif avec le matériau de couplage (7,10).
- 20 5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que les barres d'ancrage sont pourvues d'inégalités de relief pour accroître la surface de couplage du dispositif avec le matériau de couplage (7,10).
6. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les pavillons (2,3) sont perforées de façon à faciliter la pénétration du matériau de couplage dans l'espace compris entre les deux plaques terminales (2,3).

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comporte un seul matériau solide de couplage qui est réparti de façon à assurer le couplage du vibreur avec la formation, au moins au niveau de ses extrémités opposées.
8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comporte au moins deux matériaux de couplage, un premier matériau (7a, 7b) réparti suivant deux masses distinctes pour assurer le couplage du vibreur avec la formation, au niveau de ses extrémités apposés, un deuxième matériau (10) étant intercalé entre les deux masses.
- 10 9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comporte plusieurs vibrateurs (V1, ... Vn) connectés à un générateur de signaux (6), ces vibrateurs étant disposés à intervalles les uns des autres le long d'un puits (W) et tous noyés dans au moins un matériau de couplage (7, 10).
10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comporte un boîtier de contrôle (14) intercalé entre les vibrateurs (V1, ... Vn) et le générateur de signaux (6) permettant de les déclencher successivement.
11. Dispositif selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce qu'il comporte un récepteur sismique (R) couplé avec les formations environnant le puits à une profondeur déterminée et connecté avec un ensemble d'acquisition et de traitement
20 (15), adapté à commander en séquence les vibrateurs pour obtenir une émission orientée principalement suivant un diagramme défini.
12. Dispositif selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce qu'il comporte des récepteurs sismiques (G1) associés aux différents vibrateurs (V1) et connectés à un ensemble d'acquisition et de traitement (15) adapté à déterminer les temps de trajet des ondes entre les emplacements des différents vibrateurs et à les

commander en séquence pour obtenir une émission orientée principalement suivant un diagramme défini.

13. Dispositif selon la revendication 2 et 12, caractérisé en ce que les récepteurs (G1) sont fixés à des supports (16) solidaires des barres d'ancrage (9).

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que chaque vibreur comporte un pilier (1) d'éléments sensibles enrobé dans une gaine de protection (4), ledit matériau de couplage étant au contact avec la gaine de protection (4) et avec les deux pavillons (2, 3) sur une partie au moins de chacune de leurs faces respectives.

10 15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'espace entre la gaine et le pilier d'éléments sensibles est rempli d'un liquide.

16. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé par en ce que le pilier (1) est constitué d'éléments sensibles piézoélectriques ou magnétostrictifs.

17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé par en ce que chaque élément moteur est de type électromécanique, électromagnétique ou hydraulique.

18. Méthode pour générer dans une formation souterraine des signaux vibratoires suivant un diagramme d'émission orienté, caractérisé en ce qu'elle comporte:

20 - l'installation dans un même puits (W) de plusieurs vibrateurs (V1, ..., Vn) comprenant chacun deux pavillons (2, 3), au moins un élément moteur (1) adapté à engendrer des vibrations et à les communiquer aux plaques et un générateur (6) pour appliquer des signaux de commande périodiques à l'élément moteur, chaque vibreur étant positionné dans un puits ou cavité (W) et noyé dans au moins un matériau solide (7, 10) assurant son couplage avec la formation souterraine, ce

matériau étant au contact avec les deux pavillons (2, 3) sur une partie au moins de chacune de leurs faces respectives; et

- le pilotage en séquence des différents vibrateurs (V1, ..., Vn), par l'intermédiaire d'un boîtier de contrôle (10) avec des décalages entre les instants respectifs de déclenchement qui dépendent des intervalles entre les emplacements des vibrateurs et de la vitesse de propagation des ondes dans les formations environnant le puits, de manière à obtenir une émission directive.

10 19. Méthode selon la revendication 18, caractérisée en ce que le pilotage en séquence des vibrateurs comporte l'application aux vibrateurs de signaux de commande à fréquence fixe f dont la phase Φ_i est reliée à la dite fréquence f et au dit décalage de temps par la relation $\Phi_i = 2\pi \cdot f \cdot t_i$.

20. Méthode selon la revendication 18, caractérisée en ce que le pilotage en séquence des vibrateurs comporte l'application aux différents vibrateurs de signaux de commande de fréquences fixes distinctes les unes des autres de façon à permettre leur séparation.

21. Méthode selon l'une quelconque des revendications 18 à 20, caractérisée en ce qu'elle comporte le couplage avec la formation environnant le puits d'un récepteur sismique (R) et la détermination au préalable des temps de trajet des ondes respectivement entre chaque vibrateur et le dit récepteur (R).

20 22. Méthode selon l'une quelconque des revendications 18 à 20, caractérisée en ce qu'elle comporte l'adjonction aux vibrateurs, de récepteurs (R, G1) connectés à un ensemble (15) d'acquisition et de traitement de signaux et le déclenchement en séquence des différents vibrateurs avec des décalages entre les instants respectifs de déclenchement calculés par ledit ensemble (15) en calculant le décalage entre les signaux produits par les différents récepteurs.

23. Dispositif selon la revendication 15, dans lequel ledit liquide est de l'huile.

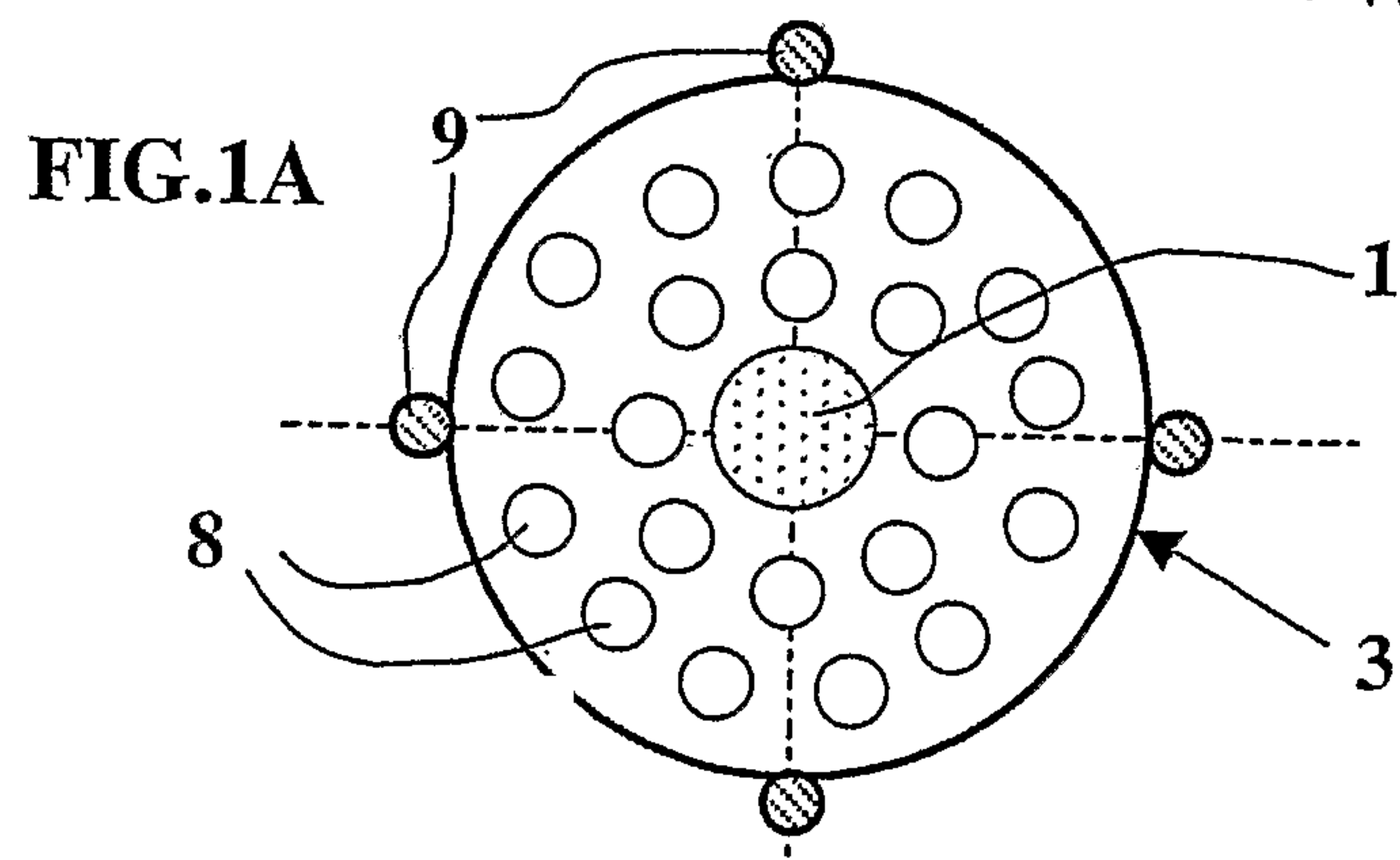
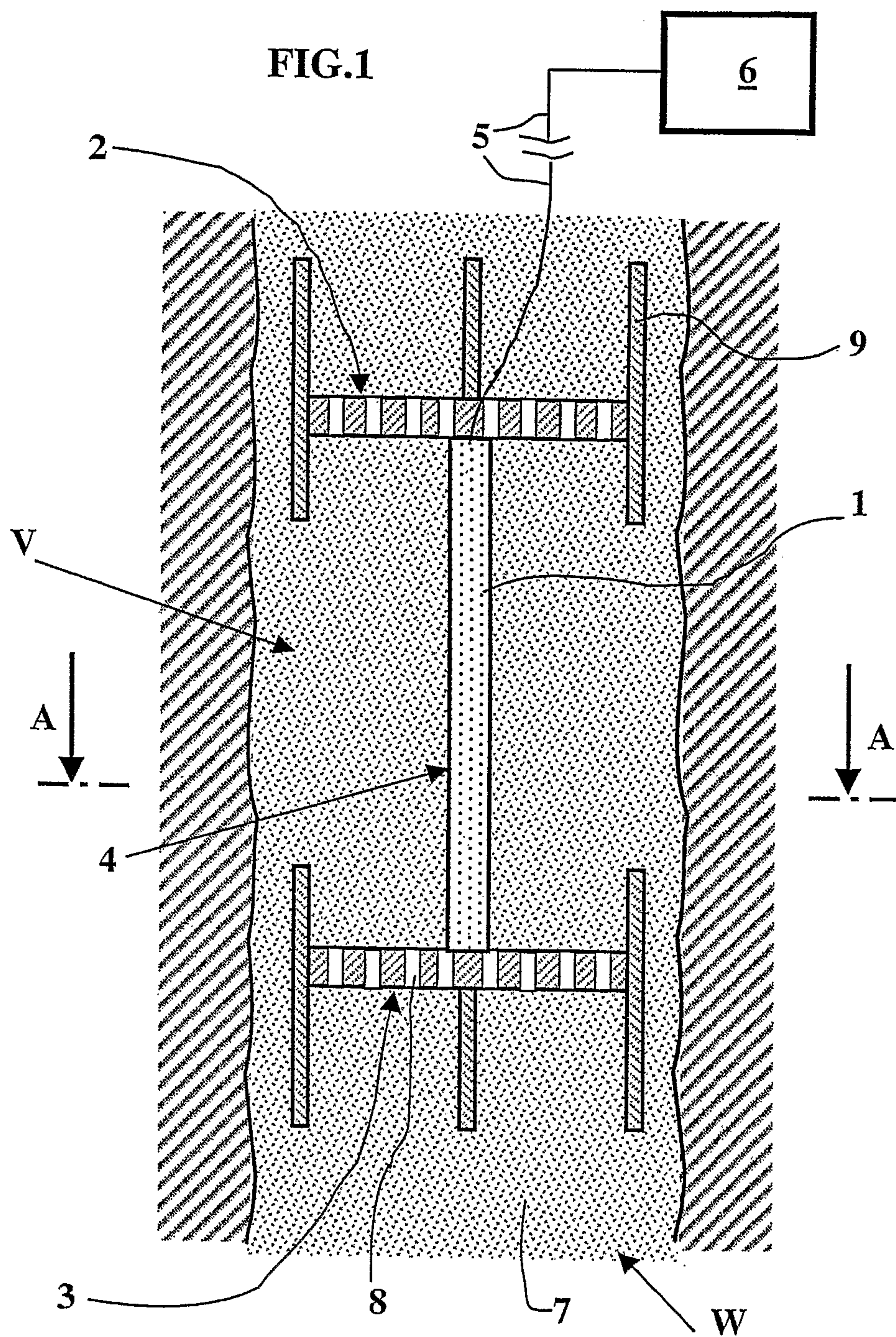


FIG.2B

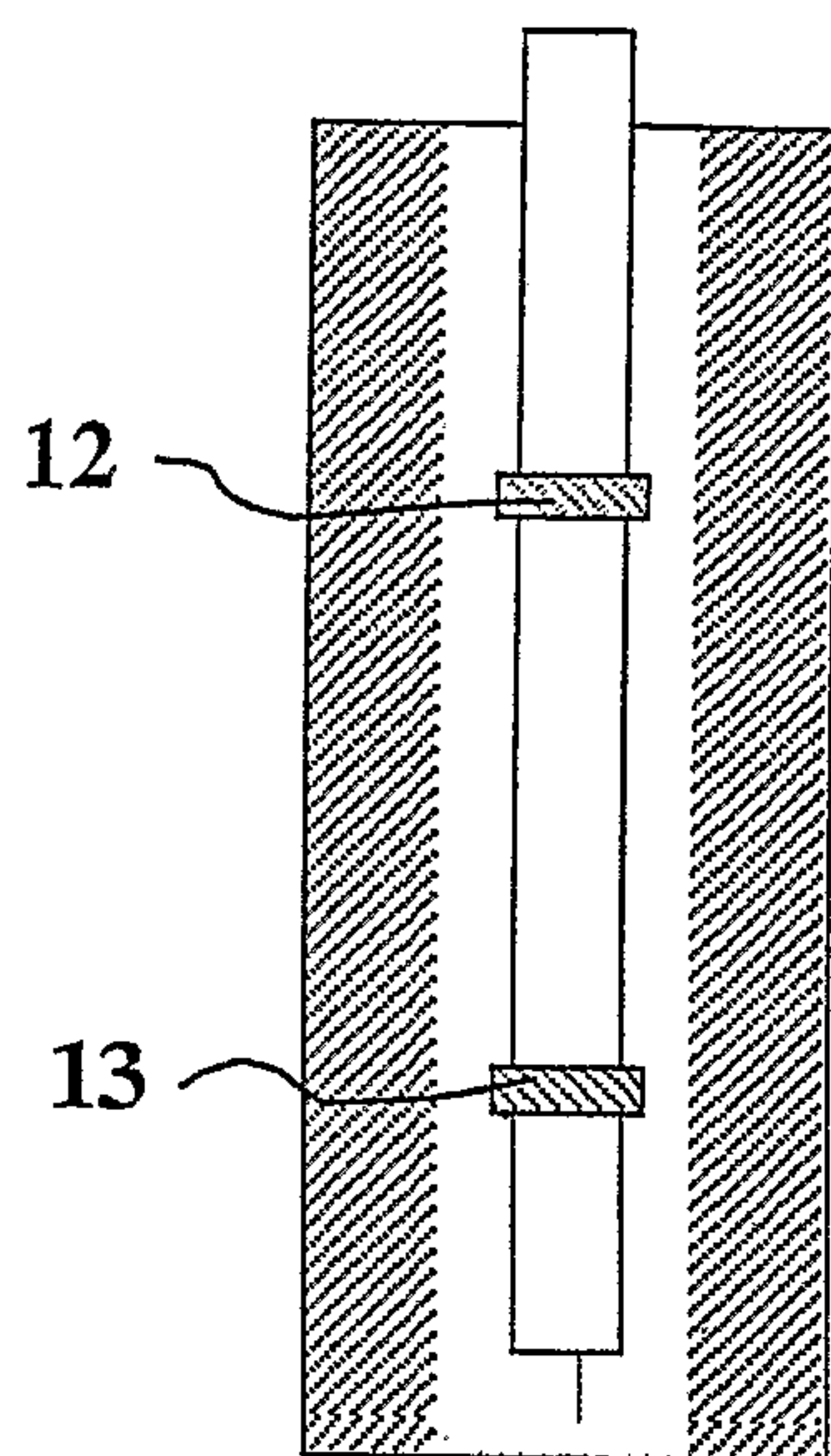


FIG.2C

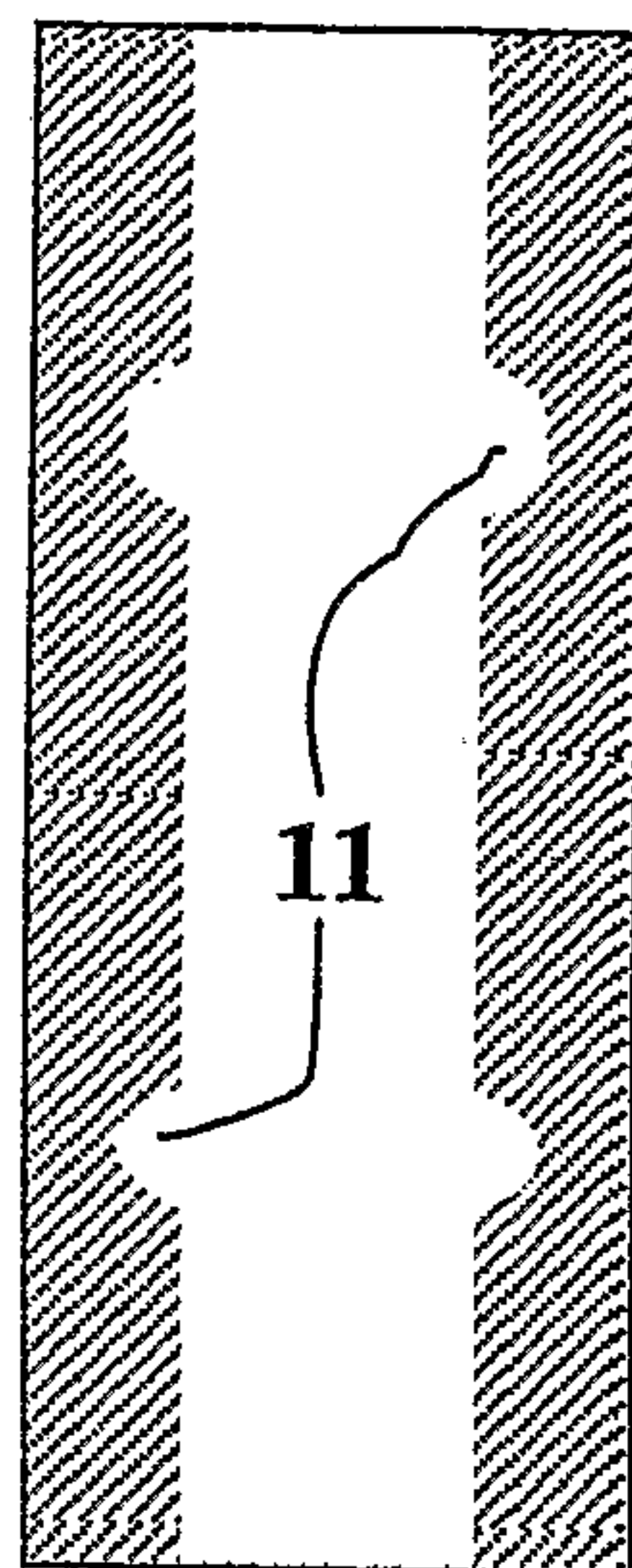


FIG.2A

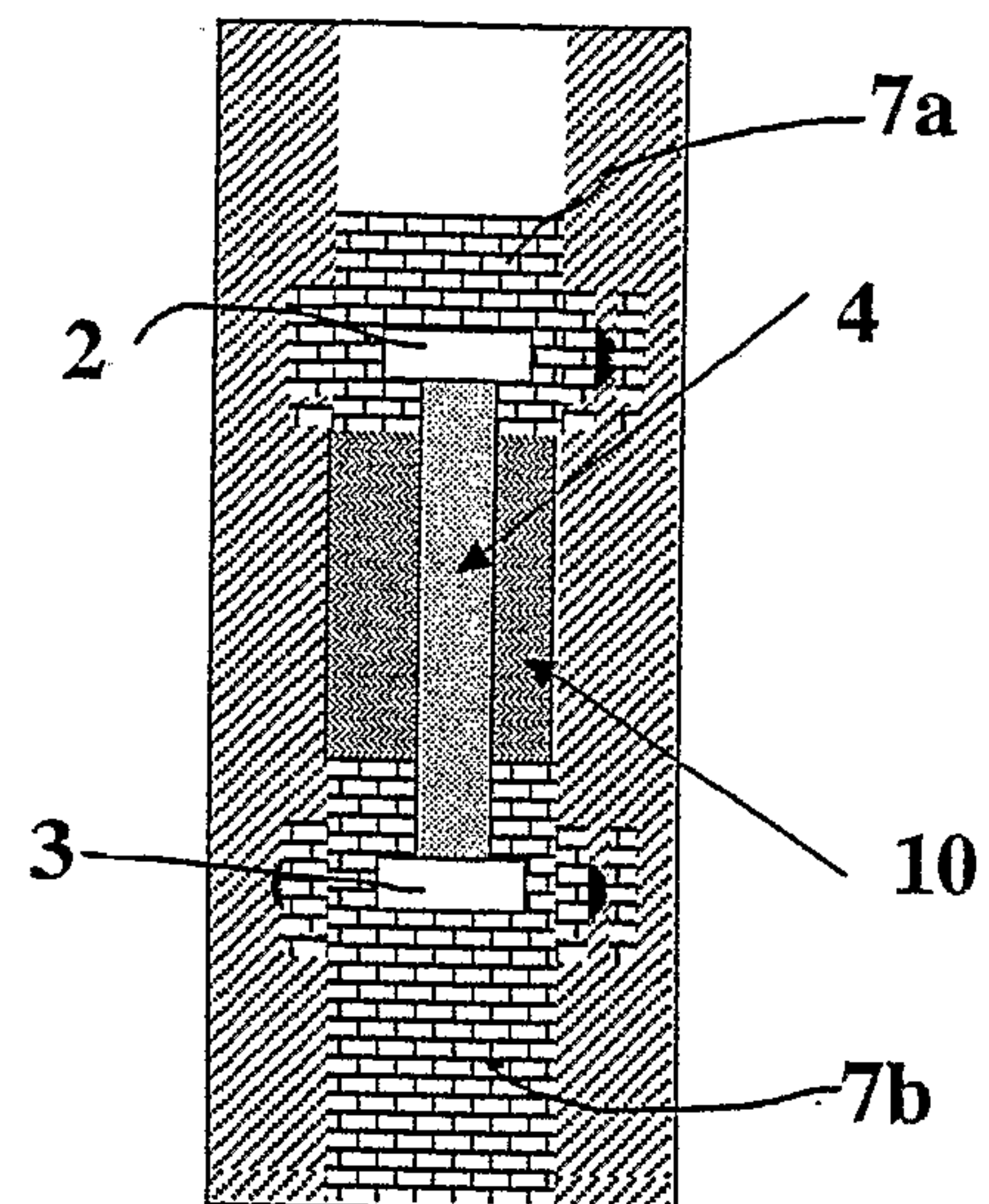


FIG.4

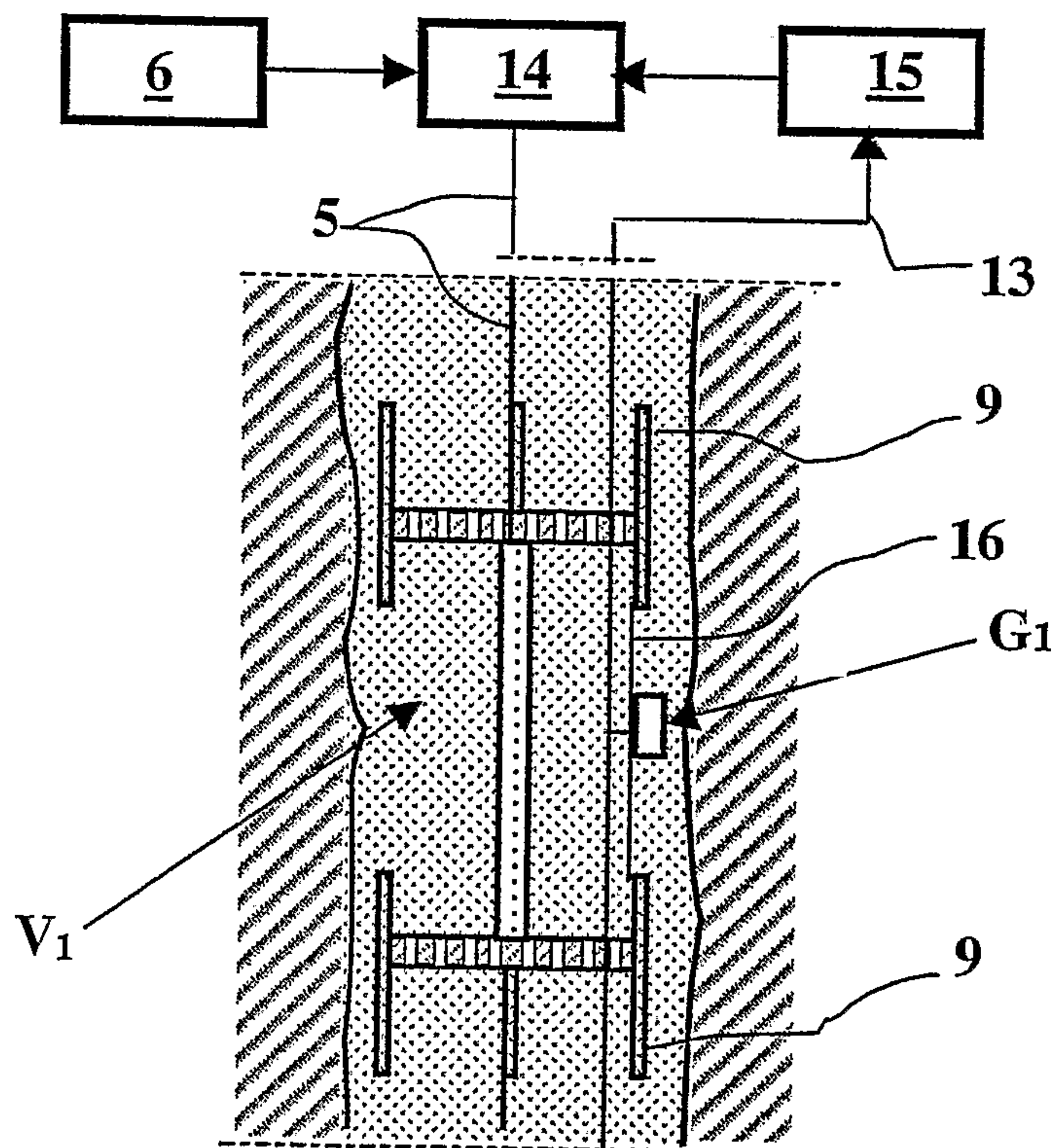
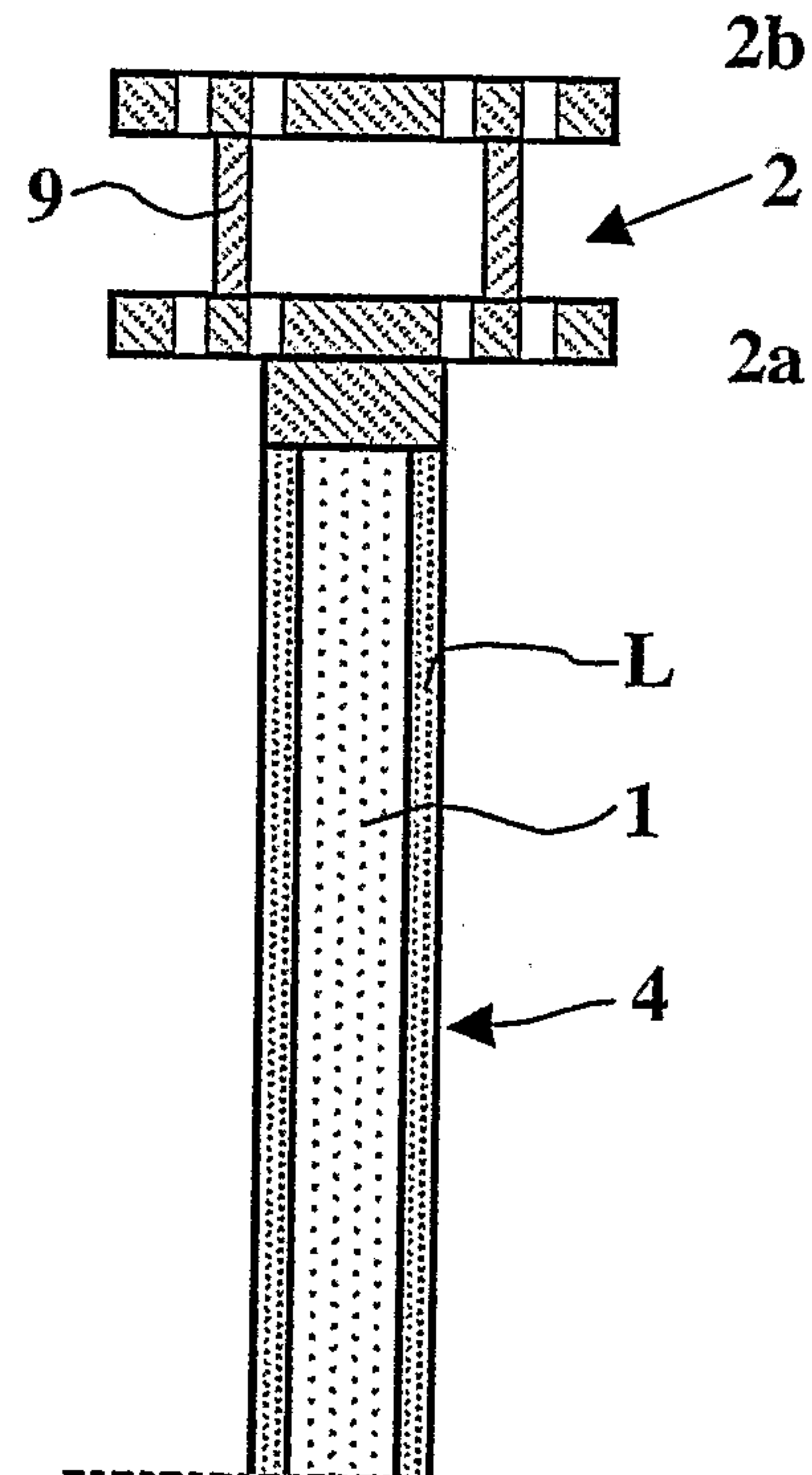


FIG.5



3/3

FIG.3

