

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 637 696

②1 N° d'enregistrement national :

89 14359

⑤1 Int Cl⁵ : G 01 V 1/40, 1/133; E 21 B 47/00, 49/00.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 2 novembre 1989.

③0 Priorité : US, 4 mars 1988, n° 164154.

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 15 du 13 avril 1990.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Division demandée le 2 novembre 1989, bénéficiant de la date de dépôt du 3 mars 1989 de la demande initiale n° 89 02826 (art. 14 de la loi du 2 janvier 1968 modifiée).

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY. — US.

⑦2 Inventeur(s) : Graham Arthur Winbow; Mark Steven Ramsey; James David Fox.

⑦3 Titulaire(s) :

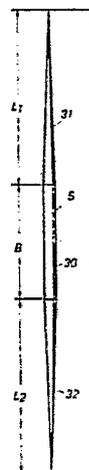
⑦4 Mandataire(s) : Rinuy et Santarelli.

⑤4 Convertisseur d'ondes de tube pour exploration sismique de puits.

⑤7 L'invention concerne un convertisseur 5 d'ondes de tube destiné à être utilisé dans un conduit rempli de liquide.

Il comprend un corps métallique allongé ayant un fort contraste d'impédance acoustique avec celle du liquide présent dans un puits de forage 2. Sa longueur est au moins égale à environ la moitié de la longueur d'onde d'une onde P de formation, à la fréquence opératoire du convertisseur 5, et la longueur de sa section centrale 30 est comparable à la longueur de chacune des extrémités qui sont effilées 31, 32.

Application à la prospection sismique.



FR 2 637 696 - A1

La présente invention a pour objet la production en profondeur d'ondes de compression et de cisaillement destinées à être utilisées dans l'exploration sismique du sol entourant un puits de forage. La présente invention
5 concerne en particulier un procédé et un appareil pour la production et la transformation d'ondes de tube dans un puits de forage en ondes de compression et de cisaillement à une profondeur choisie pour effectuer un sondage sismique vertical inversé ou un sondage, oblique par rapport au trou
10 de sonde, du sol entourant le puits de forage.

L'exploration sismique est l'utilisation d'ondes sismiques pour cartographier les structures géologiques et particularités stratigraphiques souterraines. Le but final de l'exploration sismique est la
15 localisation de gisements de pétrole, de gaz ou de gisements minéraux économiquement exploitables. La plus grande partie de l'exploration sismique est effectuée en plaçant un réseau de capteurs, appelés géophones, sur la surface du sol. Des charges explosives, des vibrateurs ou
20 d'autres sources d'énergie sismique sont déclenchés sur la surface pour engendrer des ondes sismiques dans le sol. Les ondes sismiques traversent le sol sous forme d'ondes de terrain, c'est-à-dire sous forme d'ondes de compression (ondes P) et d'ondes de cisaillement (ondes S). Les ondes
25 sismiques frappent les strates présentes dans le sol et sont réfléchies vers la surface. Les géophones détectent les ondes réfléchies. Les signaux résultants sont enregistrés et traités de différentes manières pour donner des informations concernant le sous-sol.

30 Le sondage sismique vertical inversé (SSV inversé ou SSVI) est une technique d'exploration utile pour obtenir des informations sur les caractéristiques souterraines du sol entourant un puits de forage. Le SSV inversé est mis en oeuvre en plaçant une source d'énergie sismique
35 à des profondeurs choisies dans un puits de forage. Des

détecteurs de mouvement, ou géophones, sont placés sur la surface du sol suivant un motif choisi. L'énergie sismique provenant de la source pénètre dans la formation autour du puits de forage et est transmise à travers le sol sous forme d'ondes de terrain. Les détecteurs de mouvement sur la surface du sol répondent à l'énergie transmise par la source souterraine et à l'énergie réfléchie par les particularités structurales 'souterraines. L'information obtenue est utilisée pour effectuer des prévisions concernant la structure géologique et les particularités stratigraphiques existant dans le sol autour du puits de forage.

L'utilisation du sondage sismique vertical inversé a été limitée en raison de la nécessité d'une source souterraine qui engendre une énergie suffisante pour effectuer l'opération et n'endommage pas le puits de forage. Des charges explosives peuvent être utilisées en profondeur et engendrent une énergie suffisante pour effectuer un sondage sismique vertical inversé. Cependant, le risque d'endommagement du puits de forage est important. Des canons à air comprimé peuvent également être utilisés comme sources souterraines. Il existe plusieurs problèmes pratiques avec les canons à air comprimé, comprenant des réflexions par les bulles libérées lorsque le canon est actionné et le besoin de fournir en profondeur une source d'air sous haute pression. En outre, les canons à air comprimé peuvent également endommager le puits de forage.

Un article intitulé "Radiation from a Downhole Air Gun Source", par Lee et collaborateurs, Geophysics, volume 49, N° 1 (janvier 1984), décrit l'utilisation en profondeur d'un canon à air comprimé comme source d'énergie sismique dans une expérience sismique, oblique par rapport au puits, effectuée sur un gisement. L'article indique qu'un canon à air comprimé constitue une source intéressante d'énergie sismique pour un SSV oblique par rapport au

puits. Cependant, l'article signale que la récupération, la fixation et la remise en place d'un canon à air comprimé sont des opérations longues. Cela est dû au fait qu'il est nécessaire que les câbles, tuyaux flexibles et fils métalliques soient reliés à un canon à air comprimé pour le fonctionnement de celui-ci. Le canon à air comprimé a provoqué apparemment des dégâts minimes au puits de forage.

L'article de Lee et collaborateurs indique qu'outre les ondes P et S rayonnées dans le sol à proximité de la source souterraine, d'autres ondes de terrain sont engendrées lors de la réflexion de l'onde de tube engendrée par le canon à air comprimé à partir du fond du trou de sonde ou d'autres discontinuités présentes dans le trou de sonde. Les ondes de tube sont des impulsions de pression ou ondes de pression qui cheminent longitudinalement dans un conduit rempli de fluide. Aux pages 30 et 31 de l'article, Lee et collaborateurs concluent que les ondes de tube descendent depuis le canon à air comprimé, reviennent par réflexion du fond du trou de sonde et sont de nouveau réfléchies par le canon à air comprimé ou les bulles d'air formées à proximité du canon à air comprimé. Cependant, l'article indique que, chaque fois qu'il existe des obstacles pouvant engendrer une réflexion d'ondes de tube, tels que le bas d'un puits servant de source, les irrégularités d'un puits servant de source, une bulle d'air, la présence de l'outil (canon à air comprimé) proprement dit ou bien la présence d'inhomogénéités dans le milieu pénétré par un puits servant de source, des rayonnements secondaires et des réflexions multiples associées peuvent être engendrés".

Un article de Lee et Balch intitulé "Theoretical Seismic Wave Radiation from a Fluid-filled Borehole", *Geophysics*, volume 47, N° 9 (septembre 1982), décrit des ondes de tube présentes dans un puits de forage. L'article

indique que des ondes de tube présentes dans le puits de forage peuvent engendrer une onde de terrain de haute amplitude dans le sol entourant le puits de forage lorsque l'onde de tube est réfléchi au fond du puits de forage.

5 Le brevet des Etats-Unis d'Amérique
N° 3 979 724 au nom de Silverman illustre une application
du principe mentionné dans l'article précité de Lee et
Balch. Silverman décrit la production d'une onde de choc,
ou onde de tube, dans la garniture de forage présente dans
10 un puits de forage. L'onde de choc quitte l'extrémité de la
garniture de forage et pénètre dans le fluide présent dans
le puits de forage, engendrant dans le sol une onde
sismique. Les ondes de choc utilisées par Silverman
n'endommagent apparemment pas le puits de forage. Cepen-
15 dant, il est inefficace de laisser simplement l'onde de
tube quitter le conduit et pénétrer dans le fluide présent
dans le trou de sonde ou bien, en variante, revenir par
réflexion jusqu'à la garniture de forage. Seule une
quantité relativement faible de l'énergie présente dans
20 l'onde de tube descendant dans le conduit est rayonnée dans
la formation. Il en résulte que le procédé et l'appareil de
Silverman sont inefficaces pour transformer les ondes de
tube en ondes P et S.

Le brevet des Etats-Unis d'Amérique
25 N° 4 671 379 au nom de Kennedy et collaborateurs illustre
une source souterraine d'énergie sismique. Une colonne de
fluide dans le puits de forage est soumise à une oscilla-
tion pour produire une onde stationnaire de résonance. Cela
est effectué en isolant une colonne d'eau entre deux
30 vessies gonflables et en excitant la colonne avec un
excitateur oscillant communiquant avec la colonne de
fluide. Le brevet indique qu'il fournit une source
relativement efficace d'énergie par fonctionnement à une
fréquence proche de, ou égale à, la fréquence de résonance
35 de la colonne de fluide. Un inconvénient majeur du

dispositif mentionné dans le brevet est l'appareillage souterrain relativement compliqué, représenté sur les figures 3 à 9, requis pour la mise en pratique de cette idée.

5 Le brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 2 281 751 au nom de Cloud décrit la production d'ondes sismiques en faisant varier périodiquement la pression exercée sur un trou de sonde rempli de fluide. Dans la mesure où Cloud engendre une onde de tube quelconque, il se
10 base principalement sur la différence de section transversale entre le tube 14 mis sous pression et la section inférieure, remplie de fluide, du puits 13 pour transformer les ondes de tubes en ondes de terrain. Le procédé et l'appareil décrits dans le brevet au nom de Cloud sont
15 également inefficaces, pour les mêmes raisons que celles mentionnées ci-dessus dans la description du brevet au nom de Silverman.

De la manière précitée, il existe un besoin d'un appareil et d'un procédé pour la production d'ondes de
20 tube qui soient conduites en profondeur et transformées efficacement en ondes de compression et de cisaillement rayonnant dans le sol entourant le trou de sonde. Comme l'indique l'article de Lee et collaborateurs, tout obstacle présent dans le puits, tel qu'un canon à air comprimé,
25 transforme des ondes de tube en ondes de terrain. Cependant, l'efficacité de transformation est faible et un temps long serait requis pour une opération sismique en raison du faible rendement énergétique. L'appareil et le procédé doivent permettre de préférence un déplacement
30 relativement aisé du convertisseur d'ondes de tubes à n'importe quel endroit choisi dans le puits de forage. En outre, le procédé et l'appareil doivent être simples et robustes afin de supporter les conditions régnant habituellement sous terre.

La présente invention a pour objet un appareil et un procédé pour engendrer des ondes de tube à, ou près de, la surface, puis transformer les ondes de tube en ondes de terrain dans le sol à une profondeur choisie. Des ondes de tube sont engendrées, injectées dans le fluide présent dans le puits de forage au sommet du puits de forage, ou près de celui-ci, et guidées en profondeur par le puits de forage ou le cuvelage ou tubage. Lorsque les ondes de tube frappent un convertisseur particulier suspendu dans le puits à une profondeur choisie, les ondes de tube sont transformées en ondes de compression et de cisaillement et, depuis le convertisseur, sont rayonnées dans le sol entourant le puits de forage. Le convertisseur d'ondes de tubes constitue une source souterraine relativement efficace et peut être utilisé pour effectuer des expériences sismiques du type SSV inversé ou oblique par rapport au puits de forage.

La présente invention comprend une source d'ondes de tube située dans le puits de forage. Une source d'ondes de tube est située à une faible profondeur ou à la surface et communique avec le tube présent dans le puits de forage. La source d'ondes de tube injecte des ondes de tube, qui descendent dans le puits de forage et frappent le convertisseur d'ondes de tube. La source d'ondes de tubes, telle qu'un canon à air comprimé, peut créer des ondes de pression. De préférence, la source crée un train d'ondes de pression à fréquence modulée ajustable.

La présente invention comprend en outre un convertisseur d'ondes de tube qui est placé dans le puits à une profondeur choisie. Le convertisseur est de préférence un corps allongé suspendu dans le puits de forage, mais non nécessairement fixé à celui-ci, et ayant une longueur comprise approximativement entre une demi- et une longueur d'onde de l'onde P de la formation, à la fréquence de fonctionnement. Le convertisseur d'ondes de tube doit

avoir un fort contraste d'impédance acoustique avec le fluide présent dans le puits de forage et doit remplir le puits aussi complètement que possible.

De préférence, l'impulsion à fréquence modulée engendrée par la source d'ondes de tube est détectée au moyen d'un détecteur convenable situé sur le convertisseur d'ondes de tube. Le signal résultant est transmis en surface à travers le câble de forage auquel le convertisseur d'ondes de tube est suspendu. Ce signal souterrain est intercorrélé avec les signaux reçus par les géophones en surface pour donner une image du sous-sol comparable à celle créée par une source souterraine d'impulsions. Le signal résultant peut également être enregistré et mémorisé en profondeur pour être récupéré et intercorrélé ultérieurement.

La présente invention résout plusieurs des problèmes concernant les sources sismiques souterraines. La source d'ondes de tube peut être située en surface. Le convertisseur souterrain d'ondes de tube est de conception simple, tout en étant cependant efficace pour transformer des ondes de tube en ondes de compression et de cisaillement. Le convertisseur d'ondes de tube n'est pas un canon à air comprimé ou une source explosive, ce qui réduit ainsi la possibilité d'endommagement du puits de forage. Le convertisseur d'ondes de tube est placé à n'importe quelle profondeur choisie dans le puits de forage au moyen du câble de forage. Aucun conduit d'air sous haute pression n'est requis et aucun câblage compliqué n'est nécessaire. De manière concrète, la pièce servant de convertisseur d'ondes de tube de la présente invention est un dispositif intrinsèquement robuste et fiable, que le spécialiste de la conception d'outils souterrains considérera comme constituant un avantage important.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description détaillée qui va suivre, faite en regard des dessins annexés. Les formes de réalisation sont présentées sur les dessins, sur
5 lesquels des numéros identiques de référence désignent des pièces semblables. Il faut noter que, pour des raisons de clarté, les parties des dessins peuvent être représentées suivant des orientations non indicatives de la perspective finale d'assemblage.

10 - La figure 1 est une vue schématique en coupe transversale d'un plan de SSV inversé utilisant la présente invention.

- La figure 2 est une vue latérale d'un convertisseur d'ondes de tube.

15 - La figure 3 est une vue en coupe transversale d'une première forme de réalisation d'une vanne à opercule tournant destinée à un assemblage servant de générateur d'ondes de pression.

20 - La figure 4 est une vue en coupe transversale d'une deuxième forme de réalisation d'une vanne à opercule tournant destinée à un assemblage servant de générateur d'ondes de pression.

25 - La figure 5 est une vue en coupe transversale d'une troisième forme de réalisation d'une vanne à opercule tournant destinée à un assemblage servant de générateur d'ondes de pression.

30 - La figure 6 est une vue latérale en coupe transversale d'une forme de réalisation du convertisseur d'ondes de tube destiné à être utilisé dans des trous de sonde non tubés, et

- La figure 7 est une vue latérale en coupe transversale de la forme de réalisation de la figure 4, avec des éléments supplémentaires d'étanchéité.

35 La figure 1 est une illustration schématique partielle de la présente invention. Un conduit 1, tel qu'un

tubage ou cuvelage, pénètre totalement ou partiellement dans le puits de forage 2 pratiqué dans le sol. Un graisseur 3, ou un autre moyen convenable pour permettre le passage du câble entre l'extérieur et l'intérieur du tubage ou de la garniture de forage, est relié à la tête de puits et un câble électrique ou câble mécanique 4 passe à travers le graisseur et descend dans le puits. Le câble 4 est relié à une extrémité du convertisseur 5 d'ondes de tube. Le graisseur 3 assure l'étanchéité autour du câble et permet d'ajuster de la manière habituelle la profondeur du convertisseur 5 d'ondes de tube. De manière classique, le câble 4 est bobiné sur un treuil motorisé de levage (non représenté), de sorte que la profondeur ou la position axiale du convertisseur d'ondes de tube dans le puits de forage peut être aisément ajustée.

Un générateur d'impulsions de pression 6 crée alternativement des impulsions de pression qui descendent dans le puits sous forme d'ondes de tube. Le générateur d'impulsions de pression communique avec le conduit 1 par une certaine longueur du tube 7. Le générateur d'ondes de pression comprend une vanne rotative 8 actionnée par un moteur 9. Une pompe 10 aspire un liquide sous une pression relativement basse d'un réservoir 11 d'alimentation en fluide. Le liquide quitte la pompe sous une pression supérieure à la pression du puits de forage, passe à travers un robinet d'arrêt 12 et s'écoule dans le côté d'alimentation de la vanne rotative 8. La vanne rotative présente une configuration telle que les orifices reliant le côté sous haute pression de la vanne et le tube 7 sont ouverts rapidement et au moins partiellement fermés ou bloqués, créant des impulsions alternatives de pression dans le tube 7. En ajustant la vitesse et l'accélération du moteur, il est possible de créer un train d'ondes de pression à fréquence modulée dans le conduit 1. Un accumulateur 13 peut être utilisé pour réduire les effets

de l'inertie du fluide sur l'appareillage en amont du générateur d'impulsions proposé. Dans l'accumulateur, une masse de liquide 14 communiquant avec l'orifice de sortie de la pompe 10 et l'orifice d'entrée de la vanne rotative 8 est recouvert par une masse de gaz 15 sous haute pression. De manière classique, le gaz 15 et le liquide 14 sont séparés par un diaphragme ou piston 21.

Lors du fonctionnement, les impulsions de pression, ou le train d'ondes de pression à fréquence modulée, engendrées par le générateur d'impulsions de pression 6, sont transmises au puits de forage 2 à travers le tube 7 relié au puits de forage. Les impulsions de pression sont dirigées dans le puits de forage par le cuvelage 1 du puits de forage. Le convertisseur 5 d'ondes de tube transforme les impulsions de pression en ondes de terrain. Les ondes de terrain, indiquées par les lignes partant du convertisseur d'ondes de tube 5, montent à la surface 18 et sont détectées en surface par les géophones 19. Les ondes de terrain sont également réfléchies par les particularités structurales présentes dans le sol autour du trou de sonde et les ondes réfléchies sont ensuite détectées également par les géophones 19. Les signaux résultants provenant des géophones sont enregistrés et peuvent être traités de la manière bien connue dans la pratique.

Pour produire le train précité d'ondes de pression à fréquence modulée, le corps de vanne rotative du générateur d'impulsions de pression est soumis à une rotation initiale à une vitesse qui produit une fréquence choisie, par exemple égale à 20 Hz. En un temps de quelques secondes, la vitesse du corps de vanne rotative est accrue de manière contrôlée à une fréquence supérieure choisie, par exemple égale à 100 Hz. Il en résulte un train d'ondes de tube à fréquence modulée similaire aux impulsions à fréquence modulée injectées par des vibrateurs

5 sismiques de surface, et des procédés, tels que VIBROSEIS*; sont connus dans la pratique. Les impulsions de pression à fréquence modulée descendent dans le puits de forage sous forme d'ondes de tube pour frapper le convertisseur d'ondes de tube. De préférence, la rotation du moteur et la vanne rotative sont ajustées de sorte qu'une impulsion à fréquence modulée ayant toutes les caractéristique requises puissent être produites.

10 Le convertisseur d'ondes de tube est de préférence un corps métallique allongé ayant un fort contraste d'impédance acoustique avec le fluide présent dans le puits de forage et qui remplit le conduit 1 aussi complètement que possible. La forme de réalisation préférée du convertisseur d'ondes de tube est représentée sur la figure 2. Le convertisseur présente de préférence une partie centrale 30 généralement cylindrique et des extrémités effilées, ou généralement coniques, 31 et 32. Pour provoquer un rayonnement aussi efficacement que possible, la longueur L du convertisseur doit être comprise dans l'intervalle d'au moins une demi- à une longueur d'onde d'une onde de compression de formation à la fréquence opératoire désirée ou à la fréquence centrale de l'impulsion de fréquence modulée pour une onde de tube à fréquence modulée. La longueur d'onde d'une onde P de formation (vitesse d'onde P de formation/fréquence opératoire désirée) est connue ou bien est aisément obtenue par des procédés bien connus.

25 De la manière précitée, on sait que tout obstacle dans un conduit rempli de liquide provoque un rayonnement de certaines ondes P et S lorsqu'il est frappé par une impulsion de pression dans le liquide. Dans l'article précité de Lee et collaborateurs, des ondes de tube frappant un canon à air comprimé placé en profondeur

* Marque déposée de Conoco.

produisaient des ondes P et S. Il a été déterminé que l'efficacité de transformation d'ondes de tube en ondes P et S augmente avec l'accroissement de la longueur de l'obstacle, jusqu'à la longueur préférée mentionnée ci-dessus. Cependant, un convertisseur allongé fonctionne de manière adéquate, bien qu'avec moins d'efficacité, même si sa longueur L est inférieure à la longueur préférée ci-dessus. En conséquence, le terme "allongé", tel qu'il est utilisé ci-dessus, désigne généralement une longueur notablement supérieure au diamètre et, en particulier, un rapport de la longueur au diamètre notablement supérieur au rapport de la longueur au diamètre des canons classiques à air comprimé, etc., qui peuvent être utilisés en profondeur.

Le convertisseur d'ondes de tube doit avoir un fort contraste d'impédance acoustique avec le liquide présent dans le puits de forage. Cependant, il n'est pas nécessaire que le convertisseur soit un corps métallique solide. Une autre raison de la non-efficacité notable des canons à air comprimé, tels qu'ils sont utilisés par Lee dans l'article précité, pour la transformation des ondes de tube en ondes de terrain est que les canons à air comprimé ne possèdent pas un fort contraste d'impédance acoustique avec le liquide présent dans le puits de forage. L'efficacité du convertisseur augmente lorsque son rayon augmente et avoisine le rayon interne du puits de forage. A titre pratique, le rayon d'un convertisseur destiné à être utilisé dans un puits de forage tubé peut atteindre ou dépasser 90% du rayon de cuvelage. Cela crée le fort contraste d'impédance acoustique nécessaire et laisse encore une liberté adéquate de déplacement du convertisseur dans le cuvelage. Si le convertisseur est un corps métallique solide ayant une section transversale cylindrique pratiquement uniforme (c'est-à-dire si les extrémités du convertisseur ne sont pas effilées), il provoque un

rayonnement des ondes P et S de manière adéquate si les conditions précitées concernant la longueur et le rayon sont satisfaites. Cependant, il provoque seulement de manière efficace un rayonnement pour une plage étroite de fréquences.

5 Pour améliorer l'efficacité du convertisseur d'ondes de tube dans la largeur de bande supérieure, ce convertisseur doit de préférence posséder la forme représentée sur la figure 2. La longueur L_1 ou L_2 des parties terminales effilées 31 et 32 doit être comparable à la longueur B de la section centrale 30. Les performances du convertisseur ne sont pas très sensibles à la forme exacte de la partie effilée. Pour optimiser la largeur de bande de rayonnement, la section centrale 30 doit être beaucoup plus courte que les sections terminales effilées 31 et 32. Cependant, cela réduit les performances du convertisseur dans la bande des basses fréquences sismiques, c'est-à-dire avec des fréquences d'environ 20 à environ 70 Hz.

20 La fixation du convertisseur d'ondes de tube au cuvelage n'est pas nécessaire. Le convertisseur fonctionne de manière efficace, que le cuvelage soit bien fixé ou non. Cela est dû au passage à travers le cuvelage et la boue ou le ciment environnant de l'impulsion principalement radiale émise par le convertisseur, aux fréquences sismiques.

30 Les ondes de terrain rayonnées par le convertisseur peuvent être détectées par des récepteurs placés dans un trou de sonde voisin ou bien par un dispositif de détecteurs sur la surface. Par exemple, un réseau de géophones ou d'hydrophones peut être placé dans des trous peu profonds remplis d'eau ou de boue, qui garantissent un bon rapport du signal au bruit de fond. De préférence, les détecteurs de signaux ne doivent pas être placés à moins d'environ 30 m du puits. Cela est dû au fait que les ondes

de tube véhiculent suffisamment d'énergie à proximité du trou de sonde et que les détecteurs doivent être placés loin du puits pour éviter de détecter cette énergie.

Le train d'ondes de tube à fréquence modulée est de préférence détecté par un ou plusieurs détecteurs convenables montés sur le convertisseur d'ondes de tube. Le détecteur peut être un transducteur de mouvement ou de pression, ou tout autre détecteur convenable connu dans la pratique. Le signal mesuré est transmis à la surface à travers le câble soutenant le convertisseur. En variante, le signal mesuré peut être enregistré en profondeur et récupéré ultérieurement. Cette récupération ultérieure peut ou non comprendre les résultats du traitement des signaux en profondeur. A la surface, ce signal est intercorrélé avec le signal reçu par les détecteurs présents sur la surface, ou à un autre endroit, pour donner une image du sous-sol comparable à celle créée par une source souterraine d'impulsions, telle qu'un canon à air comprimé. Cela est similaire à la technique utilisée pour traiter des résultats provenant de sources sismiques en surface du type VIBROSEIS, et est connu dans la pratique. Par rapport aux vibreurs de surface, la technique de l'invention présente l'avantage que le signal pénétrant dans le sol est bien défini, ce qui n'est pas le cas pour les vibreurs en surface. Le générateur d'impulsions de pression peut engendrer des impulsions isolées plutôt que des ondes de tube à fréquence modulée. Un tel injecteur peut être, par exemple, un canon à air comprimé. En outre, des convertisseurs d'ondes de tube de configurations différentes ou variables peuvent être utilisés dans la présente invention.

Le fluide optimal du puits de forage est l'eau pure, dont le gaz piégé a été éliminé. Le gaz piégé peut être éliminé par des moyens classiques avant les opérations. La boue de forage, l'eau salée et la plupart des fluides de conditionnement disponibles dans le commerce

sont également considérés comme étant acceptables, si un poids supplémentaire est requis dans la colonne de fluide présente dans le puits de forage.

De préférence, l'opération est effectuée dans un puits tubé. Si le puits est non tubé, le procédé préférée d'utilisation de la présente invention consiste à injecter l'onde de tube dans une garniture de forage, un tubage ou une autre colonne de cuvelage à extrémité ouverte, le convertisseur étant monté à l'extrémité de la garniture de forage, du tubage ou d'une autre colonne de cuvelage. Cette forme de réalisation est décrite plus en détail ci-dessous.

Des formes de réalisation de la vanne rotative destinée à l'injecteur d'ondes de tube sont représentées sur les figures 3, 4 et 5. La vanne rotative s'ouvre et se ferme hydrauliquement plusieurs fois par tour du tambour de vanne. Par exemple, un tour du tambour de vanne peut ouvrir et fermer deux fois chaque orifice. S'il existe N orifices et si l'arbre tourne à F_0 Hz, la fréquence de l'onde de tube produite est alors égale à $2 NF_0$.

Ainsi, pour produire des ondes de tube de 100 Hz, l'arbre doit tourner à $60 \times 100 \text{ tr/min}/2N$. Si $N = 4$, comme le montre la figure 3, une vitesse d'arbre de 750 tr/min est alors requise pour produire des ondes de tube de 100 Hz. Ainsi, l'augmentation du nombre d'orifices diminue la vitesse à laquelle le tambour de vanne doit être mis en rotation. Cela réduit le cisaillement sur la vanne. Actuellement, jusqu'à 10 orifices à travers le tambour de vanne sont envisagés pour un système pratique.

La vanne doit être soigneusement équilibrée pour réduire au minimum les contraintes exercées sur les paliers et les joints au cours du fonctionnement. Il est admis que la pression de la boue ou d'un autre liquide appliquée sur le côté d'admission de la vanne rotative soit comprise dans l'intervalle de 700 à 35 000 kPa et soit

habituellement égale à environ 7000 kPa. Suivant les conditions du fluide et la géométrie du puits, des pressions plus élevées peuvent être utilisées.

En ce qui concerne la figure 3, les détails de la configuration d'une forme de réalisation de la vanne rotative 8 sont représentés de manière plus approfondie. La vanne comprend un corps de vanne 36 généralement tubulaire. Des orifices d'admission 37 alimentent en liquide sous haute pression la vanne rotative. Le liquide sous haute pression communique avec l'intérieur du corps de vanne 36 à travers les orifices 39 de corps de vanne. Des orifices de sortie 40 sont également connectés au corps de vanne 36 et communiquent avec l'intérieur du corps de vanne à travers les orifices 39 du corps de vanne. Des plaques terminales 41 sont reliées aux extrémités du corps de vanne 36 avec des boulons et des écrous 42, 43, ou bien par d'autres moyens convenables. Des joints 44 entre les plaques terminales 41 et le corps de vanne 36 empêchent le liquide sous haute pression de fuir hors de la vanne.

Un arbre 46 monté dans les paliers 47 est relié à chaque extrémité d'un tambour cylindrique 45 de vanne rotative pour supporter mécaniquement le tambour dans le corps de vanne. Le tambour de vanne 45 est un cylindre creux qui peut être obturé à une extrémité et ouvert à l'autre extrémité. Les orifices 50 à travers le cylindre s'alignent alternativement avec, et bloquent au moins partiellement, les orifices 39 de corps de vanne pour créer un train d'impulsions de pression à fréquence modulée ou fixe lorsque le tambour de vanne est mis en rotation. Des joints 44 entre l'arbre 46 et les plaques terminales 41 empêchent la fuite du fluide du corps de vanne autour de l'arbre 46. Une extrémité de l'arbre 46 du tambour de vanne est reliée à l'arbre 49 du moteur d'entraînement (non représenté), de préférence par un mécanisme d'embrayage 48 pour permettre une prise et un débrayage rapides entre le

tambour de vanne et le moteur. En outre, le mécanisme d'embrayage 48 peut permettre un léger défaut d'alignement entre le moteur et les arbres 46. D'autres éléments d'entraînement tels que des raccords, des courroies, des transmissions, des commandes par engrenage d'angle et des trains d'engrenages peuvent également être utilisés de la manière requise. Le moteur d'entraînement peut être de n'importe quel type, tel qu'un moteur électrique, pneumatique ou hydraulique.

De manière classique, il existe un certain jeu, habituellement faible, entre le diamètre extérieur du tambour de vanne 45 et le diamètre intérieur du corps de vanne 36. Le tambour de vanne ne rend donc pas totalement étanches les orifices de sortie 40 lorsque les orifices 50 à travers le tambour ne sont pas en alignement avec les orifices 39 du corps de vanne. Cependant, cela n'affecte pas l'aptitude de la vanne rotative à créer l'impulsion à fréquence modulée désirée. Des joints (non représentés) peuvent être placés en d'autres points, tel qu'entre le diamètre extérieur du tambour 45 de la vanne rotative et le diamètre intérieur du corps de vanne 36. Ces joints sont décrits ci-dessous.

Il faut également noter qu'il n'est pas nécessaire qu'il existe un écoulement de fluide effectif ou continu de la vanne rotative à l'intérieur du conduit 1 dans le puits de forage. Il est suffisant que la production d'impulsions de pression de la vanne soit transmise convenablement au liquide présent dans le puits pour transmettre les impulsions de pression en profondeur. Cette remarque s'applique à toutes les formes de réalisation de l'invention.

La figure 4 représente une autre forme de réalisation de la vanne rotative 8 de la présente invention. Les pièces de cette forme de réalisation qui sont communes à la forme de réalisation décrite ci-dessus

possèdent les mêmes numéros de référence que les pièces correspondantes sur la figure 3. Les deux principales différences entre les deux formes de réalisation sont le tambour 45 de vanne rotative et le corps de vanne 36. Dans
5 la forme de réalisation de la figure 4, le tambour de vanne est un disque et le corps de vanne 36 comprend une cloison ou un disque stationnaire présentant un ou plusieurs orifices 39. Les orifices 50 à travers le disque rotatif s'alignent alternativement avec, et bloquent au moins
10 partiellement, les orifices correspondants 39 à travers le corps de vanne 36 pour créer le train d'impulsions de pression à fréquence modulée ou fixe d'une manière similaire à celle décrite ci-dessus. Des joints (non représentés) peuvent être placés en position adjacente aux
15 orifices fixes 39 et/ou aux orifices rotatifs 50. De même, des joints (non représentés) peuvent être placés entre le diamètre intérieur du corps de vanne et le diamètre extérieur du tambour rotatif, entre la face du disque 36 du corps de vanne et la face du tambour rotatif 45, ou bien
20 entre l'arbre 46 et le corps de vanne 36.

La figure 5 représente une troisième forme de réalisation de la vanne rotative comprenant un tambour cylindrique de vanne rotative. Les pièces de cette forme de réalisation qui sont communes aux formes de réalisation
25 décrites ci-dessus possèdent les mêmes numéros de référence que les pièces correspondantes sur la figure 3 et la figure 4. Dans cette forme de réalisation, les orifices d'admission et de sortie 39 sont situés sur les faces opposées du corps de vanne 36. Un ou plusieurs passages ou orifices 50
30 à travers le tambour de la vanne 45 permettent au fluide de pénétrer à travers le tambour et d'établir une voie directe du fluide à travers la vanne lorsque les orifices dans le tambour de vanne sont alignés avec les orifices d'admission et de sortie. Lors de la rotation du tambour 45, les
35 orifices 59 et les orifices 39 s'alignent et se ferment

alternativement pour créer le train d'impulsions de pression à fréquence modulée ou fixe d'une manière similaire à celle décrite ci-dessus. Un orifice d'évacuation (non représenté) peut être incorporé à travers les plaques terminales 41 pour empêcher un accroissement de pression dans le volume délimité par chaque plaque terminale 41, le corps de vanne 36 et l'extrémité du tambour de vanne 45. Comme dans les autres formes de réalisation, des joints (non représentés) peuvent être placés entre le corps de vanne 44 et le tambour de vanne 45 à un ou plusieurs endroits.

La figure 7 illustre une forme de réalisation de la vanne rotative à laquelle des joints 64 sont incorporés pour améliorer la restriction d'écoulement lorsque la vanne est en position fermée. Un joint torique supplémentaire 44 assure l'étanchéité entre l'arbre 46 et la cloison. Les joints sont constitués d'une matière convenable telle que le polytétrafluoréthylène. Ils comprennent un corps généralement cylindrique 65 et une bride de fixation 66, qui peut être fixée au corps de vanne par des vis 67. La longueur du corps est choisie de sorte que l'extrémité 68 du corps du joint 65 s'étende au-delà de la cloison ou du corps de vanne. Le disque de la vanne rotative entre ainsi en contact avec l'extrémité du joint lors de la rotation du disque. Les joints représentés, bien qu'étant fonctionnels tels qu'ils sont représentés, peuvent être modifiés ou remplacés par un autre joint pour améliorer l'étanchéité et/ou la durée de vie. Il est également envisagé qu'un ou plusieurs éléments d'étanchéité puissent être utilisés sur toute autre forme de réalisation de la vanne.

La figure 6 représente une forme de réalisation du convertisseur de la présente invention destinée à être utilisée dans un puits ouvert ou non tubé. De la manière précitée, le puits est de préférence tubé. Dans un puits

non tubé, le convertisseur d'ondes de tube est relié à l'extrémité d'un tubage ou d'une garniture de forage 60 et des ondes de tube sont injectées dans le tubage ou la garniture de forage 60 rempli de fluide. Le convertisseur 5, qui est mis en position en déplaçant l'extrémité du train de tubes à la profondeur désirée, est relié au train de tubes par des boulons 61. L'extrémité 62 du train de tubes peut être remplie d'une matière 64 absorbant les sons, telle que du caoutchouc au plomb, pour réduire les réflexions. Des orifices 63 à travers le train de tubes permettent au convertisseur de rayonner des ondes P et S dans la formation. La surface totale des puits doit être de préférence égale à au moins environ 30% de la surface du tubage sur la portion centrale 30 du convertisseur 5. En variante, le convertisseur 5 d'ondes de tube peut faire partie intégrante du train de tubes ou de la garniture de forage.

La présente invention est utilisée dans un puits tubé en positionnant le convertisseur 5 d'ondes de tube à une profondeur choisie. Comme le montre la figure 6, le convertisseur 5 est abaissé sur le câble 4 à la profondeur choisie. Dans un puits non tubé, le convertisseur est positionné en plaçant l'extrémité du train de tubes, ou de la garniture de forage 1, de la manière représentée sur la figure 6, à la profondeur choisie par des moyens classiques. De la manière décrite ci-dessus, le générateur d'impulsions de pression 6 est relié au tubage, au train de tubes ou à la garniture de forage de la manière appropriée, pour transmettre une ou plusieurs ondes de pression en profondeur. Les impulsions de pression frappent le convertisseur d'ondes de tube et des ondes P et S sont rayonnées dans le sol par le convertisseur. De préférence, le train d'impulsions de pression à fréquence modulée est détecté au moyen d'un détecteur convenable (non représenté) situé sur le convertisseur d'ondes de tube et les signaux

résultants sont transmis à la surface et enregistrés. En variante, les résultats provenant du détecteur peuvent être emmagasinés en profondeur pour être récupérés ultérieurement. Les géophones 18 en surface détectent les ondes de terrain et les signaux résultants sont enregistrés et de préférence intercorrélés avec les signaux provenant du détecteur et envoyés au convertisseur.

Il va de soi que la présente invention n'a été décrite qu'à titre explicatif, mais nullement limitatif, et que de nombreuses modifications peuvent y être apportées sans sortir de son cadre.

REVENDICATIONS

1. Convertisseur (5) d'ondes de tube destiné à être utilisé dans un conduit rempli de liquide, caractérisé en ce qu'il comprend un corps métallique allongé
5 ayant un fort contraste d'impédance acoustique avec le liquide présent dans un puits de forage (2).

2. Convertisseur (5) d'ondes de tube suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la longueur du convertisseur (5) d'ondes de tube est au moins égale à
10 environ la moitié de la longueur d'onde d'une onde P de formation, à la fréquence opératoire du convertisseur (5) d'ondes de tube.

3. Convertisseur (5) d'ondes de tube suivant la revendication 2, caractérisé en ce que la longueur du
15 convertisseur (5) d'ondes de tube est comprise dans l'intervalle d'environ une demi- à une longueur d'onde d'une onde P de formation, à la fréquence opératoire du convertisseur (5) d'ondes de tube.

4. Convertisseur (5) d'ondes de tube suivant
20 la revendication 3, destiné à être utilisée avec une source de train d'ondes de pression à fréquence modulée, caractérisé en ce que la longueur du convertisseur (5) est au moins égale à environ la moitié de la longueur d'onde d'une onde P de formation, à la fréquence centrale de la
25 fréquence modulée.

5. Convertisseur (5) d'ondes de tube suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le diamètre du convertisseur (5) est suffisant pour remplir le conduit (1) aussi complètement que possible.

30 6. Convertisseur (5) d'ondes de tube suivant la revendication 5, caractérisé en ce que le convertisseur (5) d'ondes de tube présente une section centrale cylindrique (30) et des extrémités effilées (31, 32).

35 7. Convertisseur (5) d'ondes de tube suivant la revendication 6, caractérisé en ce que la longueur de la section centrale (30) est comparable à la longueur de chacune des extrémités effilées (31, 32).

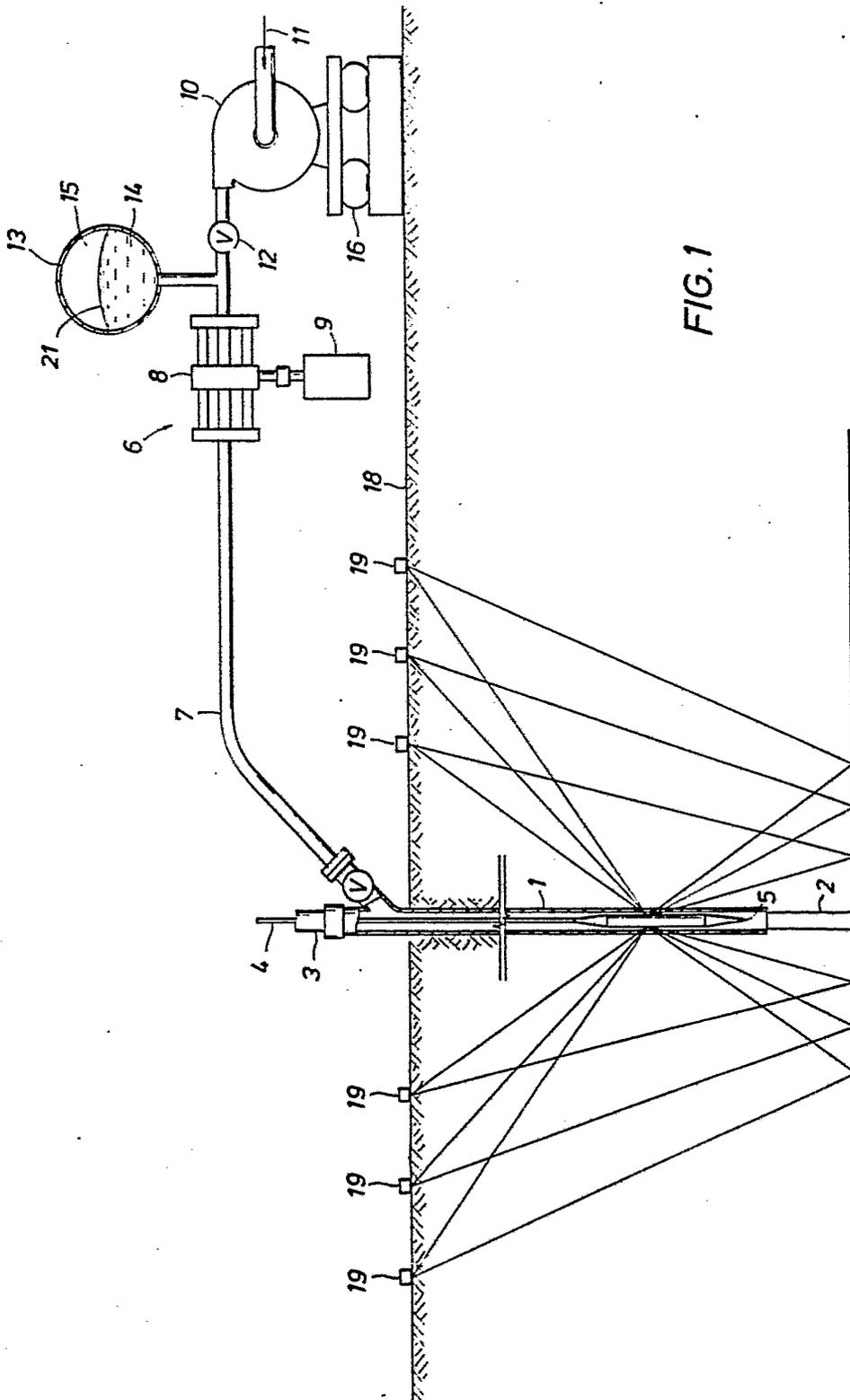


FIG. 1

FIG. 2

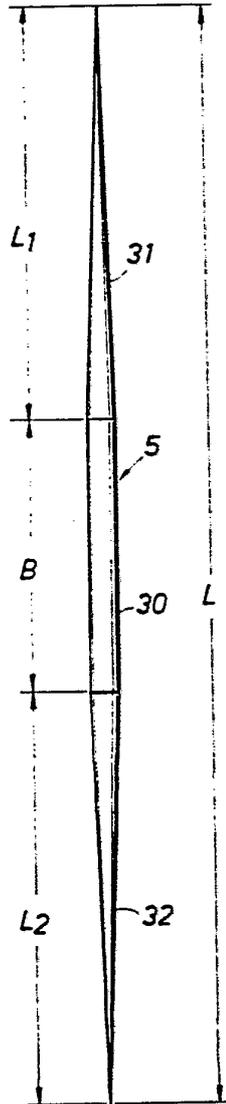
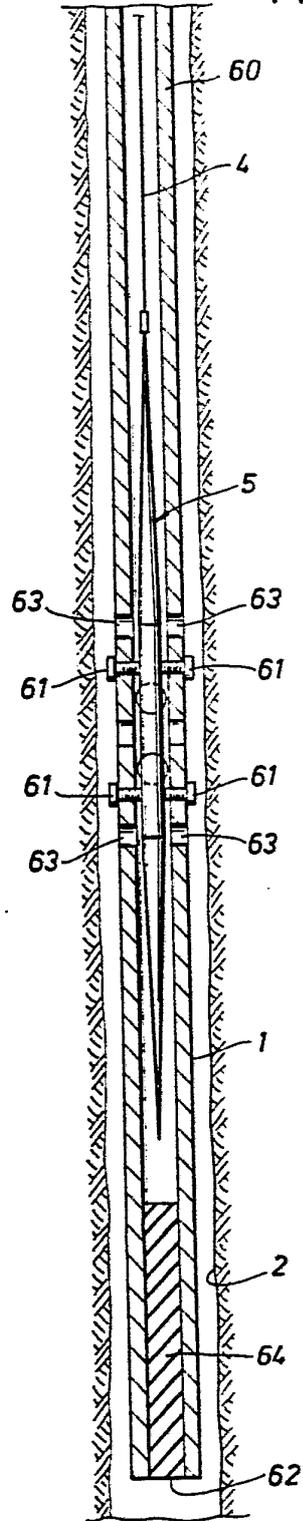


FIG. 6



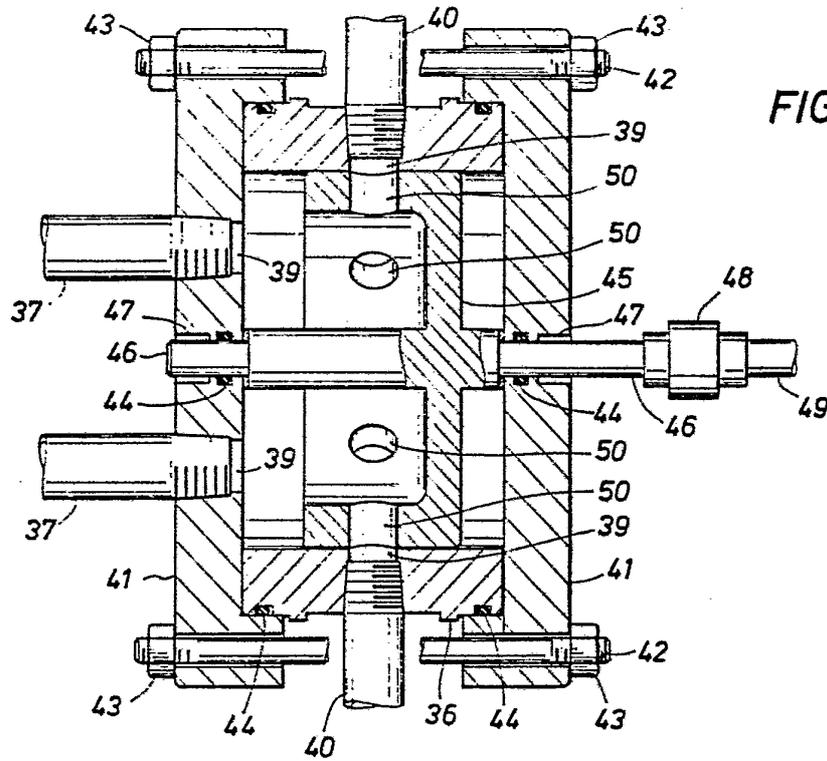


FIG. 3

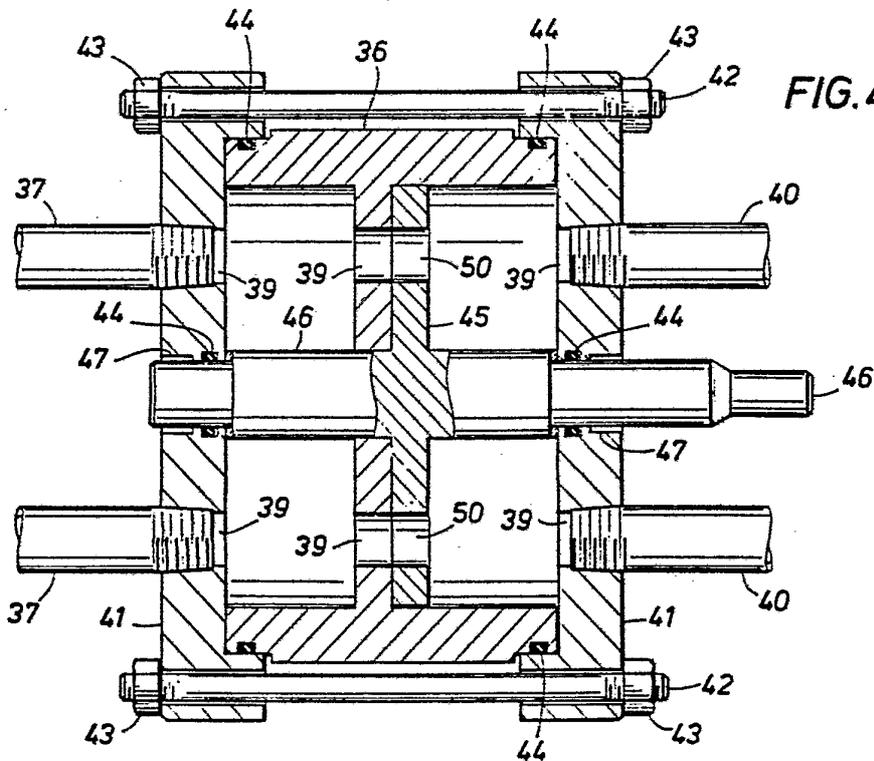


FIG. 4

FIG. 5

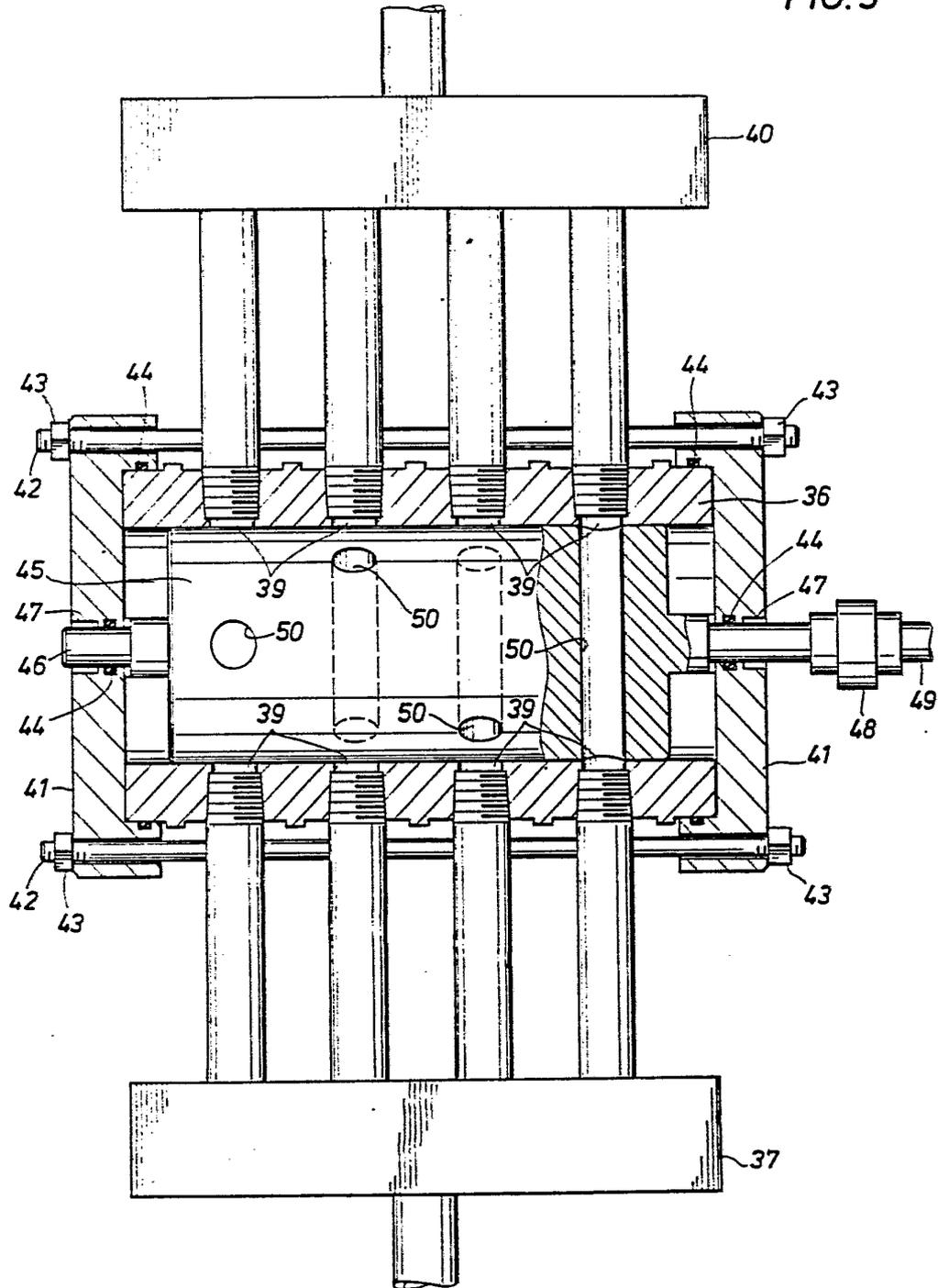


FIG. 7

