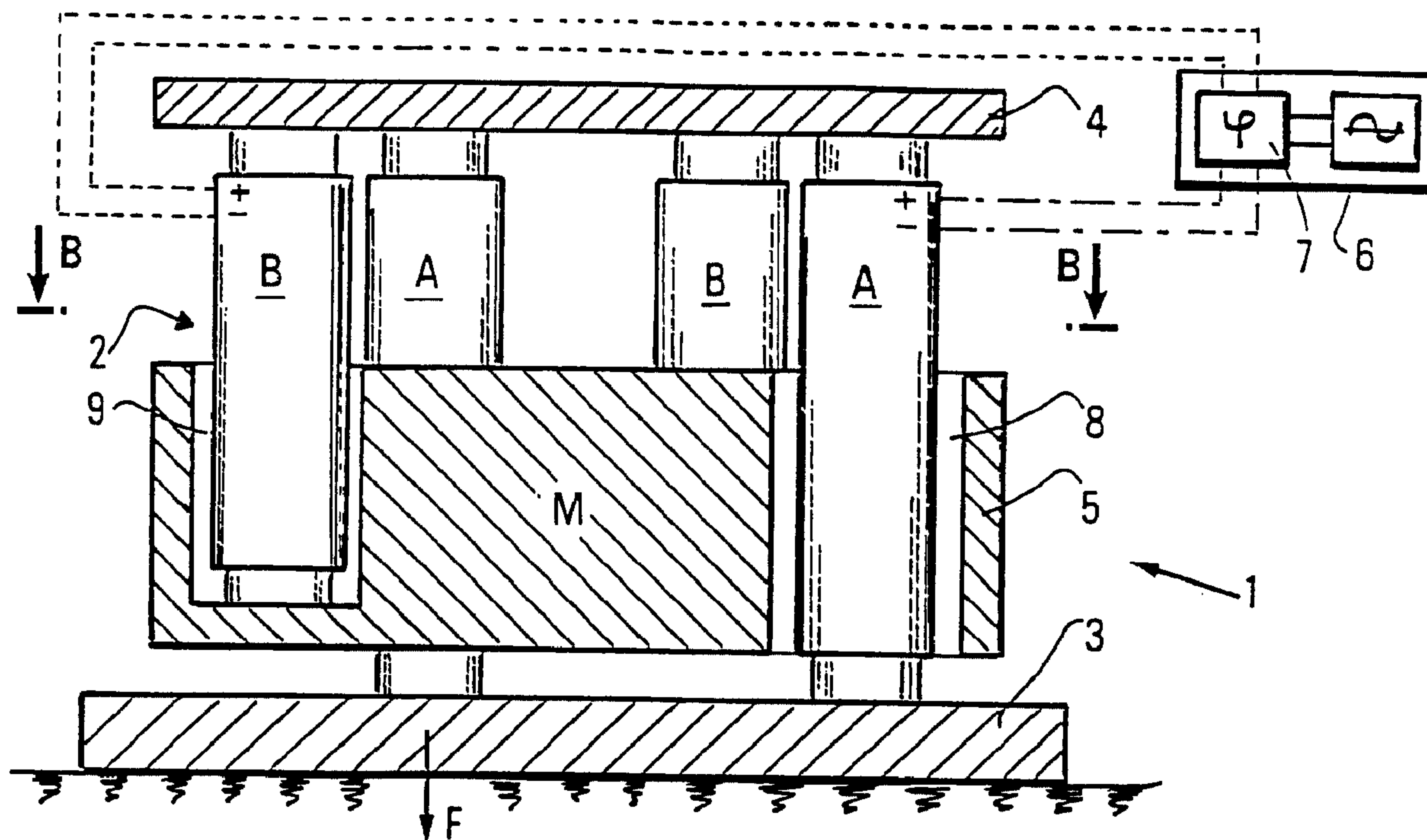




(22) Date de dépôt/Filing Date: 2000/03/28  
 (41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2000/09/30  
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2009/10/13  
 (30) Priorité/Priority: 1999/03/30 (FR99 04 001)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01V 1/143* (2006.01)  
 (72) Inventeur/Inventor:  
 MEYNIER, PATRICK, FR  
 (73) Propriétaires/Owners:  
 INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, FR;  
 CGGVERITAS SERVICES SA, FR;  
 GAZ DE FRANCE, FR  
 (74) Agent: ROBIC

(54) Titre : VIBRATEUR COMPACT ET METHODE DE SURVEILLANCE OU DE PROSPECTION SISMIQUE UTILISANT UN TEL VIBRATEUR  
 (54) Title: COMPACT VIBRATOR AND METHOD OF SEISMIC PROSPECTING OR MONITORING USING SUCH A VIBRATOR



(57) Abrégé/Abstract:

- Vibrateur compact pour émettre des ondes élastiques dans un milieu matériel tel que le sous-sol. - Le vibrateur comporte une plaque de base ou pavillon (3) destiné à être couplée en opération avec une surface de ce milieu, une masse d'inertie (5) et au moins un couple de transducteurs électromécaniques (1, 2) comprenant chacun un ou plusieurs piliers (A, B) réalisés par exemple en un matériau de type piézo-électrique ou magnétostrictif. Les piliers (A) du premier transducteur (1) sont interposés entre le pavillon (3) et une plaque-relais (4). Les piliers (B) du deuxième transducteur sont interposés entre la plaque-relais (4) et la masse

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

d'inertie (5), du même côté de la plaque-relais (4) que les piliers (A) de préférence, de façon que la masse d'inertie (5) soit ramenée au voisinage du pavillon (3), ce qui contribue à la compacité et la stabilité du vibreur que l'on peut de ce fait utiliser sur des surfaces légèrement en pente. Un générateur d'excitation (6) comportant des moyens de déphasage (7) applique respectivement aux deux transducteurs (A, B) des signaux déphasés les uns par rapport aux autres et modulables en amplitude, de façon que leurs vibrations se conjuguent. - Applications notamment à l'équipement d'une zone d'exploitation d'une zone souterraine en moyens de surveillance sismique périodique ou bien pour réaliser des opérations de prospection sismique.

**PRECIS DE LA DIVULGATION :**

- Vibrateur compact pour émettre des ondes élastiques dans un milieu matériel tel que le sous-sol.
- Le vibrateur comporte une plaque de base ou pavillon (3) destiné à être couplée en opération avec une surface de ce milieu, une masse d'inertie (5) et au moins un couple de transducteurs électromécaniques (1, 2) comprenant chacun un ou plusieurs piliers (A, B) réalisés par exemple en un matériau de type piézo-électrique ou magnétostrictif. Les piliers (A) du premier transducteur (1) sont interposés entre le pavillon (3) et une plaque-relais (4). Les piliers (B) du deuxième transducteur sont interposés entre la plaque-relais (4) et la masse d'inertie (5), du même côté de la plaque-relais (4) que les piliers (A) de préférence, de façon que la masse d'inertie (5) soit ramenée au voisinage du pavillon (3), ce qui contribue à la compacité et la stabilité du vibrateur que l'on peut de ce fait utiliser sur des surfaces légèrement en pente. Un générateur d'excitation (6) comportant des moyens de déphasage (7) applique respectivement aux deux transducteurs (A, B) des signaux déphasés les uns par rapport aux autres et modulables en amplitude, de façon que leurs vibrations se conjuguent.
- Applications notamment à l'équipement d'une zone d'exploitation d'une zone souterraine en moyens de surveillance sismique périodique ou bien pour réaliser des opérations de prospection sismique.

VIBRATEUR COMPACT ET MÉTHODE DE SURVEILLANCE OU DE  
PROSPECTION SISMIQUE UTILISANT UN TEL VIBRATEUR

5           La présente invention concerne un vibreur électromécanique compact et une méthode de mise en œuvre.

          Une tel vibreur trouve des applications notamment dans le cadre d'opérations d'exploration sismique 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  
10 ondes étant renvoyées par les discontinuités du sous-sol en réponse à des ondes émises par une source qu'il s'agisse d'une source impulsionnelle : charge d'explosifs dans un trou, canons à air remorqués par un navire en mer, etc., ou des vibreurs émettant des signaux de durée variable, généralement à fréquence variable. La variation de fréquence peut être continue sur une certaine plage de fréquence (balayage ou « sweep ») comme décrit dans le  
15 brevet US 2 688 124 ou bien à variation discontinue à codage binaire comme dans le brevet FR 2 589 587.

          Les vibreurs peuvent être par exemple de type électromagnétique ou électro-hydraulique ou bien encore piézo-électrique. Un vibreur de type piézo-électrique comporte généralement une plaque de base couplée avec le sol, une masse d'inertie  
20 relativement lourde couplée avec le pavillon par l'intermédiaire d'un ou plusieurs transducteurs piézo-électriques. Chaque transducteur comporte par exemple un barreau réalisé d'une seule pièce ou par empilement de disques en céramique piézo-électrique couplés en série, et il est connecté à un générateur de signaux vibratoires modulés en fréquence ou en phase. Un vibreur piézo-électrique est décrit par exemple dans le brevet  
25 US 5 005 665.

          Pour obtenir une force et une amplitude vibratoire suffisante, il est nécessaire d'utiliser des piliers de céramique de longueur relativement importante, de l'ordre de 1m dans la pratique. Du fait de cet étage, la lourde masse d'inertie est placée relativement haut si bien que le vibreur est instable et mal adapté à fonctionner sur terrain pentu même

légèrement sans un ancrage préalable. En outre, les piliers de céramique de longueur importante se révèlent plus fragiles.

La présente invention vise un dispositif pour émettre des ondes sismiques dans un milieu solide comportant un vibreur électro-mécanique pourvu d'un pavillon destiné à être couplé en opération avec une seule surface de ce milieu solide, des moyens vibratoires comportant au moins deux transducteurs électromécaniques avec chacun au moins un élément moteur allongé, chaque élément moteur du premier transducteur reliant rigide-  
10 ment le pavillon à une plaque-relais et chaque élément moteur du deuxième transducteur étant, par une première extrémité, fixé rigide-  
ment à la plaque-relais, et par son extrémité opposée, relié à une deuxième plaque laquelle est disposée entre le pavillon et la plaque-relais, et un générateur d'excitation, caractérisé en ce que la deuxième plaque est une masse d'inertie suffisamment  
lourde, le générateur d'excitation est adapté à appliquer respectivement aux transducteurs, des signaux vibratoires déphasés les uns par rapport aux autres, de façon à mettre sensiblement en phase les déplacements de la plaque relais et du pavillon et maximiser le mouvement relatif du pavillon par rapport à la  
masse d'inertie.

La présente invention vise également une méthode de surveillance  
20 sismique d'une zone souterraine telle qu'un gisement souterrain de stockage de fluides, comportant le couplage de moyens de réception d'ondes élastiques avec la zone, caractérisée en ce qu'elle comporte:

– l'installation pour la durée de surveillance de la zone d'au moins un  
dispositif d'émission d'ondes sismiques dans un milieu solide, comportant un  
vibreur électro-mécanique pourvu d'un pavillon couplé avec une seule  
surface de ce milieu solide, des moyens vibratoires comportant au moins  
deux transducteurs électromécaniques avec chacun au moins un élément  
moteur allongé, chaque élément moteur du premier transducteur reliant  
rigide-  
30 ment le pavillon à une plaque-relais et chaque élément moteur du deuxième transducteur étant, par une première extrémité, fixé rigide-  
ment à la plaque-relais, et par son extrémité opposée, relié à une

## 2a

deuxième plaque laquelle est disposée entre le pavillon et la plaque-relais, cette deuxième plaque étant une masse d'inertie suffisamment lourde;

– l'installation d'un réseau de câbles électriques connectés aux transducteurs de chaque vibreur; et

– la connexion des câbles de ce réseau à une station centrale comprenant au moins un générateur électrique d'excitation adapté à appliquer respectivement aux transducteurs, des signaux vibratoires déphasés les uns par rapport aux autres, de façon à mettre sensiblement en phase les déplacements de la plaque

10 relais et du pavillon et maximiser le mouvement relatif du pavillon par rapport à la masse d'inertie, des moyens de connexion sélective du vibreur de chaque dispositif par l'intermédiaire de ce réseau de câbles électriques, et des moyens d'enregistrement des signaux émanant de la zone souterraine en réponse aux ondes sismiques transmises sélectivement dans le sol par les vibrateurs de chaque dispositif.

D'autres aspects, modes de réalisation préférentiels, variantes possibles et/ou avantages résultants de la présente invention sont brièvement décrits ci-dessous.

20 En effet, le vibreur électromécanique selon l'invention permet d'appliquer une force vibratoire à un milieu matériel, en évitant les inconvénients rappelés ci-dessus. Il comporte un pavillon destiné à être couplé en opération avec une surface de ce milieu, une masse d'inertie reliée rigidement au pavillon par des moyens vibratoires reliés électriquement avec un générateur d'excitation.

30 Les moyens vibratoires comportent au moins deux transducteurs électromécaniques comprenant chacun au moins un élément moteur allongé (d'un type quelconque mais de préférence comprenant un pilier par empilement de disques en un matériau de type piézo-électrique ou magnétostrictif), chaque élément moteur du premier transducteur reliant rigidement le pavillon à une plaque-relais et chaque élément moteur du deuxième transducteur étant, par une première extrémité, connecté rigidement à la plaque-relais et par son extrémité opposée, relié à la masse d'inertie laquelle est disposée entre le pavillon et la plaque-relais, le générateur d'excitation comportant des moyens de déphasage pour

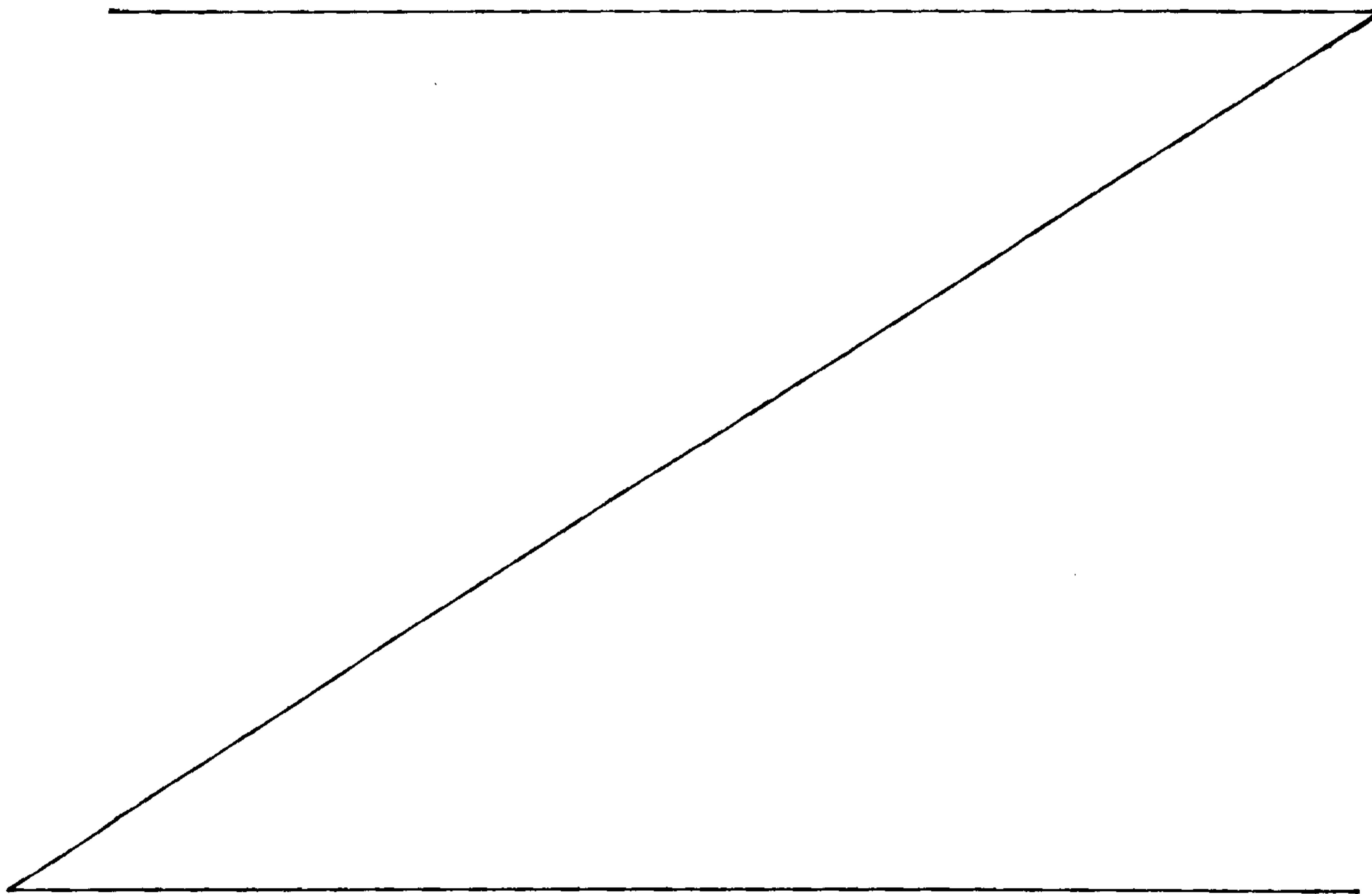
## 2b

appliquer respectivement aux deux transducteurs des signaux déphasés les uns par rapport aux autres.

Suivant un mode de réalisation, le vibreur comporte un couple de transducteurs disposés d'un même côté d'une plaque-relais et couplés rigidement à elle, chaque élément moteur du deuxième transducteur reliant rigidement la plaque-relais à la masse d'inertie.

10 Suivant un autre mode de réalisation, le vibreur comporte au moins deux couples de transducteurs, les transducteurs de chaque couple étant disposés d'un même côté d'une plaque-relais et couplés rigidement à elle, chaque élément moteur du deuxième transducteur étant par une première extrémité connecté rigidement à la plaque-relais et par son extrémité opposée, relié à la masse d'inertie par l'intermédiaire du deuxième couple de transducteurs et de plaques-relais.

Suivant un mode de réalisation préféré, les transducteurs électromécaniques comportent chacun ou plusieurs piliers réalisés en un matériau de type piézo-électrique ou magnétostrictif.



Avec un tel agencement d'au moins un couple de transducteurs électromécaniques avec des éléments moteurs de longueur limitée, couplés et conjugués par l'intermédiaire d'une ou plusieurs plaque-relais, la masse d'inertie peut être ramenée tout près du pavillon, on obtient un vibreur à la fois très robuste et très stable d'encombrement réduit en  
5 hauteur.

De préférence, chaque transducteur comporte plusieurs éléments moteurs allongés disposés parallèlement et connectés en parallèle aux moyens de déphasage.

Suivant un mode préféré de réalisation, on diminue l'encombrement du vibreur en ménageant un ou plusieurs évidements au travers de la masse d'inertie pour où passent les  
10 éléments moteurs de chaque transducteur.

Suivant un autre mode préféré de réalisation, au moins un logement est ménagé dans la masse d'inertie de façon qu'une partie de la longueur des éléments moteurs du deuxième transducteur soit logée dans son épaisseur.

De préférence, le générateur d'excitation comporte des moyens de connexion  
15 permettant une excitation séparée des deux transducteurs de chaque couple avec des signaux d'excitation modulables en amplitude et en phase.

Dans des applications où le critère de stabilité n'est pas particulièrement recherché, il est possible d'utiliser un vibreur comportant au moins trois transducteurs électromécaniques interconnectant le pavillon et la masse d'inertie, ces transducteurs étant  
20 reliés les uns aux autres par l'intermédiaire d'au moins deux plaques-relais, le générateur d'excitation étant connecté aux différents transducteurs par l'intermédiaire de moyens de déphasage adaptés à leur appliquer respectivement des signaux d'excitation déphasés les uns par rapport aux autres, de façon à conjuguer les signaux vibratoires émis par les différents transducteurs.

25 Dans certaines applications où le vibreur doit être placé dans une cavité prolongée par un puits d'exploitation d'un gisement, le pavillon, la masse d'inertie et chaque plaque-relais peuvent être pourvus d'un évidement central pour le passage d'un tubing.

L'invention concerne aussi une méthode de surveillance sismique d'une zone souterraine telle qu'un gisement souterrain de stockage de fluides par exemple, comportant :

- 5 – le couplage de moyens de réception d'ondes élastiques avec la zone (dans un puits par exemple) ;
- 10 – l'installation pour la durée de surveillance de la zone d'au moins un vibreur comportant un pavillon destiné à être couplé en opération avec une surface de la zone (le fond d'une cavité creusée dans le sol par exemple ou ses parois latérales), une masse d'inertie reliée rigidement au pavillon par au moins deux transducteurs électromécaniques disposés d'un même côté d'une plaque-relais, et couplés rigidement à elle, chacun d'eux comprenant au moins un élément moteur allongé relié électriquement avec un générateur d'excitation par l'intermédiaire de moyens de déphasage adaptés à leur appliquer respectivement des signaux déphasés les uns par rapport aux autres de façon à conjuguer les signaux vibratoires émis par les différents transducteurs ;
- 15 – l'installation d'un réseau de câbles électriques connectés aux transducteurs de chaque vibreur ; et
- 20 – la connexion des câbles de ce réseau à une station centrale comprenant au moins un générateur électrique d'excitation permettant d'exciter chaque vibreur par des signaux modulables en amplitude et en phase, des moyens de connexion sélective de chacun des vibreurs par l'intermédiaire de ce réseau de câbles électriques, et des moyens d'enregistrement des signaux émanant de la zone souterraine en réponse aux ondes élastiques transmises sélectivement dans le sol par chaque vibreur.

Les vibreurs sont placés de préférence dans des cavités ménagées dans le sol et les récepteurs d'ondes élastiques couplés avec la formation dans un ou plusieurs puits forés dans la formation, dont les emplacements sont ou non distincts des cavités. Ils sont couplés avec la cavité de façon appropriée pour générer dans les formations des ondes longitudinales ou transversales.

Pour des opérations de surveillance sismique d'une zone souterraine, on peut répartir une pluralité d'ensembles de vibreurs et de récepteurs et procéder à des cycles de

surveillance avec excitation des différents vibrateurs (successivement ou simultanément suivant des modes particuliers) et enregistrement des ondes renvoyées par les formations en réponse aux ondes émises, reçues par différents récepteurs.

Le vibrateur selon l'invention peut être utilisé aussi bien dans le cadre d'opérations de prospection sismique à terre que d'opérations de surveillance sismique à terre ou au fond d'une masse d'eau.

Du fait de sa robustesse et de sa compacité, le vibrateur selon l'invention peut facilement être installé à demeure dans une cavité ménagée dans le sol et excité par intermittence par l'intermédiaire du réseau, dans le cadre d'opérations périodiques de surveillance de la zone souterraine, ou bien être utilisé pour des opérations de prospection sismique.

D'autres caractéristiques et avantages du vibrateur selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'exemples non limitatifs de réalisation où les transducteurs sont de type piézo-électrique, en se référant aux dessins annexés où :

- 15 – la Fig.1 montre une vue schématique en coupe d'un premier mode de réalisation du vibrateur selon l'invention, dont les éléments moteurs sont des piliers d'éléments sensibles piézo-électriques ;
- la Fig.2 est une vue de dessus en coupe suivant CC du même vibrateur, montrant l'agencement respectifs des piliers des deux transducteurs piézo-électriques ;
- 20 – la Fig.3 montre schématiquement un troisième mode de réalisation du vibrateur avec deux transducteurs coaxiaux ;
- la Fig.4 montre schématiquement un quatrième mode de réalisation du vibrateur avec deux transducteurs coaxiaux ;
- la Fig.5 est un schéma de principe illustrant un mode de réalisation où le vibrateur  
25 comporte deux couples de transducteurs piézo-électriques imbriqués ;
- la Fig.6 montre schématiquement un premier exemple d'agencement de surveillance sismique périodique d'une zone souterraine ;

- la Fig.7 montre une installation multi-sources multi-puits de surveillance sismique périodique d'une zone souterraine ; et
- la Fig.8 montre schématiquement un exemple de vibreur comportant un nombre impair de transducteurs.

5 Le vibreur V selon l'invention est réalisé par couplage mécanique de transducteurs comprenant chacun plusieurs piliers constitués chacun de façon connue en soi par empilement d'éléments sensibles, électriquement connectés en série, de type piézo-électrique par exemple.

10 Le mode de réalisation des Fig.1, 2 comporte deux transducteurs 1, 2 montés en opposition incluant chacun plusieurs piliers constitués de disques empilés. Une première extrémité de chaque pilier A du premier transducteur piézo-électrique 1, est fixée rigidement, à un pavillon (plaque de base) 3 adapté à être plaqué contre la surface du sol ou le fond d'un trou. A leur extrémité opposée, les piliers A sont fixés rigidement à une plaque-relais 4. Chaque pilier B du deuxième transducteur piézo-électrique 2 est fixé  
15 rigidement par une première extrémité à la plaque-relais 4 et par son extrémité opposée, à une masse d'inertie 5 suffisamment lourde. L'agencement est tel que la masse d'inertie 5 est suspendue à la plaque-relais 4 par les piliers B du deuxième transducteur piézo-électrique 2, la plaque-relais 4 étant elle-même supportée par les piliers A reposant sur le pavillon 3.

20 Les piliers de chaque transducteur piézo-électrique 1 ou 2 sont électriquement connectés en parallèle à un générateur de signal vibratoire 6 comportant des moyens de déphasage 7. Les deux transducteurs piézo-électriques 1, 2 sont connectés par l'intermédiaire de ces moyens de déphasage 7, de façon que leurs vibrations respectives se conjugent. L'amplitude des déplacements appliquée du pavillon 3 par rapport à la masse  
25 d'inertie 5 est maximale quand les deux transducteurs sont alimentés en opposition de phase.

Par cette conjonction de transducteurs 1, 2 avec des piliers de longueur moyenne, on obtient la même force et la même élongation que celles obtenues avec un transducteur unique utilisant des longs piliers en céramique plus fragiles. Le montage réalisé qui ramène

la masse d'inertie au voisinage du pavillon, permet d'obtenir un vibreur compact et plus stable.

La combinaison de deux transducteurs présente un autre avantage si l'on utilise des moyens de connexion permettant de les alimenter séparément depuis le générateur 6. En  
5 faisant varier l'amplitude des signaux délivrés aux deux transducteurs 1, 2 respectivement, ainsi que le déphasage que leur appliquent les moyens de déphasage 7, on peut corriger la courbe de réponse du vibreur et en particulier égaliser son spectre de fréquence.

De préférence, des ouvertures 8 sont ménagées au travers de la masse d'inertie 5 permettant le libre passage des piliers A du premier transducteur piézo-électrique 1 reliant  
10 le pavillon 3 à la plaque-relais 4. De cette façon on réduit la surface au sol du vibreur ainsi que les dimensions de la plaque-relais ce qui la rend plus rigide. De préférence comme indiqué sur la Fig.2, les piliers des deux transducteurs 1, 2 sont répartis à intervalles angulaires réguliers les uns par rapport aux autres.

On gagne en hauteur également en ménageant des cavités 9 dans la masse d'inertie  
15 5 de façon qu'une partie de la longueur des piliers B du deuxième transducteur piézo-électrique 2 soit logée dans son épaisseur.

La tension délivrée par le générateur 6 peut être modulée en fréquence et/ou en amplitude de manière à mettre en œuvre des techniques connues d'exploration sismique utilisant des vibrateurs à fréquence glissante.

20 Les transducteurs 1, 2 peuvent également être disposés concentriquement comme le montrent les Fig.3, 4.

Suivant le mode de réalisation de la Fig.3, le pavillon 3 est couplé avec la plaque-relais 4 par un pilier central unique A constitué par empilement de disques sensibles. Le couplage entre la plaque-relais 4 et la masse d'inertie 5 est assuré par un empilement B de  
25 disques annulaires disposé autour du pilier central A. La masse d'inertie 5 comporte un évidement central 11 permettant le libre passage du pilier central A.

Suivant le mode de réalisation de la Fig.4, c'est un empilement A de disques annulaires qui relie rigidement le pavillon 3 et la plaque-relais 4 alors que la liaison entre

celle-ci et la masse d'inertie 5 est réalisée par un pilier B passant à l'intérieur de l'empilement A.

Suivant le mode de réalisation de la Fig.5, on peut également utiliser un deuxième couple de transducteurs associé au premier, permettant par un double renvoi, de ramener la masse 5 au voisinage du pavillon 3. Dans un tel agencement, un premier jeu de piliers A relie le pavillon 3 à une première plaque-relais R1, un deuxième jeu de piliers B relie en sens contraire la première plaque relais R1 à une deuxième plaque relais R2, elle-même reliée par un jeu de piliers C à une troisième plaque-relais R3, à proximité de la première plaque relais R1. Des piliers D enfin relie la troisième plaque-relais R3 à la masse d'inertie 5, au voisinage de la deuxième plaque-relais et du pavillon 3.

Avec un tel agencement de quatre transducteurs excités séparément en amplitude et convenablement déphasés les uns par rapport aux autres, on accroît les possibilités de réglage de la courbe de réponse globale du vibreur.

La disposition décrite des points d'implantation des piliers des transducteurs respectivement entre la plaque-relais (4, R1) d'une part et le pavillon 3 et la masse d'inertie 5 n'est pas limitative. On peut choisir tout autre positionnement des différents piliers les uns par rapport aux autres, permettant de ramener la masse d'inertie au voisinage de la surface de couplage du vibreur avec le sol.

Dans des applications où la stabilité du vibreur que l'on obtient comme on l'a vu en ramenant la masse d'inertie 5 au voisinage du pavillon 3, n'est pas particulièrement recherchée, il est possible sans sortir du cadre de l'invention, d'utiliser un nombre impair de transducteurs comme illustré schématiquement à la Fig.8. Les piliers A d'un premier transducteur relie le pavillon 3 à une première plaque-relais R1. D'un même côté de cette première plaque-relais, les piliers B d'un deuxième transducteur la relie à une deuxième plaque-relais R2. La masse d'inertie 5 est reliée à la deuxième plaque-relais R2 par des piliers C d'un troisième transducteur, disposés du même côté de celle-ci que les piliers B.

Le vibreur, tel qu'il a été décrit, peut être utilisé comme source permanente dans le cadre de méthodes de surveillance sismique d'un gisement souterrain décrites par exemple dans les brevets FR 2.674.029 (US 5,243,562), EP 0.748.457 (US 5,724,311) ou la demande de brevet FR 98/02.170 où l'on installe à demeure sur un site d'exploitation

des récepteurs sismiques et une ou plusieurs sources d'ondes élastiques couplées avec des moyens d'alimentation en énergie, de façon à effectuer des relevés sismiques périodiques.

Des vibrateurs G tels que ceux décrits ci-dessus, peuvent (Fig.6) être facilement couplés avec la surface ou installés au voisinage de la surface. On les installe de préférence dans des cavités souterraines S assez profondes (quelques dizaines de mètres par exemple).

Le pavillon 3 du vibrateur peut être mis en contact avec le fond et/ou avec les parois de façon à générer dans les formations environnantes selon les cas des ondes longitudinales ou des ondes transversales ou de cisaillement.

Chaque vibrateur est relié par des câbles électriques 12 éventuellement enterrés, à un générateur de signaux vibratoires dans une station centrale 13 adaptée par ailleurs à collecter et enregistrer les signaux captés par des moyens de réception R, descendus dans un ou plusieurs puits W en réponse aux signaux vibratoires émis.

Les puits W peuvent être forés spécialement pour y installer des récepteurs R, sur une profondeur de quelques centaines de mètres. Un ou plusieurs d'entre eux peuvent également être des puits d'exploitation de la zone souterraine, les récepteurs étant installés derrière un tube de cuvelage (casing) ou bien encore associés à un tubing d'exploitation du puits.

Chaque cavité peut être formée par élargissement d'un puits W pour récepteurs à sa partie supérieure, ou être creusée à quelques mètres de la gueule d'un puits. Pour les applications où la cavité d'installation est traversée par un tubing d'exploitation d'une zone souterraine, on utilise un vibrateur adapté à être placé autour de lui. A cet effet, le pavillon 3, la masse d'inertie 5 et chaque plaque-relais 4 d'un tel vibrateur sont pourvus d'une ouverture centrale permettant le passage du tubing.

Suivant le mode de mise en œuvre schématisé à la Fig.7, on creuse plusieurs couples de puits W et de cavités S tels que ceux de la Fig.6, à distance les uns des autres sur toute la zone souterraine à surveiller.

Les vibrateurs peuvent être excités successivement. Les signaux sismiques reçus en réponse aux ondes émises par un vibrateur sont captés par les récepteurs R dans les différents puits et corrélés avec les ondes sismiques émises.

Les vibrateurs peuvent aussi être actionnés simultanément à condition d'être excités chacun à tout instant par des signaux spécifiques obtenus par glissement continu de fréquence ou bien par une variation discontinue à codage binaire comme dans le brevet FR 2 589 587 déjà cité, de façon que l'on puisse, par corrélation avec les signaux reçus dans  
5 les différents puits W, identifier le lieu de leur émission.

On a décrit des applications du vibrateur selon l'invention à terre. Il est bien évident cependant qu'il peut être couplé avec le fond d'une masse d'eau pour des opérations de surveillance sismique de zones souterraines.

Il peut également être utilisé pour des opérations de prospection sismique.

**REVENDEICATIONS**

1. Dispositif pour émettre des ondes sismiques dans un milieu solide comportant un vibreur électro-mécanique pourvu d'un pavillon (3) destiné à être couplé en opération avec une seule surface de ce milieu solide, des moyens vibratoires comportant au moins deux transducteurs électromécaniques (1, 2) avec chacun au moins un élément moteur allongé, chaque élément moteur (A) du premier transducteur (1) reliant rigidement le pavillon (3) à une plaque-relais (4, R1) et chaque élément moteur (B) du deuxième transducteur (2) étant, par une première extrémité, fixé rigidement à la plaque-relais (4, R1), et par son extrémité opposée, relié à une deuxième plaque (5) laquelle est disposée entre le pavillon (3) et la plaque-relais (4, R1), et un générateur d'excitation (6, 7), caractérisé en ce que la deuxième plaque (5) est une masse d'inertie suffisamment lourde, le générateur d'excitation (6, 7) est adapté à appliquer respectivement aux transducteurs, des signaux vibratoires déphasés les uns par rapport aux autres, de façon à mettre sensiblement en phase les déplacements de la plaque relais et du pavillon et maximiser le mouvement relatif du pavillon par rapport à la masse d'inertie (5).

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le vibreur comporte un couple de transducteurs (1, 2) disposés d'un même côté d'une plaque-relais (4, R1) et couplés rigidement à elle, chaque élément moteur (B) du deuxième transducteur (2) connectant directement la plaque-relais (4) à la masse d'inertie (5).

3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le vibreur comporte au moins deux couples de transducteurs (1, 2), (1', 2'), les transducteurs de chaque couple étant disposés d'un même côté d'une plaque-relais (R1, R3) et couplés rigidement à elle, chaque élément moteur (B) du deuxième transducteur (2) du premier couple étant, par une première extrémité, connecté rigidement à la plaque-relais (D1) et par son extrémité opposée, relié à

la masse d'inertie (5) par l'intermédiaire des éléments moteurs (C, D) du deuxième couple (1', 2') de transducteurs et de plaques-relais (R2, R3).

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que chaque transducteur comporte plusieurs éléments moteurs disposés parallèlement les uns aux autres et connectés en parallèle aux moyens de déphasage (7).

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'au moins un évidement (8) est ménagé au travers de la masse d'inertie (5) permettant le libre passage d'éléments moteurs (A, B, C)  
10 d'au moins un transducteur.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'au moins un logement (9) est ménagé de la masse d'inertie (5) de façon qu'une partie de la longueur des éléments moteurs (B, D) d'au moins un autre transducteur soit logée dans son épaisseur.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour exciter séparément les transducteurs avec des signaux d'excitation modulables en amplitude et en phase, de manière à égaliser la réponse en fréquence du vibreur.

8. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte  
20 au moins trois transducteurs électromécaniques interconnectant le pavillon (3) et la masse d'inertie (5), ces transducteurs étant reliés les uns aux autres par l'intermédiaire d'au moins deux plaques-relais, le générateur d'excitation (6) étant connecté aux différents transducteurs par l'intermédiaire de moyens de déphasage (7) adaptés à leur appliquer respectivement des signaux d'excitation déphasés les uns par rapport aux autres de façon à conjuguer les signaux vibratoires émis par les différents transducteurs.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le pavillon (3), la masse d'inertie (5) et chaque plaque-relais (4) comporte un évidement pour le passage d'un tube.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que les éléments moteurs sont de type piézo-électrique ou magnétostrictif.

10 11. Méthode de surveillance sismique d'une zone souterraine telle qu'un gisement souterrain de stockage de fluides, comportant le couplage de moyens (R) de réception d'ondes élastiques avec la zone, caractérisée en ce qu'elle comporte:

- l'installation pour la durée de surveillance de la zone d'au moins un dispositif d'émission d'ondes sismiques dans un milieu solide, comportant un vibreur (V) électro-mécanique pourvu d'un pavillon (3) couplé avec une seule surface de ce milieu solide, des moyens vibratoires comportant au moins deux transducteurs électromécaniques (1, 2) avec chacun au moins un élément moteur allongé, chaque élément moteur (A) du premier transducteur (1) reliant rigidement le pavillon (3) à une plaque-relais (4, R1) et chaque élément moteur (B) du deuxième transducteur (2) étant, par une première extrémité, fixé rigidement à la plaque-relais (4, R1), et par son extrémité opposée, relié à une deuxième plaque (5) laquelle est disposée entre le pavillon (3) et la plaque-relais (4, R1),  
20 cette deuxième plaque (5) étant une masse d'inertie suffisamment lourde;
- l'installation d'un réseau de câbles électriques (12) connectés aux transducteurs (1, 2) de chaque vibreur (V); et
- la connexion des câbles (12) de ce réseau à une station centrale (13) comprenant au moins un générateur électrique d'excitation (6, 7) adapté à appliquer respectivement aux transducteurs (1, 2), des signaux vibratoires déphasés les uns par rapport aux autres, de façon à mettre sensiblement en phase les déplacements de la plaque relais et du pavillon et maximiser le mouvement relatif du pavillon par rapport à la masse d'inertie (5), des moyens

de connexion sélective du vibreur (V) de chaque dispositif par l'intermédiaire de ce réseau de câbles électriques (12), et des moyens d'enregistrement des signaux émanant de la zone souterraine en réponse aux ondes sismiques transmises sélectivement dans le sol par le vibreur de chaque dispositif.

12. Méthode selon la revendication 11, caractérisée en ce qu'elle comporte l'installation d'au moins un vibreur (V) dans au moins une cavité (S) ménagée dans le sol et son couplage avec les formations environnant la cavité, de façon à y générer des ondes longitudinales ou transversales.

10 13. Méthode selon la revendication 11 ou 12, caractérisée en ce qu'elle comporte le couplage de récepteurs (R) d'ondes élastiques dans au moins un puits (W) foré dans la formation.

14. Méthode selon la revendication 11, caractérisée en ce qu'elle comporte la répartition dans la zone de plusieurs ensembles de vibrateurs (V) et de récepteurs (R) couplés à la formation sous la surface et la réalisation de cycles de surveillance avec excitation des différents vibrateurs et enregistrement des ondes renvoyées par la formation en réponse aux ondes émises par les vibrateurs et reçues par différents récepteurs.

15. Méthode selon la revendication 14, caractérisée en ce les différents vibrateurs (V) sont actionnés successivement.

20 16. Méthode selon la revendication 14, caractérisée en ce que les différents vibrateurs (V) sont excités par des signaux spécifiques et actionnés simultanément.

17. Utilisation du dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 à la prospection sismique.

FIG.1

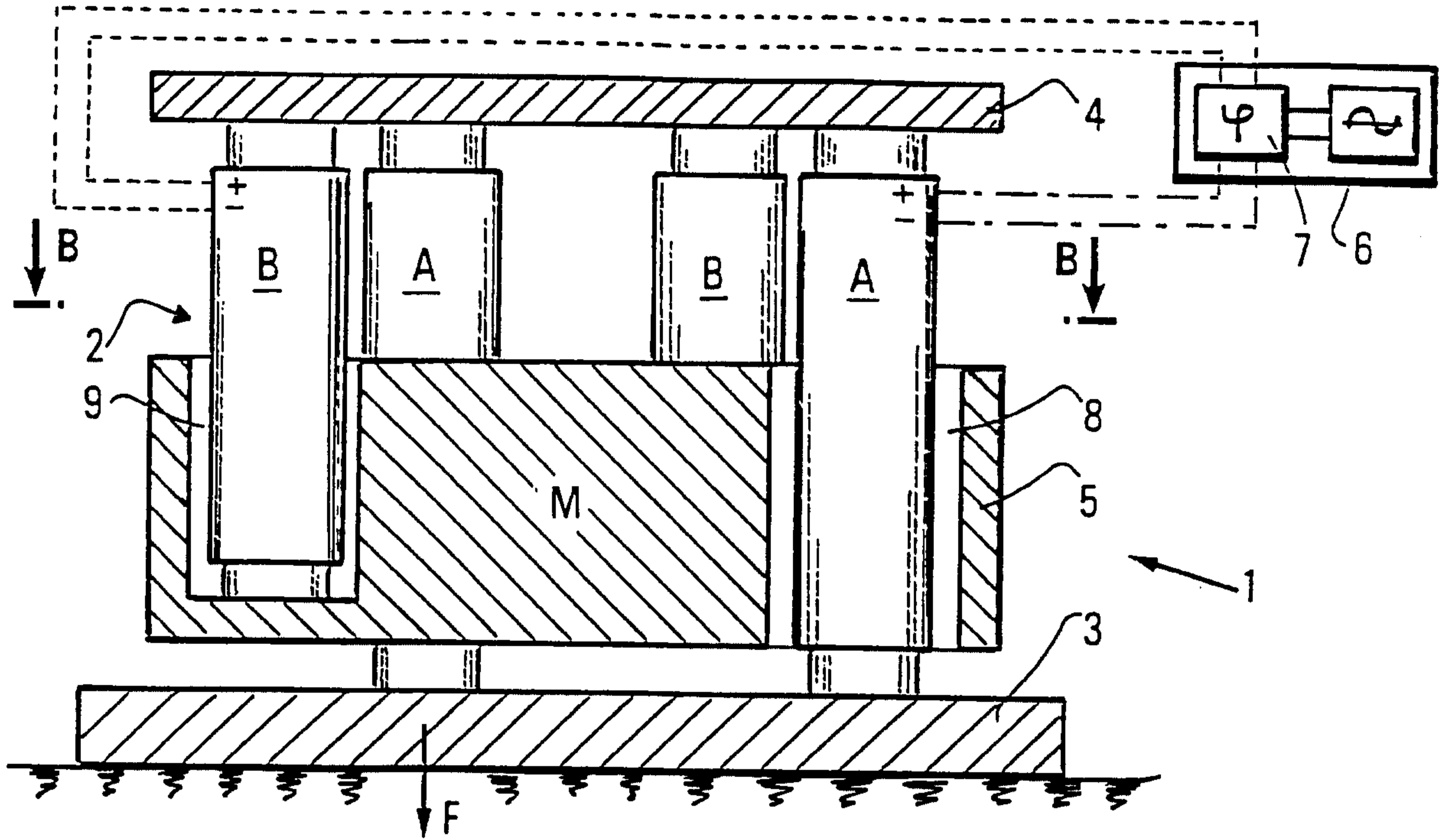


FIG.2

