

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 12.06.92.

③0 Priorité : 14.06.91 US 715364.

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : 29.01.93 Bulletin 93/04.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche : *Le rapport de recherche n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : *Société dite: BAKER HUGHES INCORPORATED — US.*

⑦2 Inventeur(s) : Rorden Louis H.

⑦3 Titulaire(s) :

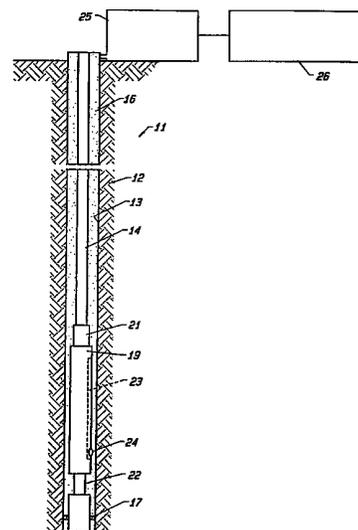
⑦4 Mandataire : Rinuy Santarelli.

⑤4 Transducteur de communication acoustique pour trou de sonde.

⑤7 L'invention concerne un transducteur conçu spécialement pour une transmission acoustique d'information dans un trou de sonde.

Il est porté par un support (19) et comporte un nombre multiple d'entrefers d'un circuit magnétique et des bobines électriques qui produisent l'énergie nécessaire pour un fonctionnement en mode acoustique dans un trou de sonde tout en satisfaisant les contraintes dimensionnelles nécessaires imposées par les trous de sonde.

Domaine d'application: transmission d'information entre le fond et la surface dans des puits d'hydrocarbures, etc.



La présente invention concerne la communication par un trou de sonde, par exemple entre la surface et un emplacement dans le fond d'un tel trou de sonde, par transmission d'ondes acoustiques sur la longueur de ce trou de sonde, le milieu de transmission étant un liquide s'y trouvant. Elle concerne plus particulièrement un transducteur destiné à effectuer une conversion entre de l'énergie électrique et de l'énergie acoustique dans un tel liquide de trou de sonde, lequel transducteur ne dépend pas du mouvement du liquide pour effectuer la communication.

L'un des problèmes les plus difficiles associés à tout trou de sonde est la communication de renseignements entre un ou plusieurs emplacements situés dans le fond d'un trou de sonde et la surface, ou entre des emplacements dans le trou de sonde. Par exemple, une communication est souhaitée par l'industrie pétrolière pour récupérer, à la surface, des données générées dans le trou durant des opérations de forage, y compris durant des périodes de repos intercalées avec des opérations réelles de forage ou pendant des manoeuvres d'aller et retour ; pendant des opérations de complétion telles que la perforation, la fracturation ou l'essai du puits ou de tiges de forage ; et pendant des opérations de production telles que l'essai d'évaluation du réservoir, le contrôle de la pression et de la température. Une communication est également souhaitée dans cette industrie pour transmettre des renseignements depuis la surface à des outils ou des instruments se trouvant en fond de trou pour effectuer, commander ou modifier des opérations ou des paramètres.

Une communication précise et fiable avec le fond du trou est particulièrement importante lorsque des données (renseignements) doivent être communiquées, c'est-à-dire lorsque l'on doit faire communiquer plus qu'un simple signal de déclenchement ou analogue. Cette information se présente souvent sous la forme d'un signal numérique codé.

Une approche qui a été largement prise en considération pour une communication ou transmission dans un trou de forage est l'utilisation d'une connexion directe par fils entre la surface et un ou plusieurs emplacements en fond de trou. La communication peut alors s'effectuer par l'intermédiaire d'un signal électrique empruntant le fil. Bien qu'un travail important ait été consacré à une communication ou transmission "par fil", cette approche n'a pas été adoptée dans l'industrie, car elle s'est avérée très coûteuse et peu fiable. Par exemple, une difficulté rencontrée avec cette approche est que, étant donné que le fil est souvent posé par l'intermédiaire de nombreuses longueurs de tiges de forage ou de colonne de production, il n'est pas rare qu'une rupture ou une mauvaise connexion de fil apparaisse au moment de l'installation initiale de l'ensemble à fils. Bien qu'il ait été proposé (voir brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 4 215 426) d'éviter les problèmes associés à un couplage électrique direct de tiges de forage en établissant un couplage par induction pour la liaison de communication en un tel emplacement, un couplage par induction présente, entre autres problèmes, une perte importante du signal à chaque couplage. Il repose aussi sur la mise en place d'agencements spéciaux et complexes de rames de forage.

Une autre technique de communication en trou de forage qui a été étudiée est la transmission d'ondes acoustiques. Ces ondes physiques ont besoin d'un milieu de transmission qui les propage. On reconnaîtra que des éléments tels que des variations des couches de terrain, le profil de densité, etc., rendent la terre totalement impropre en tant que milieu de transmission pour une communication acoustique. En raison de ces problèmes connus, on s'est généralement limité, dans cette technique, à explorer une communication acoustique par l'intermédiaire de milieux en rapport avec les trous de sonde.

On a consacré beaucoup de travaux à développer un système approprié de communication acoustique dans lequel la garniture de forage ou la colonne de production, elle-même, dans le trou de forage, agit en tant que milieu de transmission. Un problème majeur associé à de tels agencements est dû au fait que les configurations de garnitures de forage ou de colonnes de production varient en général notablement dans la direction longitudinale. Ces variations sont habituellement différentes dans chaque trou. De plus, la configuration d'un trou particulier peut varier avec le temps du fait, par exemple, de l'addition d'éléments de colonne, etc. Il en résulte qu'aucun système à usage général, reposant sur une transmission par garniture de forage ou colonne de production, n'a été accepté de façon significative sur le marché.

On a également consacré des efforts à l'utilisation d'un liquide à l'intérieur d'un trou de sonde en tant que milieu de transmission acoustique. A première vue, on pourrait penser que l'utilisation d'un liquide en tant que milieu de transmission dans un trou de sonde constitue une approche relativement simple, du fait de la large utilisation et des développements importants de systèmes de communication et de systèmes sonar reposant sur la transmission acoustique dans l'océan. En fait, le brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 3 233 674 constitue un exemple d'un brevet qui mentionne simplement une telle communication sans prendre en considération le fait que l'on peut être incapable, dans la technique, de le mettre à exécution.

La transmission acoustique d'un liquide à l'intérieur d'un trou de sonde est considérablement différente de la transmission acoustique en océan ouvert en raison des problèmes associés aux limites entre le liquide et les structures le confinant dans un trou de sonde. Des critères concernant ces problèmes sont d'une importance primordiale. Cependant, du fait de l'aspect attractif du concept d'une transmission acoustique dans un liquide

indépendamment de son mouvement, il a été proposé, dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 3 964 556, un système utilisant des variations de pression dans un liquide non en mouvement, pour communiquer. Cependant, un tel système ne  
5 s'est pas avéré pratique, car il ne s'agit pas d'un système autonome et un certain mouvement du liquide s'est avéré nécessaire pour transmettre des variations de pression.

Compte tenu de ce qui précède, une communication significative d'informations par des liquides de trou de  
10 sonde était limitée à des systèmes qui faisaient appel à l'écoulement du liquide pour transporter une modulation acoustique d'un point d'émission jusqu'à un récepteur. Cette approche est généralement appelée dans la technique "processus MWD" (mesure en cours de forage). Les développements le  
15 concernant ont été limités à une communication durant la phase de forage de la durée de vie d'un trou de sonde, principalement du fait que c'est uniquement durant le forage que l'on peut s'assurer d'un fluide pouvant être modulé en écoulement entre l'emplacement du forage et la surface. La  
20 plupart des systèmes MWD sont également limités du fait de l'opération de forage elle-même. Par exemple, il n'est pas inhabituel que l'opération de forage doive être arrêtée pendant une communication pour éviter le bruit associé à ce forage. De plus, une communication durant les opérations  
25 d'aller et retour est possible.

Malgré les problèmes posés par la communication MWD, le désir d'obtenir une bonne communication en trou de sonde a entraîné une recherche importante portant sur ce mode de communication. Il en est résulté un nombre important de  
30 brevets concernant le processus MWD, dont un grand nombre porte sur des solutions proposées aux divers problèmes qui ont été rencontrés. Le brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 4 215 426 décrit un agencement dans lequel de l'énergie (plutôt qu'une communication) est transmise au fond de trou  
35 par modulation de fluide apparentée à la communication MWD,

énergie dont une partie est évacuée en divers emplacements en fond de trou pour alimenter des répéteurs d'un système de transmission pour une communication par fils.

Le développement d'une communication utilisant  
5 des ondes acoustiques se propageant à travers des fluides non en écoulement dans un trou de sonde a été ralenti par l'absence d'un transducteur convenable. Pour être mis en pratique dans une application à un trou de sonde, un tel transducteur doit s'ajuster dans une enceinte sous pression  
10 d'un diamètre extérieur ne dépassant pas 3,18 cm, fonctionner à des températures pouvant s'élever à 150°C sous pression pouvant s'élever à 100 000 kPa, et survivre dans l'environnement de travail, aux opérations de manutention et de descente dans un puits. Il faut également prendre en considération  
15 pour un tel transducteur les différences notables entre une communication dans un environnement formé d'un fluide libre, par exemple dans l'océan, et un agencement à fluide confiné, par exemple dans un trou de sonde.

L'invention concerne un transducteur pratique  
20 pour communication acoustique dans un trou de sonde. Ce transducteur est capable de générer des ondes acoustiques ou de réagir à de telles ondes dans un liquide visqueux confiné dans un trou de sonde. On prend en considération, dans sa conception, la nature du guide d'ondes formé par un trou de  
25 sonde. A cet égard, il est apparu que pour être mis en pratique, un transducteur acoustique pour trou de sonde doit générer des ondes acoustiques, ou réagir à des ondes acoustiques, ayant des fréquences inférieures à 1 kHz, avec des bandes passantes de quelques dizaines de hertz, de façon  
30 efficace dans divers liquides. Il doit pouvoir se comporter ainsi tout en présentant un déplacement important et en ayant une impédance mécanique inférieure à celle des dispositifs classiques utilisés en océan ouvert. Le transducteur de  
35 l'invention satisfait ces critères, ainsi que les critères de dimension et de fonctionnement mentionnés précédemment.

Le transducteur de l'invention possède de nombreuses particularités qui contribuent à ses possibilités. Il est similaire à un haut-parleur à bobine mobile dans lequel un mouvement d'un bobinage électrique par rapport à un flux magnétique dans l'entrefer d'un circuit magnétique est utilisé pour effectuer une conversion entre de l'énergie électrique et un mouvement mécanique. Il utilise la même interaction pour l'émission et la réception. Une particularité dominante du transducteur de l'invention est que plusieurs entrefers sont utilisés avec un nombre correspondant (et des positions correspondantes) de bobinages électriques. Ceci facilite le développement, avec un tel agencement de faible diamètre, des forces et des déplacements qui s'avèrent être nécessaires pour la transduction des ondes à basse fréquence demandées pour une transmission appropriée à travers un fluide visqueux non en écoulement, confiné dans un trou de sonde. De plus, on peut inclure un résonateur en tant que partie du transducteur, si cela est souhaité, pour établir une charge élastique en retour.

Une autre particularité importante est que l'invention englobe plusieurs agencements destinés à assurer une bonne transmission des ondes acoustiques dans le trou de sonde. Pour l'un d'eux, une section de transition est incluse dans le canal de communication du trou de sonde pour établir une adaptation d'impédance acoustique entre des sections ayant des aires notablement différentes, en coupe transversale, par exemple entre la section du trou de sonde comportant le transducteur et toute section adjacente du trou de sonde. A cet égard, lorsque l'on se réfère, dans ce mémoire, à l'aire de la "coupe transversale", on considère l'aire de la coupe transversale du canal de transmission (communication). Dans un autre agencement, un dispositif à coupleur directionnel est décrit, lequel est au moins partiellement destiné à empêcher une transmission dans le sens opposé au sens de la communication souhaitée dans le trou de sonde. En

particulier, une section de réflexion est définie dans le canal de communication du trou de sonde, laquelle section est espacée généralement d'un nombre impair de quarts d'ondes du transducteur et est placée dans un sens opposé à celui  
5 souhaité pour la communication, afin de renvoyer par réflexion, dans le sens approprié de communication, toutes ondes acoustiques reçues par cette section, qui se propagent dans le mauvais sens. Il est très souhaitable, comme décrit en détail ci-après, de mettre en place un nombre multiple de  
10 sections de réflexion satisfaisant ces critères. Un coupleur directionnel spécial, basé sur une charge de réaction du piston du transducteur, peut également être prévu à cet effet. Il est très souhaitable que le transducteur de communication acoustique en trou de sonde selon l'invention  
15 présente une chambre définissant une charge élastique de réaction pour le piston, à travers laquelle s'étend une fenêtre qui est espacée de l'emplacement, dans le canal de communication, auquel la partie restante du transducteur interagit avec du liquide se trouvant dans le trou de sonde,  
20 généralement d'un nombre impair de quarts d'ondes de la fréquence nominale de la longueur d'onde central d'ondes de communication potentielle aux emplacements de ladite fenêtre et au point d'interaction.

L'invention sera décrite plus en détail en regard  
25 des dessins annexés à titre d'exemples nullement limitatifs et sur lesquels :

la figure 1 est une vue schématique globale en coupe illustrant un emplacement possible dans un trou de sonde pour une forme de réalisation de l'invention ;

30 la figure 2 est une vue schématique à échelle agrandie d'une partie de l'agencement montré sur la figure 1 ;

la figure 3 est une vue globale en coupe d'un mode de réalisation du transducteur selon l'invention ;

35 la figure 4 est une vue en coupe à échelle

agrandie d'une partie de la forme de réalisation montrée sur la figure 3 ;

la figure 5 est une vue en coupe transversale suivant la ligne 5-5 de la figure 4 ;

5 la figure 6 est une vue en coupe quelque peu schématique et partielle montrant le circuit magnétique établi par la forme de réalisation illustrée sur les figures 3 à 5 ;

10 la figure 7A est une vue schématique correspondant à la forme de réalisation de l'invention représentée sur les figures 3 à 6 ;

la figure 7B est une vue schématique d'une variante de cette forme de réalisation ;

15 les figures 8 à 11 sont des vues en coupe illustrant diverses variantes de réalisation ;

la figure 12 est une vue schématique en coupe d'une combinaison préférée de ces éléments ;

la figure 13 est une vue globale en coupe d'une autre forme de réalisation de l'invention ;

20 la figure 14 est une vue en coupe à échelle agrandie d'une partie de la forme de réalisation représentée sur la figure 13 ; et

25 les figures 15A à 15C sont des vues schématiques en coupe de diverses formes de réalisation d'une partie à coupleur directionnel de l'invention.

30 En référence à la figure 1, un trou de sonde, désigné globalement par la référence numérique 11, est illustré, s'étendant dans la terre 12. Le trou de sonde 11 est représenté sous la forme d'un trou de complétion pour la production de pétrole, à titre illustratif. A cet égard, il comprend un tubage indiqué schématiquement en 13 et une colonne 14 de production dans laquelle s'écoule le pétrole ou autre produit pétrolier souhaité. L'espace annulaire compris entre le tubage et la colonne de production est rempli d'un  
35 liquide de complétion représenté par des points 16. Cet

espace constitue le canal de communication de l'invention. La viscosité du liquide de complétion peut être toute viscosité comprise dans une large gamme de viscosités possibles. Sa masse volumique peut également être d'une valeur quelconque  
5 comprise dans une large gamme, et il peut comprendre des constituants liquides corrosifs comme un sel à haute densité tel qu'un composé de sodium, de potassium et/ou de brome.

Conformément à la pratique classique, un obturateur annulaire ou packer, représenté en 17, est prévu pour  
10 séparer de façon étanche le trou de sonde et le fluide de complétion du produit pétrolier souhaité. La colonne 14 de production s'étend à travers le packer, comme illustré, et peut comprendre une soupape de sûreté, des instruments de collecte de données, etc., situés du côté pétrole du packer  
15 ou obturateur annulaire 17.

Un support 19 pour le transducteur de l'invention est prévu sur l'extrémité inférieure de la colonne 14. Comme illustré, une section 21 de transition et l'une ou plusieurs sections 22 de réflexion, lesquelles sections sont décrites  
20 plus en détail ci-dessous, séparent le support de la partie restante de la colonne de production. Ce support présente une ouverture allongée 23 à l'intérieur de laquelle le transducteur de communication selon l'invention est maintenu d'une manière classique, par exemple par des colliers ou analogues.  
25 Un instrument de collecte de données, un bloc à batterie, etc. peuvent également être logés à l'intérieur de l'ouverture allongée 23.

C'est le liquide 16 de complétion qui agit en tant que milieu de transmission pour des ondes acoustiques  
30 produites par le transducteur. Une communication entre le transducteur et l'espace annulaire qui confine ce liquide est représentée par un orifice 24 sur les figures 1 et 2. Des données peuvent être transmises à travers l'orifice 24 au liquide de complétion et donc par celui-ci conformément à  
35 l'invention. Par exemple, on peut utiliser une bande prédé-

terminée de fréquences pour une signalisation par des techniques de codage et de modulation, des données binaires peuvent être codées dans des blocs, un certain contrôle d'erreur peut être ajouté et les blocs transmis en série par une modulation  
5 par déplacement de fréquence (FSK) ou une modulation par déplacement de fréquence (FSK) ou une modulation par déplacement de phase (PSK). Le récepteur, ensuite, démodule et contrôle chaque bloc pour la détection d'erreurs.

L'espace annulaire formant le canal de communication au niveau du support 19 est d'une aire en coupe  
10 transversale notablement inférieure à celle de la plus grande partie du puits contenant, sur sa plus grande longueur, uniquement la colonne 14 de production. Il en résulte une désadaptation correspondante des admittances acoustiques  
15 caractéristiques. Le but de la section 21 de transition est de minimiser les réflexions provoquées par la désadaptation entre la section ayant le transducteur et la section adjacente. Sa longueur nominale est d'un quart d'onde à la fréquence centrale souhaitée et la vitesse du son dans le  
20 fluide, et elle est choisie de façon à avoir un diamètre tel que l'aire de l'espace annulaire entre elle et le tubage 13 soit égale à la moyenne géométrique du produit des aires annulaires adjacentes, c'est-à-dire les aires annulaires du canal de communication défini par la colonne 14 de production  
25 et le support 19. D'autres sections de transition peuvent être prévues comme nécessaires dans le trou de sonde pour atténuer les désadaptations des admittances acoustiques le long du trajet de communication.

Des réflexions à partir de l'obturateur annulaire  
30 ou packer (ou du fond du puits dans d'autres formes de réalisation) sont minimisées par la présence d'un nombre multiple de sections ou gradins de réflexion dans le canal de communication au-dessous du support, dont le premier est indiqué par la référence numérique 22. Il établit une  
35 transition avec l'aire annulaire maximale possible un quart

d'onde au-dessous de l'orifice de communication du transduc-  
teur. Il est suivi par une section tubulaire 25 longue d'un  
quart d'onde établissant une aire annulaire pour le liquide  
avec l'aire minimale en coupe transversale à laquelle il  
5 ferait autrement face. Chacune des sections ou chacun des  
gradins de réflexion peut avoir une longueur égale à un  
multiple de quarts d'onde. Les sections 19 et 21 doivent être  
d'un nombre impair de quarts d'onde, alors que la section 25  
doit être d'un nombre impair ou pair (y compris zéro) de  
10 quarts d'onde, suivant que le dernier étage avant l'obtura-  
teur annulaire 17 présente ou non une coupe transversale  
grande ou petite. Il doit être d'un nombre pair (ou égal à  
zéro) sur le dernier gradin avant que l'obturateur annulaire  
passe d'une coupe transversale importante à une coupe  
15 transversale petite.

Bien que le premier gradin ou la première section  
de réflexion, comme décrit ici, soit le plus efficace, chaque  
gradin ou chaque section supplémentaire pouvant être ajouté  
améliore le degré et la bande passante d'isolement. (La  
20 section 21 de transition, la section 22 de réflexion et la  
section tubulaire peuvent toutes être considérées comme  
faisant partie de la combinaison constituant le transducteur  
préféré de l'invention.)

Un transducteur de communication destiné à  
25 recevoir les données est également prévu à l'emplacement dans  
lequel on souhaite avoir de telles données. Dans la plupart  
des agencements, il s'agit de la surface du puits, et les  
circuits électroniques pour la commande du récepteur et  
l'analyse des données communiquées se trouvent aussi à la  
30 surface ou, dans certains cas, en un autre emplacement. Le  
transducteur récepteur est le plus avantageusement une  
reproduction, en principe, du transducteur décrit. Il est  
représenté sur la figure 1 par une case 25 à la surface du  
puits. Les circuits électroniques de communication et  
35 d'analyse sont représentés par une case 26.

L'homme de l'art reconnaîtra que l'agencement de transducteur acoustique de l'invention n'est pas nécessairement limité à une communication depuis le fond du puits jusqu'à la surface ; par exemple, on peut placer les transducteurs pour une communication entre deux emplacements différents en fond de trou. Il est également important de noter que le principe sur lequel est basé le transducteur de l'invention se prête de lui-même à une conception bidirectionnelle, c'est-à-dire qu'un transducteur unique peut être conçu à la fois pour convertir un signal électrique de communication en ondes acoustiques de communication, et vice versa.

Une forme de réalisation du transducteur de l'invention est désignée globalement par la référence numérique 26 sur les figures 3 à 6. Ce mode particulier de réalisation se termine, à une extrémité, dans un obturateur 27 de couplage ou d'extrémité qui est vissé dans un corps 28 de vessie. Une vessie 29, destinée à être gonflée par pression, est prévue dans un tel corps. Le corps 28 présente des orifices 31 permettant un écoulement libre vers l'intérieur de celui-ci du liquide de complétion du trou de sonde pour qu'il interagisse avec la vessie. Cette vessie communique par un tube avec un alésage 32 s'étendant à travers un coupleur 33. L'alésage 32 se termine dans un autre tube 34 qui s'étend jusque dans un résonateur 36. La longueur du résonateur est nominale d'un quart de la longueur d'onde ( $\lambda/4$ ) dans le liquide à l'intérieur du résonateur 36. Le résonateur est rempli d'un liquide qui satisfait les critères constitués par de faibles densité, viscosité, vitesse du son, teneur en eau, pression de vapeur et coefficient de dilatation thermique. Etant donné que certaines de ces exigences sont contradictoires entre elles, un compromis doit être établi, sur la base des conditions d'application et des contraintes de conception. Les meilleurs choix ont donc été jusqu'à présent trouvés parmi les huiles aux silicones des séries 200 et 500

de la firme Dow Corning, des huiles de réfrigération telles que l'huile "Capella B", et des hydrocarbures légers tels que le kérosène. Le but de l'ensemble à vessies est de permettre la dilatation d'un tel liquide, comme cela est nécessaire du fait de la pression, de la température élevée, etc., du liquide se trouvant à l'emplacement en fond de trou du transducteur.

Le transducteur de l'invention génère (ou détecte) de l'énergie sous forme d'ondes acoustiques dans le canal de communication au moyen de l'interaction du piston se trouvant dans le boîtier du transducteur avec le liquide du trou de sonde. Dans cette forme de réalisation, ceci est effectué par un mouvement d'un piston 37 dans une chambre 38 remplie du même liquide que celui remplissant le résonateur 36. Ainsi, l'interaction du piston 37 avec le liquide du trou de sonde est indirecte, c'est-à-dire que le piston n'est pas en contact direct avec ce liquide. Les ondes acoustiques sont générées dans le canal de communication par une expansion et une contraction d'un piston 37 du type à soufflet dans la chambre 38 du corps. A cet égard, une extrémité du soufflet de l'agencement à piston est fixée de façon permanente autour d'une petite ouverture 39 d'une structure 41 de cornet afin qu'un mouvement alternatif de l'autre extrémité du soufflet provoque l'expansion et la contraction souhaitées de ce dernier. Ces expansion et contraction provoquent des flexions correspondantes de diaphragmes isolants 42 dans les fenêtres 43 pour communiquer des ondes d'énergie acoustique au liquide du trou de sonde se trouvant sur l'autre côté de ces diaphragmes. Le résonateur 36 produit une charge élastique de réaction à ce mouvement du piston. Il convient de noter que le même liquide qui remplit la chambre du résonateur 36 et la chambre 38 remplit les diverses cavités, etc., de l'élément d'entraînement du piston, à décrire ci-après, et que la variation de forme volumétrique de la chambre 38 provoquée par le mouvement alternatif du piston a lieu avant qu'une

égalisation de pression puisse se produire.

Une façon de considérer le résonateur est de considérer que sa chambre 36 agit, en fait, à la manière d'un tuyau d'accord pour envoyer en phase au piston 37 l'énergie acoustique qui n'est pas transmise par le piston au liquide se trouvant dans la chambre 38 lorsque ce piston se déplace initialement. A cet effet, le piston 37, formé d'un soufflet 46 (figure 4), est ouvert à l'extrémité entourant l'orifice 39 du cornet. L'autre extrémité du soufflet est fermée et comporte une barre d'entraînement 47 qui lui est fixée. La structure en cornet 41 fait communiquer le résonateur 36 avec le piston, et ce résonateur aide à assurer que toute l'énergie acoustique générée par le piston n'aboutit pas directement à un mouvement des diaphragmes isolants 42, lequel mouvement renforce le mouvement oscillant du piston. Il intercepte essentiellement l'énergie des ondes acoustiques développée par le piston, qui n'aboutit pas directement à un rayonnement d'ondes acoustiques et il l'utilise pour renforcer ce rayonnement. Il agit aussi de façon à constituer une charge élastique réactive pour le piston 37 comme indiqué précédemment. Il convient de noter que la paroi intérieure du résonateur pourrait être effilée ou autrement profilée de façon à modifier la réponse en fréquence.

L'élément d'entraînement pour le piston sera à présent décrit. Il comprend la barre d'entraînement 47 fixée à l'extrémité fermée du soufflet. Cette barre est également reliée à un chapeau 48 pour une bobine tubulaire 49 qui porte deux enroulements ou bobinages annulaires 51 et 52 dans des entrefers radiaux, séparés et correspondants 53 et 54 (figure 6) d'un circuit magnétique à boucle fermée, décrit ci-après. Cette bobine se termine à son autre extrémité dans un second chapeau extrême 55 qui est supporté en position par un ressort plat 56. Le ressort 56 centre l'extrémité de la bobine à laquelle il est fixé et contraint cette dernière à un mouvement limité dans la direction de l'axe longitudinal

du transducteur, représenté par la ligne 57 sur la figure 4. Un ressort plat similaire 58 est prévu pour le chapeau extrême 48.

Conformément à l'invention, un circuit magnétique  
5 ayant plusieurs entrefers est défini à l'intérieur du boîtier. A cet effet, un aimant permanent cylindrique 60 est prévu en tant que partie de l'élément d'entraînement, centré sur l'axe 57. Cet aimant permanent génère le flux magnétique nécessaire au circuit magnétique et aboutit, à chacune de ses  
10 extrémités, dans une pièce polaire 61 et 62, respectivement, pour concentrer le flux magnétique afin qu'il s'écoule à travers les deux entrefers 53 et 54, espacés longitudinalement, dans le circuit magnétique. Le circuit magnétique est complété par un élément annulaire, magnéti-  
15 quement passif, en matière magnétiquement perméable 64. Comme illustré, cet élément comporte deux rebords annulaires 66 et 67 dirigés vers l'intérieur, qui aboutissent à proximité immédiate des bobinages 51 et 52 et qui définissent un côté des entrefers 53 et 54.

20 Le circuit magnétique formé par cette forme de réalisation est représenté sur la figure 6 par des lignes de flux magnétique 58 en boucle fermée. Comme illustré, ces lignes partent de l'aimant 60, passent dans la pièce polaire 61, à travers l'entrefer 53 et la bobine 51, parcourent le  
25 trajet de retour établi par l'élément 64, traversent l'entrefer 54 et la bobine 52 et arrivent à travers la pièce polaire 62 à l'aimant 60. Avec cet agencement, on voit que le flux magnétique passe radialement vers l'extérieur à travers l'entrefer 53 et radialement vers l'intérieur à travers  
30 l'entrefer 54. Les enroulements 51 et 52 sont connectés en opposition et en série, afin que les courants y passant appliquent des forces s'additionnant sur la bobine commune. Ainsi, si le transducteur est utilisé pour émettre une communication, un signal électrique définissant celle-ci et  
35 parcourant les enroulements 51 et 52 provoque un mouvement

correspondant de la bobine 49 et donc du piston 37. Ce piston interagit à travers les fenêtres 43 avec le liquide du trou de sonde et y communique l'énergie acoustique de communication. L'énergie électrique représentée par le signal électrique est donc converti par le transducteur en énergie mécanique, c'est-à-dire les ondes acoustiques.

Lorsque le transducteur reçoit une communication, l'énergie acoustique définissant celle-ci fait fléchir les diaphragmes 42 et déplace de façon correspondante le piston 37. Un mouvement de la bobine et des enroulements dans les intervalles 62 et 63 génère un signal électrique correspondant dans les bobinages 51 et 52 du fait des lignes de flux magnétique qu'ils coupent. En d'autres termes, l'énergie acoustique est convertie en énergie électrique.

Dans la forme de réalisation décrite, il convient de noter que l'aimant permanent 60 et ses pièces polaires associées 61 et 62 sont globalement de forme cylindrique, l'axe 57 constituant un axe de révolution. La bobine est un cylindre de même axe, les bobinages 51 et 52 étant de forme annulaire. L'élément 64 de trajet de retour est également annulaire et entoure l'aimant, etc. L'aimant est maintenu centralement par des tiges 71 de support faisant saillie vers l'intérieur de l'élément de trajet de retour, à travers des encoches de la bobine 49. Les ressorts plats 56 et 58 centrent de façon correspondante la bobine tout en permettant un mouvement longitudinal limité de celle-ci comme indiqué précédemment. Des conducteurs électriques convenables 72 pour les enroulements et d'autres pièces électriques pénètrent dans le boîtier au moyen de traversées enrobées 73.

La figure 7A illustre la forme de réalisation, décrite ci-dessus, sous forme schématique. Le résonateur est représenté en 36, la structure de cornet en 41 et le piston en 37. La barre d'entraînement pour le piston est représentée en 47, alors que le mécanisme d'entraînement lui-même est représenté par une case 74. La figure 7B montre une variante

d'agencement dans laquelle l'élément d'entraînement est placé à l'intérieur du résonateur 76 et le piston 37 communique directement avec le liquide du trou d'onde qui peut s'écouler vers l'intérieur à travers les fenêtres 43. A cet égard, ces

5 fenêtrés sont ouvertes, c'est-à-dire qu'elles ne comportent pas de diaphragme ou une autre structure empêchant le liquide du trou de sonde d'entrer dans la chambre 38. On voit que dans cette agencement, le piston 37 et la structure 41 de cornet établissent un isolement hermétique aux fluides entre

10 cette chambre et le résonateur 36. Il convient cependant de noter que l'on pourrait également concevoir que le résonateur 36 soit submergé par le liquide du trou de sonde. A cet égard, il est souhaitable que s'il est conçu pour être submergé, ce résonateur comporte un filtre à petites ouver-

15 tures ou analogues afin de tenir à l'écart les particules en suspension. Dans tous les cas, l'élément d'entraînement proprement dit doit avoir son propre système de fluide inerte en raison des tolérances étroites et des champs magnétiques puissants. L'utilisation nécessaire de certaines matières

20 dans cet élément le rend sensible à une détérioration par la corrosion et une contamination par des particules, en particulier des particules magnétiques.

Les figures 8 à 12 sont des illustrations schématique représentant diverses approches et modifications

25 conceptuelles de l'invention. La figure 8 illustre la conception modulaire de l'invention. A cet égard, il convient de noter que l'invention est destinée à être logée dans un tuyau de diamètre réduit, mais la longueur n'est pas critique. L'invention permet d'utiliser le mieux possible l'aire

30 de la coupe transversale tandis que des modules multiples peuvent être empilés pour améliorer leur efficacité et le rendement.

La bobine, représentée en 81 sur la figure 8, porte trois enroulements annulaires séparés représentés en

35 82, 83 et 84. Deux circuits magnétiques sont prévus, avec les

aimants permanents représentés en 86 et 87 ayant des polarités magnétiques et des pôles opposés. Les trajets de retour pour les deux circuits sont établis par un élément annulaire passif 91.

5 On voit que les deux circuits magnétiques de la configuration de la figure 8 comprennent le pôle central 89 et son entrefer associé, en commun. Il en résulte un dispositif d'entraînement à trois bobinages ayant un rendement d'émission (puissance acoustique disponible en sortie/puissance électrique en entrée) supérieur au double de  
10 celui d'un dispositif d'entraînement simple, du fait de l'absence de flux de formation de franges aux extrémités jointes. Le processus "d'empilage" de deux éléments d'entraînement à bobine comme indiqué dans cet agencement, avec des  
15 polarités d'aimant alterné, peut évidemment être prolongé sur la longueur souhaitée, la bobine commune étant supportée de façon appropriée. Dans cet agencement schématique, la bobine est connectée à un piston 85 qui comprend une partie bombée centrale et un soufflet ou analogue reliant de façon étanche  
20 le piston à une enveloppe extérieure représentée en 92. Ce support flexible d'étanchéité est préféré à des joints d'étanchéité coulissants et à des paliers car ces derniers présentent une striction qui introduit une distorsion, en particulier à de faibles déplacements rencontrés lorsque le  
25 transducteur est utilisé pour la réception. En variante, un piston rigide peut être relié de façon étanche au boîtier à l'aide d'un soufflet et un ressort ou un croisillon séparé peut être utilisé pour le centrage. Un croisillon représenté  
30 en 94 peut être utilisé à l'extrémité opposée de la bobine pour la centrer. Si un tel croisillon est en métal, il peut être isolé du boîtier et peut être utilisé pour les connexions électriques avec les bobinages mobiles, éliminant les conducteurs flexibles autrement nécessaires.

Dans la variante illustrée schématiquement sur la  
35 figure 9, l'aimant 86 est réalisé de façon à être annulaire

et il entoure en son centre un élément 91 de trajet de retour de flux passif. Etant donné que des matières passives sont utilisables avec des densités de flux de saturation environ doubles de la rémanence des aimants, la conception illustrée  
5 a pour avantage de permettre un faible diamètre des pôles représentés en 88 et 90 de façon à réduire la résistance des bobinages et à augmenter l'efficacité. L'élément 91 de trajet de retour de flux passif pourrait être remplacé par un autre aimant permanent. Un modèle à deux aimants pourrait évidem-  
10 ment permettre une réduction de la longueur du dispositif d'entraînement.

La figure 10 illustre schématiquement une autre structure magnétique pour le dispositif d'entraînement. Il comprend deux aimants annulaires 95 et 96 polarisés radiale-  
15 ment en opposition. Comme illustré, ces aimants définissent les bords extérieurs des entrefers. Dans cet agencement, un élément magnétique passif annulaire 97 est prévu, ainsi qu'un élément central 91 de trajet de retour. Bien que cet agencement présente l'avantage d'une longueur réduite du fait  
20 d'une diminution de la fuite du flux aux entrefers et d'une faible fuite de flux vers l'extérieur, il a pour inconvénient une fabrication plus difficile des aimants et une densité de flux inférieure dans ces entrefers.

Des interfaces coniques peuvent être prévues  
25 entre les aimants et les pièces polaires, c'est-à-dire que les jonctions d'accouplement peuvent être réalisées de façon à être obliques par rapport au grand axe du transducteur. Cette conception maximise le volume magnétique et son énergie disponible associée tout en évitant des densités de flux  
30 localisées qui pourraient dépasser la rémanence d'un aimant. Il convient de noter que l'une quelconque des jonctions entre aimants, entre pièces polaires et évidemment entre aimants et pièces polaires, peut être réalisée de façon à être conique. La figure 11 illustre un agencement ayant cette par-  
35 ticularité. Il convient de noter que dans cet agencement, les

aimants peuvent comprendre des pièces 98 aux extrémités de l'élément passif 91 de retour de fluide comme illustré.

La figure 12 illustre schématiquement une combinaison particulière des options présentées sur les figures 8 à 11, qui pourrait être considérée comme une forme préférée de réalisation pour certaines applications. Elle comprend deux pièces polaires 101 et 102 qui s'accouplent de façon conique avec des aimants radiaux 103, 104 et 105. Les deux circuits magnétiques qui sont formés comprennent des éléments passifs 106 et 107 de trajet de retour aboutissant aux entrefers dans des aimants supplémentaires 108 et 110.

Une forme de réalisation de l'invention comprenant certaines des particularités mentionnées ci-dessus est illustrée sur les figures 13 et 14. Cette forme de réalisation comprend deux circuits magnétiques, des aimants annulaires définissant l'extérieur du circuit magnétique et une pièce polaire centrale. De plus, le piston est en contact direct avec le liquide du trou de sonde dans le canal de communication et la chambre résonnante est remplie de ce liquide.

La forme de réalisation montrée sur les figures 13 et 14 est similaire en de nombreux points à la forme de réalisation illustrée et décrite en regard des figures 3 à 6. Les pièces communes sont désignées par les mêmes références numériques que celles utilisées précédemment, suivies du signe prime. Cette forme de réalisation comprend un grand nombre des particularités de la forme de réalisation précédente, lesquelles particularités doivent être considérées comme y étant incorporées, sauf indication contraire.

La forme de réalisation des figures 13 et 14 est généralement désignée par la référence numérique 120. La chambre 36' du résonateur est située vers le fond par rapport au piston 37' et son dispositif d'entraînement dans cet agencement, et elle peut être remplie du liquide du trou de sonde plutôt que d'être remplie avec un liquide spécial comme

décrit pour la forme de réalisation précédente. A cet égard, la vessie et le corps qui lui est associé sont éliminés et l'obturateur extrême 27' est vissé directement dans la chambre 36 du résonateur. Cet obturateur extrême présente  
5 plusieurs lumières allongées 122 qui font communiquer le trou de sonde avec un tube 34' pénétrant dans le résonateur 36. De même que dans la forme de réalisation décrite précédemment, le tube 34' est d'une longueur égale nominalement à un quart de la longueur d'onde de communication dans le fluide du  
10 résonateur, c'est-à-dire le fluide du trou de sonde de cette forme de réalisation. Le diamètre des lumières 122 est choisi par rapport au diamètre intérieur du tube 34' de façon à assurer qu'aucune particule de matière provenant du liquide du trou de sonde, de dimension suffisamment grande pour  
15 boucher ce tube, n'entre dans celui-ci.

Il convient de noter que, bien qu'avec cet agencement de la chambre 36', qui présente une charge élastique de réaction pour le mouvement du piston 37', soit en communication directe avec le liquide du trou de sonde  
20 dans le canal de communication par l'intermédiaire du tube 34', l'énergie des ondes acoustiques dans celui-ci n'est pas transmise à l'extérieur de la chambre du fait de l'affaiblissement produit par ce tube.

Le piston 37' est un soufflet comme décrit pour  
25 la forme de réalisation précédente et il agit de façon à isoler le dispositif d'entraînement du piston, décrit ci-dessous, d'une chambre 38' qui peut être remplie avec le liquide du trou de sonde. Cette chambre 38' est illustrée comme ayant deux parties, à savoir les parties 123 et 124,  
30 qui communiquent directement entre elles. Comme illustré, des fenêtres 43' s'étendent jusqu'à l'espace annulaire entourant le transducteur, sans l'intermédiaire de diaphragmes isolants comme dans la forme de réalisation précédente. Par conséquent, dans cette forme de réalisation, le piston 37' est en  
35 contact direct avec le liquide du trou de sonde qui remplit

la chambre 38'.

Le piston 37' est relié par un écrou 127 et une barre d'entraînement 128 au mécanisme d'entraînement. A cet effet, la barre d'entraînement 128 est reliée à un chapeau  
5 extrême 48' d'une bobine tubulaire 49'. La bobine 49' porte trois enroulements ou bobinages annulaires dans un nombre correspondant d'entrefers radiaux de deux circuits magnétiques à boucle fermé, comme décrit ci-après. Deux de ces enroulements sont représentés en 128 et 129. Le troisième  
10 enroulement se trouve sur le côté axial de l'enroulement 129 opposé à celui de l'enroulement 128, conformément à l'agencement montré sur la figure 8. De plus, l'enroulement 129 est d'une longueur axiale double de celle de l'enroulement 128. La bobine 49' est contrainte en position similairement à la  
15 bobine 49' par des ressorts 56' et 58'.

Le dispositif d'entraînement de cette forme de réalisation est, de par sa conception, une forme hybride des approches illustrées sur les figures 8 et 9. Autrement dit, il comprend deux circuits magnétiques adjacents se partageant  
20 un trajet commun. De plus, les aimants permanents sont annulaires, entourant un noyau plein qui constitue un élément passif. Plus en détail, trois aimants illustrés en 131, 132 et 133 sur la figure 14 développent un flux qui s'écoule à travers les entrefers à l'intérieur desquels les bobinages  
25 décrits précédemment se déplacent vers un élément passif de noyau, cylindrique et plein 132. Les circuits magnétiques sont complétés par un boîtier annulaire 134 qui entoure les aimants. Ce boîtier 134 est hermétique aux fluides et agit de façon à isoler le dispositif d'entraînement, tel que décrit,  
30 du liquide du trou de sonde. A cet égard, il comprend, à son extrémité espacée du piston 37', un soufflet d'isolement 136 qui transmet au résonateur 36' des variations de pression engendrées dans le boîtier 132 du dispositif d'entraînement. Le soufflet 136 flotte librement dans le sens où il n'est pas  
35 relié fixement à la bobine tubulaire 49' et il fléchit

simplement de façon à suivre les variations de pression du fluide spécial se trouvant dans le boîtier du dispositif d'entraînement. Il se loge dans une cavité ou un alésage central 37 à l'intérieur d'un obturateur 38 qui s'étend entre  
5 le boîtier du dispositif d'entraînement et la paroi de la chambre résonnante 36'. Un trou allongé ou une ouverture allongée 139 relie l'intérieur du soufflet 136 à la chambre du résonateur.

Un dispositif de couplage directionnel passif est  
10 illustré de façon conceptuelle par les figures 15A à 15C. Le piston du transducteur est représenté en 220. Sa conception est basée sur le fait que l'admittance acoustique caractéristique dans un guide d'ondes cylindrique est proportionnelle à l'aire de sa section transversale. Les fenêtres pour  
15 la transmission de l'énergie acoustique de communication au fluide du trou de sonde dans le canal de communication sont représentées en 221. Un second orifice ou une seconde série annulaire d'orifices 222 est situé soit à trois quarts d'onde (figure 15A) soit à un quart d'onde (figures 15B et 15C) des  
20 fenêtres 221. Le coupleur est divisé en sections 223 à 226 de trois quarts d'onde. L'aire en coupe transversale de ces sections est choisie de manière à minimiser tout défaut d'adaptation qui pourrait nuire au couplage directionnel. La section centrale 224 présente une aire en coupe transversale  
25  $A_3$  qui est nominalement égale au carré de l'aire de la coupe transversale des sections 223 et 226  $A_2$  divisé par la section transversale annulaire du trou de sonde à l'emplacement des orifices 221 et 222. L'aire réduite en coupe transversale de la section 224 est obtenue par l'incorporation d'un étranglement  
30 annulaire 227 dans cette dernière.

Le coupleur directionnel est en contact direct avec la face arrière du piston 220, ce qui a pour résultat que l'énergie des ondes acoustiques pénètre dans le coupleur en opposition de phase avec celle de la communication  
35 souhaitée. La relation des aires en coupe transversale,

décrite précédemment, assure que l'énergie acoustique qui sort de l'orifice 222 annule toute transmission à partir de l'orifice 221, laquelle transmission pourrait autrement se diriger vers l'orifice 222.

5                   La forme de réalisation du coupleur directionnel représenté sur la figure 15A est à longueur complète, nécessitant un long tube de trois quarts d'onde, c'est-à-dire que la chambre est divisée en trois sections d'un quart d'onde de longueur. Les versions représentées sur les figures  
10 15B et 15C sont des versions repliées, réduisant ainsi la longueur demandée. Autrement dit, la version de la figure 15B est repliée une fois, les aires en coupe des sections satisfaisant les critères décrits précédemment. Deux des sections de chambre sont coaxiales entre elles. La version  
15 représentée sur la figure 15C est repliée deux fois. Autrement dit, les trois sections sont toutes coaxiales. Les deux versions des figures 15B et 15C sont à un quart d'onde de l'orifice 222 et sont donc sur le côté "trou supérieur" de l'orifice 221 comme illustré. Il convient de noter, cepen-  
20 dant, que la bande passante du couplage directionnel effectif est réduite par le pliage.

On reconnaîtra que dans l'une quelconque des configurations des figures 15A à 15C, l'orifice 222 peut contenir un diaphragme ou un soufflet, qu'une chambre à  
25 expansion peut être ajoutée et qu'un fluide de remplissage autre que le fluide du puits pourrait être utilisé. Un profilage supplémentaire de la zone pourrait également être réalisé pour modifier la bande passante et le rendement du couplage. Une mise en forme des orifices et un alignement  
30 d'orifices multiples pourraient également être réalisés pour le même but.

On pourrait également obtenir un couplage directionnel en utilisant deux transducteurs ou plus selon l'invention, tels que décrits, avec des orifices séparés  
35 axialement pour synthétiser un réseau en phase. Le couplage

directionnel serait réalisé par l'attaque de chaque transduc-  
teur avec un signal soumis à une pré-distorsion appropriée,  
en phase et en amplitude. Un tel couplage directionnel actif  
pourrait être réalisé sur une bande passante plus large et  
5 celle obtenue avec un système passif. Les fonctions de pré-  
distorsion doivent évidemment tenir compte de toutes les  
résonances couplées dans chaque situation particulière.

Il va de soi que de nombreuses modifications  
peuvent être apportées au transducteur décrit et représenté  
10 sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Transducteur de communication acoustique dans un trou de sonde, à utiliser dans un trou de sonde (11) renfermant une colonne de fluide qui est composée d'un  
5 liquide (16) de transmission qui s'étend d'une zone du trou de sonde adjacente au transducteur de communication <sup>ac</sup>oustique jusqu'à un noeud de communication situé à distance, le transducteur étant caractérisé en ce qu'il comporte un boîtier destiné à renfermer ledit transducteur (26) ; un  
10 élément actionneur unique (37, 51, 52) porté par le boîtier et en contact de transfert de force avec le liquide de transmission, cet élément actionneur unique pouvant être mis en oeuvre sélectivement dans un mode de fonctionnement en transmission et un mode de fonctionnement en réception, ledit  
15 élément actionneur unique, durant le mode de fonctionnement en transmission, étant sensible à une configuration de signal électrique qui est représentative d'un signal codé et générant une configuration d'impulsions acoustiques dans ledit liquide de transmission, qui correspond à ce signal  
20 codé, et dirigeant ladite configuration d'impulsions acoustiques vers ledit noeud de communication situé à distance, et ledit élément actionneur unique, durant ledit mode de fonctionnement en réception, étant sensible à une configuration d'impulsions acoustiques dans le liquide de  
25 transmission, qui est représentative d'un signal codé et qui est développée audit noeud de communication situé à distance, et générant une configuration du signal électrique qui lui correspond et qui est représentative dudit signal codé.

2. Transducteur selon la revendication 1,  
30 caractérisé en ce que l'élément actionneur unique comprend une partie immobile formée au moins partiellement d'une matière magnétiquement perméable ; une partie transductrice formée au moins partiellement d'une matière magnétiquement perméable et qui est mobile par rapport à ladite partie  
35 immobile ; au moins une source (51, 52) de champ magnétique

en couplage de transfert de champ avec au moins l'une  
desdites parties immobile et transductrice pour produire un  
flux magnétique choisi ; au moins un trajet de flux magnéti-  
que sensiblement en boucle fermée est défini dans l'élément  
5 actionneur, lequel trajet comprenant ladite partie immobile  
et ladite partie transductrice en tant qu'éléments du trajet  
de flux, afin de recevoir ledit flux magnétique choisi  
provenant de la ou de chaque source de champ magnétique ; au  
moins un trajet de courant électrique porté par la partie  
10 transductrice qui parcourt le ou chaque trajet de flux  
magnétique sensiblement en boucle fermée ; un courant  
électrique étant appliqué sélectivement, durant le mode de  
fonctionnement de transmission, au ou à chaque trajet de  
courant électrique, et une interaction du courant électrique  
15 et du flux magnétique donnant naissance à une force de  
déplacement qui est appliquée à la partie transductrice, ce  
qui a pour résultat de déplacer celle-ci par rapport à la  
partie immobile, amenant l'élément actionneur à générer un  
signal acoustique dans le liquide de transmission pour qu'il  
20 soit transmis audit noeud de communication situé à distance,  
et des signaux acoustiques étant développés dans le liquide  
de transmission, audit noeud de communication situé à  
distance, pendant ledit mode de fonctionnement en réception,  
lesquels signaux sont appliqués à l'élément actionneur pour  
25 produire une force de déplacement qui est appliquée à la  
partie transductrice, ce qui a pour résultat de déplacer  
cette partie transductrice par rapport à la partie immobile,  
l'interaction entre le flux magnétique choisi et le ou chaque  
trajet de courant électrique générant un courant dans le ou  
30 chaque trajet de courant électrique, qui est représentatif  
des signaux acoustiques présents dans le liquide de transmis-  
sion.

3. Transducteur selon la revendication 1,  
caractérisé en ce que l'élément actionneur unique comprend  
35 une partie immobile formée au moins partiellement d'une

matière magnétiquement perméable ; une partie de bobine (49) formée au moins partiellement d'une matière magnétiquement perméable et qui est mobile axialement par rapport à ladite partie immobile sur une plage de distances choisie ; au moins  
5 une source (51, 52) de champ magnétique en couplage de transfert de champ avec au moins l'une desdites parties immobile et de bobine pour produire un flux magnétique choisi ; au moins un trajet de flux magnétique, en boucle sensiblement fermée, est défini dans l'élément actionneur,  
10 lequel trajet comprend ladite partie immobile et ladite partie de bobine en tant qu'éléments de trajet de flux, pour recevoir le flux magnétique choisi provenant de la ou de chaque source de champ magnétique ; au moins un trajet de courant électrique, porté par ladite bobine, traverse le ou  
15 chaque trajet de flux en boucle sensiblement fermée ; et un courant électrique est appliqué sélectivement, durant ledit mode de fonctionnement en émission, au ou à chaque trajet de courant électrique, et une interaction entre le courant électrique et le flux magnétique donnant naissance à une  
20 force de déplacement qui est appliquée à la partie de bobine, ce qui a pour résultat un déplacement axial de la partie de bobine par rapport à la partie immobile, amenant l'élément actionneur à générer un signal acoustique dans le liquide de transmission pour qu'il soit transmis audit noeud de com-  
25 munication situé à distance ; et des signaux acoustiques sont développés dans le liquide de transmission audit noeud de communication situé à distance, durant ledit mode de fonctionnement en réception, lesquels signaux sont appliqués à l'élément actionneur pour produire une force de déplacement  
30 qui est appliquée à la partie de bobine, ce qui a pour résultat de déplacer axialement la partie de bobine par rapport à la partie immobile, une interaction entre le flux magnétique choisi et le ou chaque trajet de courant électrique générant un courant dans le ou chaque trajet de courant  
35 électrique, qui est représentatif des signaux acoustiques

dans le liquide de transmission.

4. Transducteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'élément actionneur unique comprend une partie immobile formée au moins partiellement d'une  
5 matière magnétiquement perméable ; une partie de transfert de force (42) formée au moins partiellement d'une matière magnétiquement perméable et qui est mobile par rapport à la partie immobile ; au moins une source (51, 52) de champ magnétique en couplage de transfert de charge avec au moins  
10 l'une desdites parties mobile et de transfert de force pour produire un flux magnétique choisi ; au moins un trajet de flux magnétique en boucle sensiblement fermée est défini dans l'élément actionneur, et comprenant ladite partie immobile et ladite partie de transfert de force en tant qu'éléments de  
15 trajet de flux, pour recevoir ledit flux magnétique choisi provenant de la ou de chaque source de champ magnétique ; au moins un trajet de courant électrique, porté par la partie de transfert de force, traverse le ou chaque trajet de flux magnétique en boucle sensiblement fermée ; le transducteur de  
20 communication acoustique pour trou de sonde pouvant être mis en oeuvre uniquement dans un mode de fonctionnement en émission, dans lequel un courant électrique est appliqué sélectivement au ou à chaque trajet de courant électrique, et dans lequel une interaction entre un courant électrique et un  
25 flux magnétique donne naissance à une force de déplacement qui est appliquée à ladite partie de transfert de force, ce qui a pour résultat de déplacer la partie de transfert de force par rapport à la partie immobile, amenant l'élément actionneur à générer dans le liquide de transmission un  
30 signal acoustique destiné à être transmis au noeud de communication situé à distance.

5. Transducteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'élément actionneur unique comprend une partie immobile formée au moins partiellement d'une  
35 matière magnétiquement perméable ; une partie (42) de

transfert de force formée au moins partiellement d'une matière magnétiquement perméable et mobile par rapport à ladite partie immobile ; au moins une source (51, 52) de champ magnétique en couplage de transfert de champ avec au moins l'une desdites parties immobile et de transfert de force pour produire un flux magnétique choisi ; au moins un trajet de flux magnétique en boucle sensiblement fermée étant défini dans l'élément actionneur et comprenant ladite partie immobile et ladite partie de transfert de force en tant qu'éléments de trajet de flux, pour accepter ledit flux magnétique choisi provenant de la ou de chaque source de champ magnétique ; au moins un trajet de courant électrique, porté par la partie de transfert de force, traversant le ou chaque trajet de champ magnétique en boucle sensiblement fermée ; ladite partie transductrice pouvant être mise en oeuvre uniquement dans un mode de fonctionnement en réception, dans lequel les signaux acoustiques développés dans le liquide de transmission, qui sont appliqués à l'élément actionneur, produisent une force de déplacement qui est appliquée à la partie de transfert de force, ce qui a pour résultat le déplacement de ladite partie de transfert de force par rapport à la partie immobile, et dans lequel une interaction entre le flux magnétique choisi et le ou chaque trajet de courant électrique génère dans ledit ou chaque trajet de courant électrique, un courant qui est représentatif des signaux acoustiques présents dans le liquide de transmission.

6. Transducteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'élément actionneur unique comprend des moyens définissant au moins un circuit magnétique ayant plusieurs entrefers (53, 54) espacés longitudinalement dans le boîtier, un nombre multiple de bobinages électriques (51, 52) correspondant chacun à l'un des entrefers pour interagir avec un flux magnétique y circulant ; un piston (37) relié au nombre multiple de bobinages pour se déplacer avec eux en

mode d'addition de forces ; et au moins un côté du piston est placé de façon à interagir avec un liquide présent dans un canal de communication du trou de sonde soit pour rayonner les ondes acoustiques dans celui-ci, soit pour en recevoir de  
5 l'énergie acoustique.

7. Transducteur selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une chambre (36) définissant une charge élastique réactive pour le piston, et des moyens de direction comprenant une fenêtre (43) située  
10 dans la chambre entre une partie de celle-ci communiquant avec le piston et une partie de celle-ci communiquant avec un liquide se trouvant dans le canal de communication du trou de sonde, la fenêtre étant espacée de l'emplacement auquel le transducteur interagit avec le liquide généralement d'un  
15 nombre impair de quarts d'ondes de la fréquence nominale de la longueur d'onde centrale d'ondes possibles de communication.

8. Transducteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'élément actionneur unique comprend  
20 plusieurs aimants permanents (131, 132, 133) définissant un nombre multiple de circuits magnétiques à trajet en boucle fermée totalement à l'intérieur du boîtier et présentant des entrefers, certains, adjacents, des circuits se partageant un trajet commun pour le flux, à l'intérieur duquel se trouve  
25 l'un des entrefers ; des enroulements électriques (51', 52') situés dans les entrefers pour interagir avec le flux magnétique les traversant ; un piston (37') relié aux enroulements afin de se déplacer avec eux en mode d'addition de forces, au moins un côté du piston étant placé de façon à  
30 interagir avec un liquide situé dans un canal de communication du trou de sonde soit pour rayonner des ondes acoustiques dans celui-ci, soit pour en recevoir de l'énergie acoustique, le boîtier comprenant une fenêtre (33) facilitant ladite interaction dudit côté du piston avec le liquide, le  
35 canal de communication se trouvant dans la section du trou de

sonde ayant ledit emplacement auquel le piston interagit avec le liquide, présentant une aire, en coupe transversale, qui est notablement différente de celle présente dans une section adjacente audit trou de sonde ; une section (21) de transition, dans le canal de communication entre les sections du trou de sonde, ayant une aire en coupe transversale et une longueur choisies pour s'adapter à l'impédance de transmission de longueurs d'ondes acoustiques dans le canal de communication auxdites sections du trou de sonde, ladite section de transition ayant une longueur d'environ un quart d'onde par rapport à la fréquence nominale de la longueur d'onde centrale d'ondes possibles de communication à ladite section et l'aire, en coupe transversale, du liquide à l'intérieur du trou de sonde dans la section de transition étant essentiellement la racine carrée du produit des aires des coupes transversales du liquide dans lesdites sections adjacentes du trou de sonde ; un nombre multiple d'accroissements en gradin des aires, en coupe transversale, du liquide dans le canal de communication du trou de sonde, espacés du transducteur globalement d'un nombre impair de quarts d'ondes par rapport nominale à la longueur d'onde centrale d'une communication possible par lesdites ondes acoustiques, les accroissements en gradin étant disposés longitudinalement dans le trou de sonde dans un sens partant dudit transducteur et opposé à celui souhaité pour ladite communication ; et un nombre multiple de diminutions en gradin de l'aire, en coupe transversale, du liquide dans le trou de sonde, étant intercalées avec lesdits accroissements en gradin et étant espacées à partir dudit transducteur, globalement d'un nombre pair de quarts d'ondes nominale par rapport à la longueur d'onde centrale d'une communication possible par lesdites ondes acoustiques.

9. Transducteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'élément actionneur unique comprend un circuit magnétique à trajet en boucle fermée à l'intérieur du

boîtier, ayant au moins deux entrefers (53, 54) espacés longitudinalement ; au moins deux bobinages électriques (51, 52) situés chacun dans un, correspondant, des entrefers pour interagir avec un flux magnétique le traversant ; un piston  
5 (37) relié aux bobinages afin de se déplacer avec eux en mode d'addition de forces, au moins un premier côté du piston étant placé de façon à interagir avec un liquide se trouvant dans un canal de communication du trou de sonde soit pour rayonner des ondes acoustiques dans celui-ci, soit pour en  
10 recevoir de l'énergie acoustique, le boîtier comprenant une fenêtre (43) facilitant ladite interaction du premier côté du piston avec le liquide, ledit canal de communication se trouvant dans la section du trou de sonde ayant ledit emplacement dans lequel le piston interagit avec lui présen-  
15 tant une aire en coupe transversale qui est notablement différente de celle dans une section adjacente du trou de sonde ; une section (21) de transition dans le canal de communication entre des sections du trou de sonde ayant une aire en coupe transversale et une longueur choisies de façon  
20 à adapter l'impédance de transmission de longueurs d'ondes acoustiques dans le canal de communication auxdites sections du trou de sonde, la section de transition ayant une longueur d'environ un quart d'onde par rapport à la fréquence nominale de la longueur d'onde centrale des ondes de communication  
25 possibles à ladite section, et l'aire de la coupe transversale du liquide à l'intérieur du trou de sonde à ladite section de transition étant essentiellement égale à la racine carrée du produit des aires des coupes transversales du liquide dans lesdites sections adjacentes du trou de sonde ;  
30 et un accroissement en gradin de l'aire en coupe transversale du liquide dans ledit canal de communication du trou de sonde, espacé dudit transducteur globalement d'un nombre impair de quarts d'ondes nominalement par rapport à la longueur d'onde centrale d'une communication possible par  
35 lesdites ondes acoustiques, l'accroissement d'aire en gradin

étant disposé longitudinalement dans le trou de sonde dans un sens partant dudit transducteur et opposé à celui souhaité pour ladite communication.

10. Transducteur selon la revendication 9,  
5 caractérisé en ce qu'il comporte en outre une chambre (36) définissant une charge élastique de réaction pour le piston, la chambre présentant une fenêtre (43) entre une partie de cette chambre communiquant avec le piston et une partie de  
10 celle-ci communiquant avec du liquide se trouvant dans le canal de communication du trou de sonde, la fenêtre étant  
espacée de l'emplacement dans lequel le transducteur inter-  
agit avec le liquide globalement d'un nombre impair de quarts  
d'ondes de la fréquence nominale de la longueur d'onde  
centrale d'ondes possibles de communication aux emplacements  
15 de la fenêtre et du point de ladite interaction.

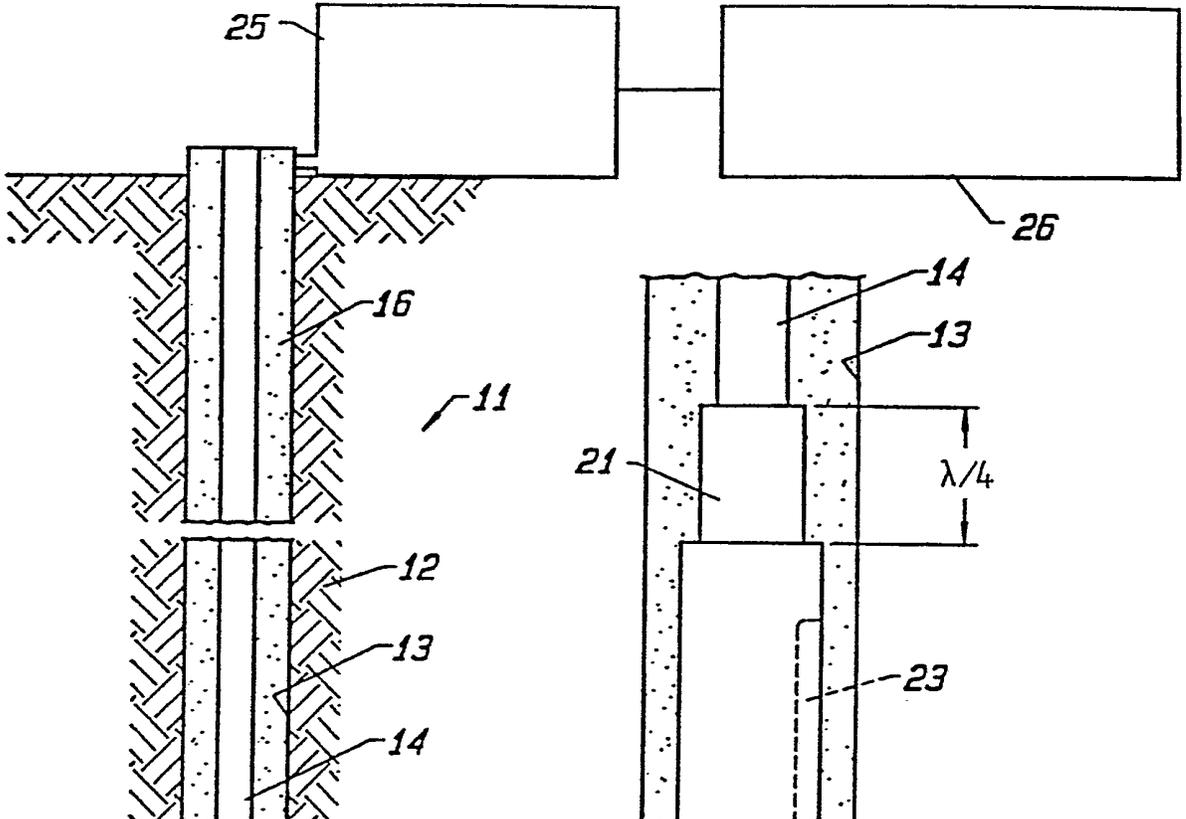


FIG. 1

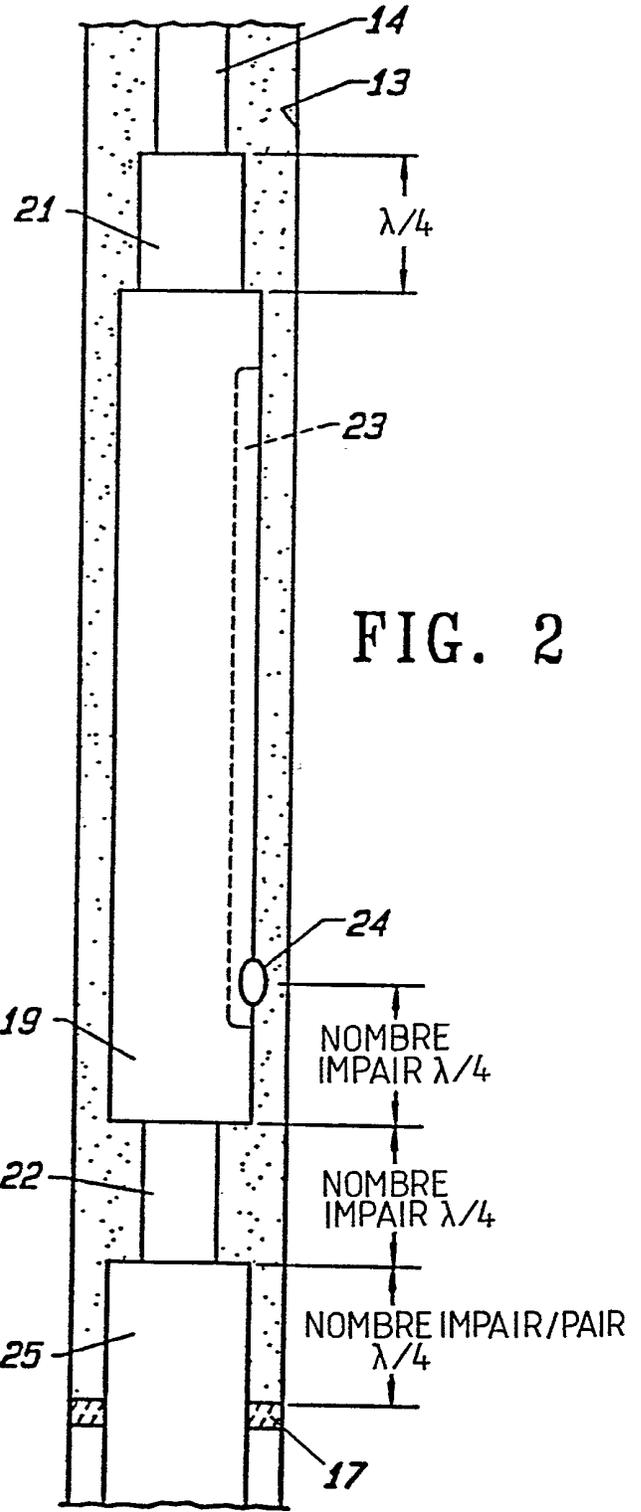
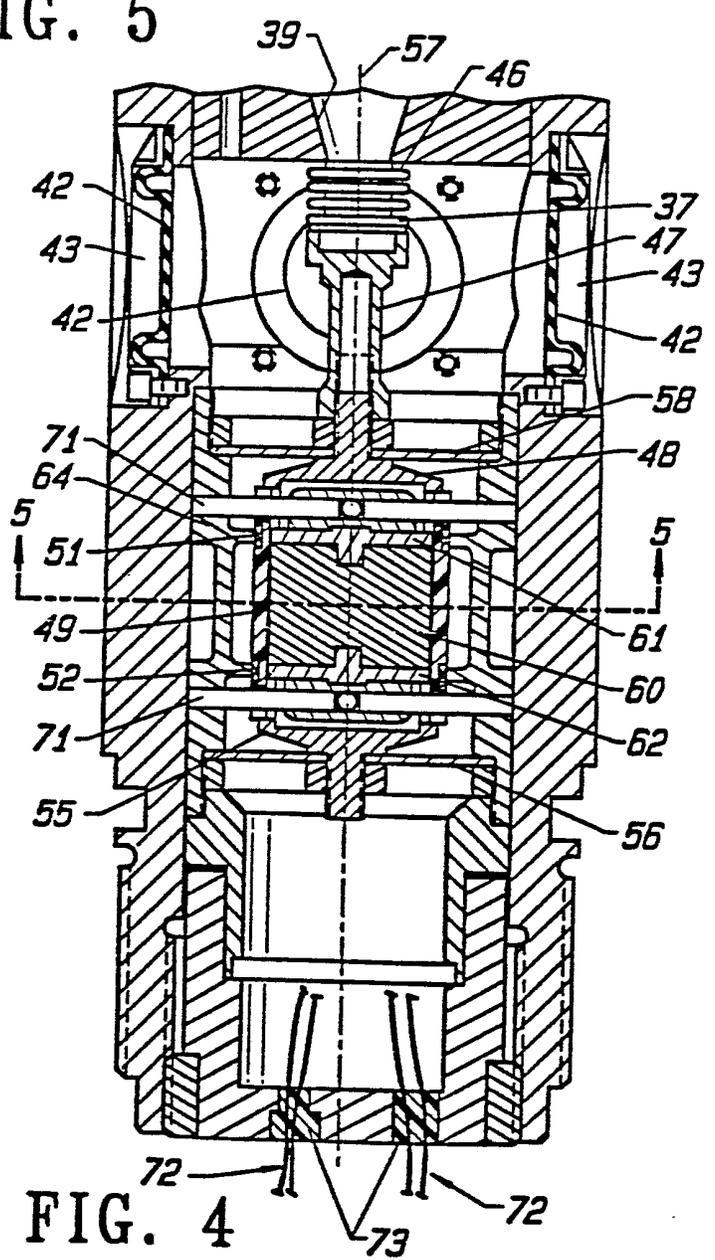
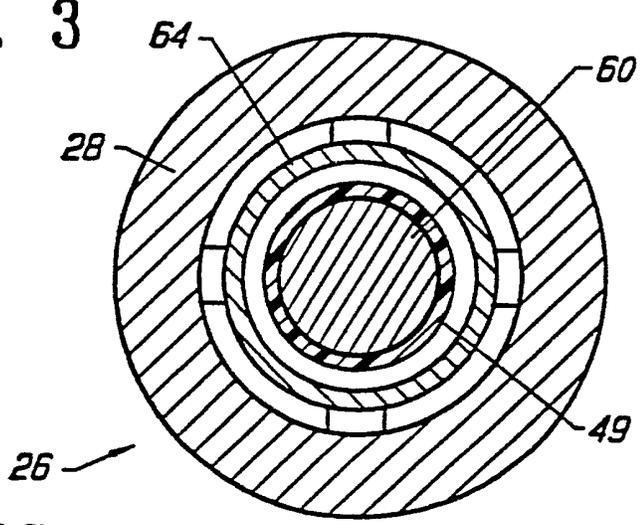
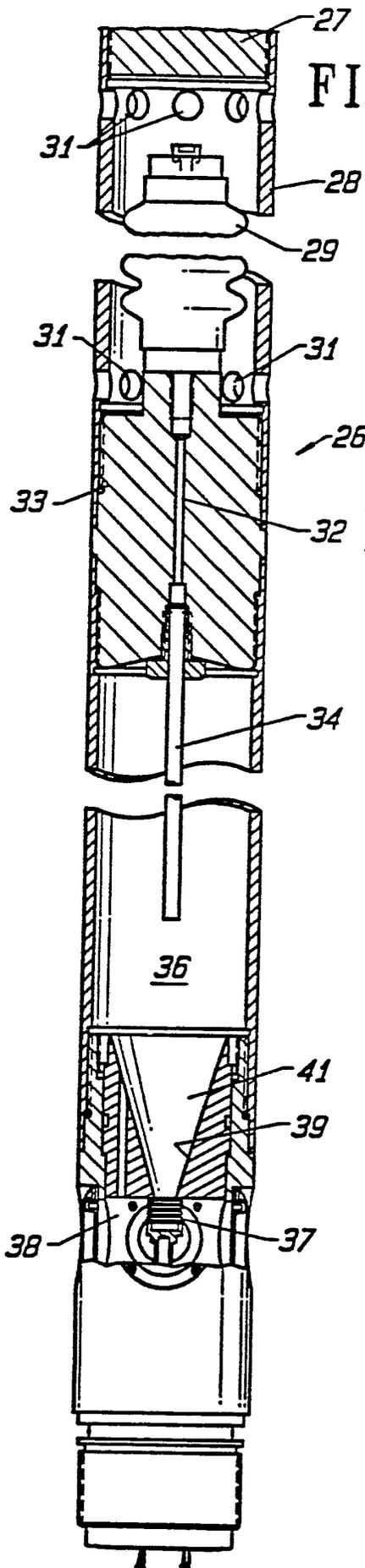


FIG. 2



3/8

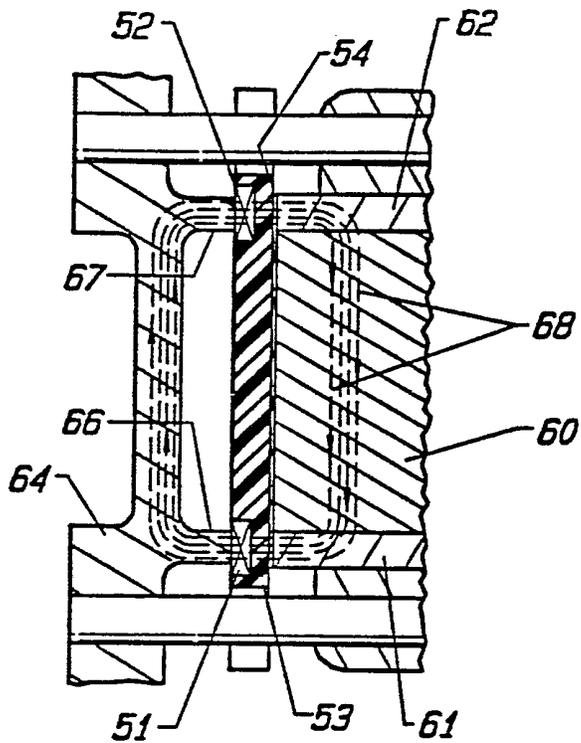


FIG. 6

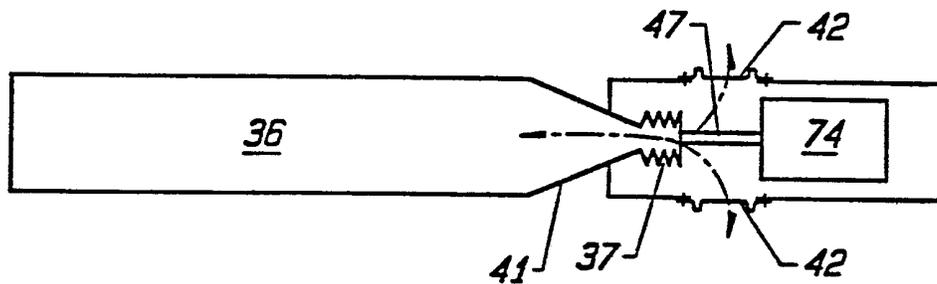


FIG. 7A

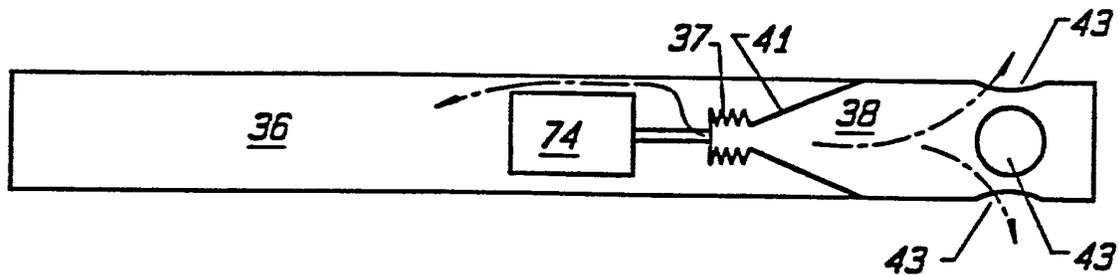


FIG. 7B

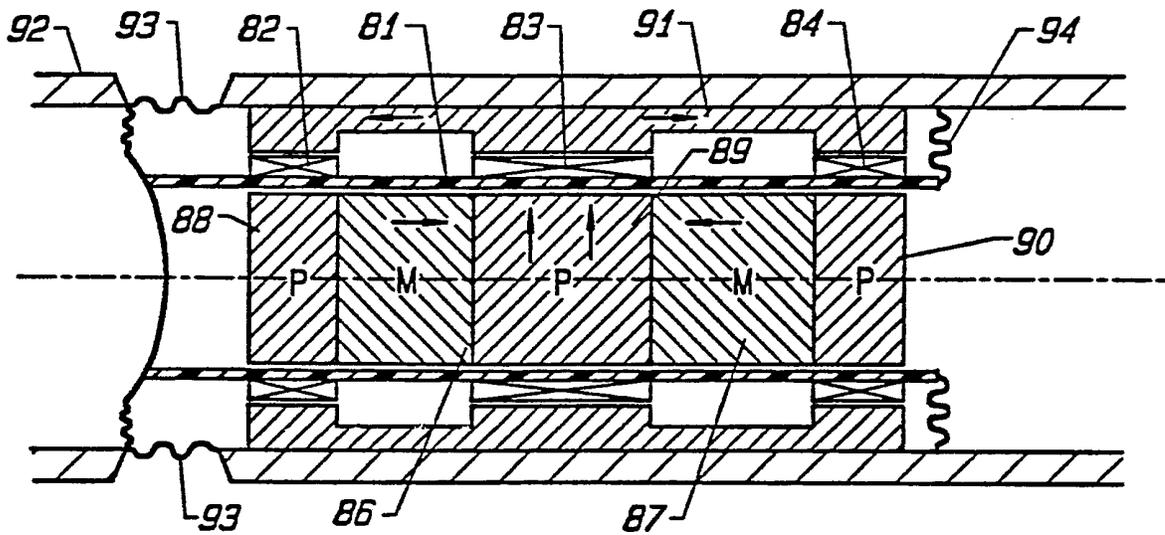


FIG. 8

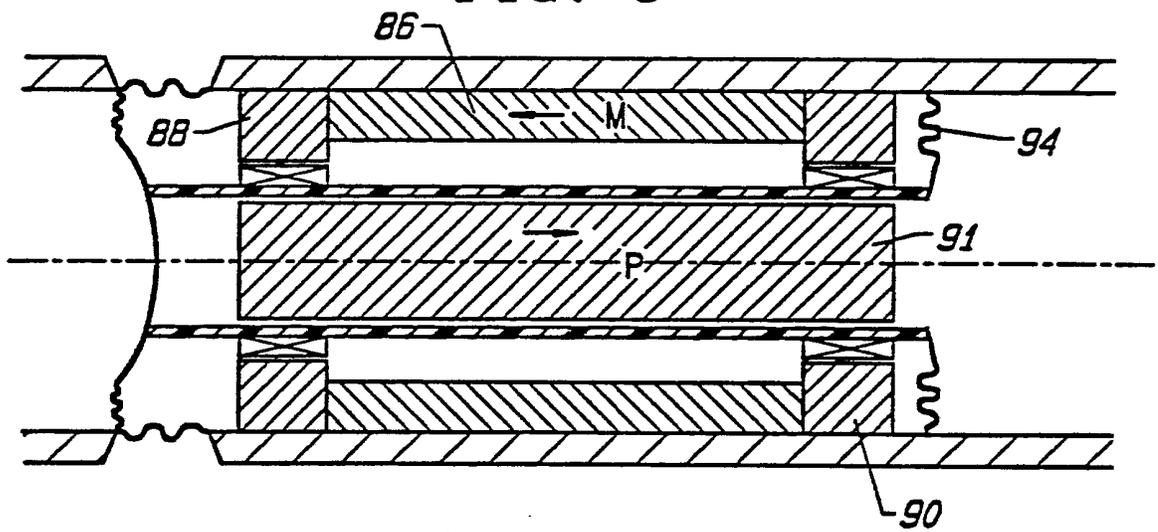


FIG. 9

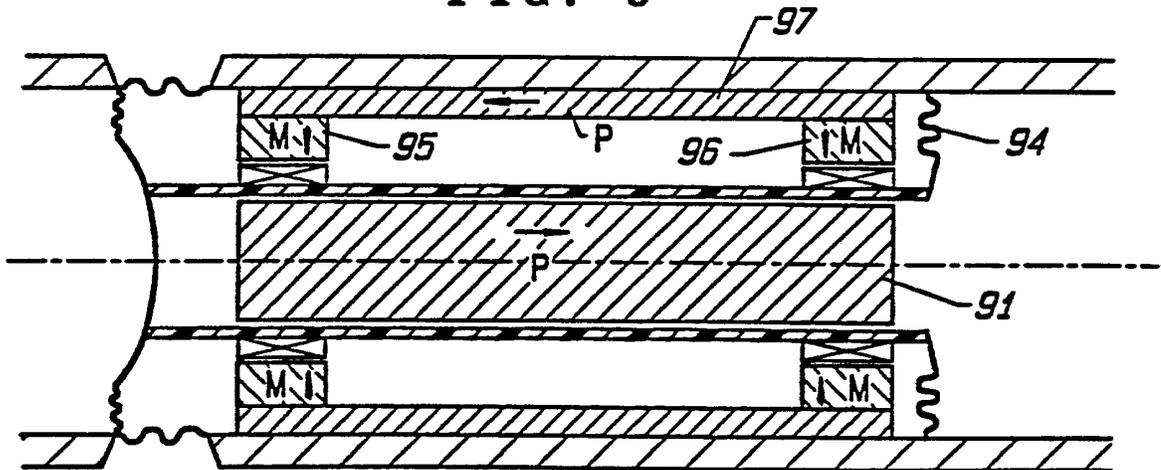


FIG. 10

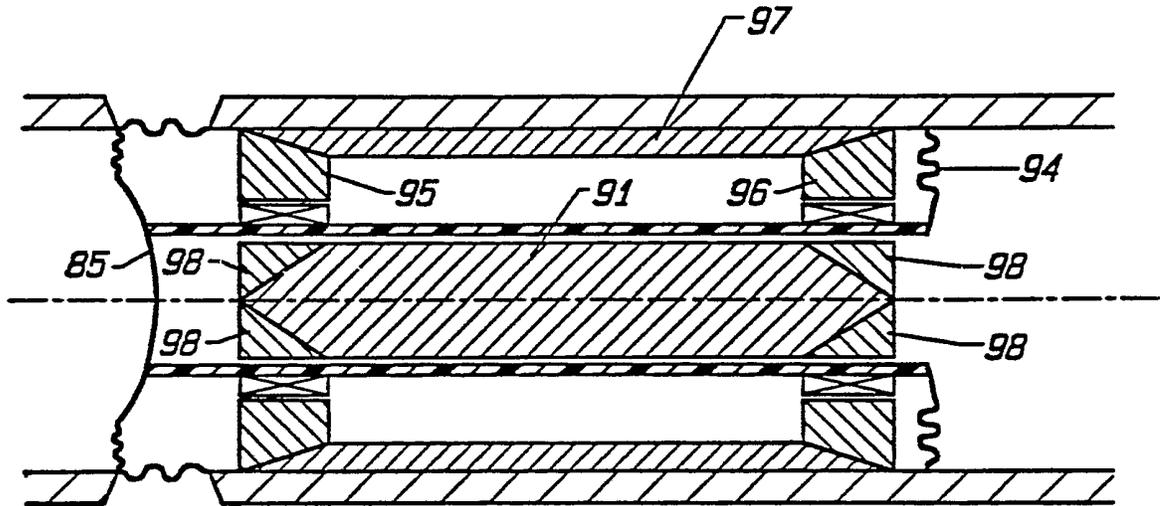


FIG. 11

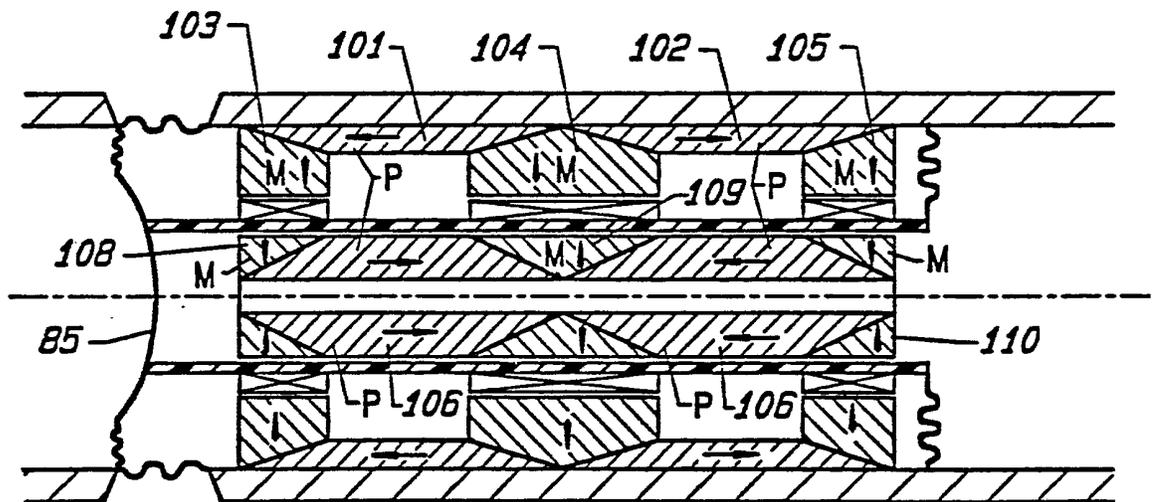
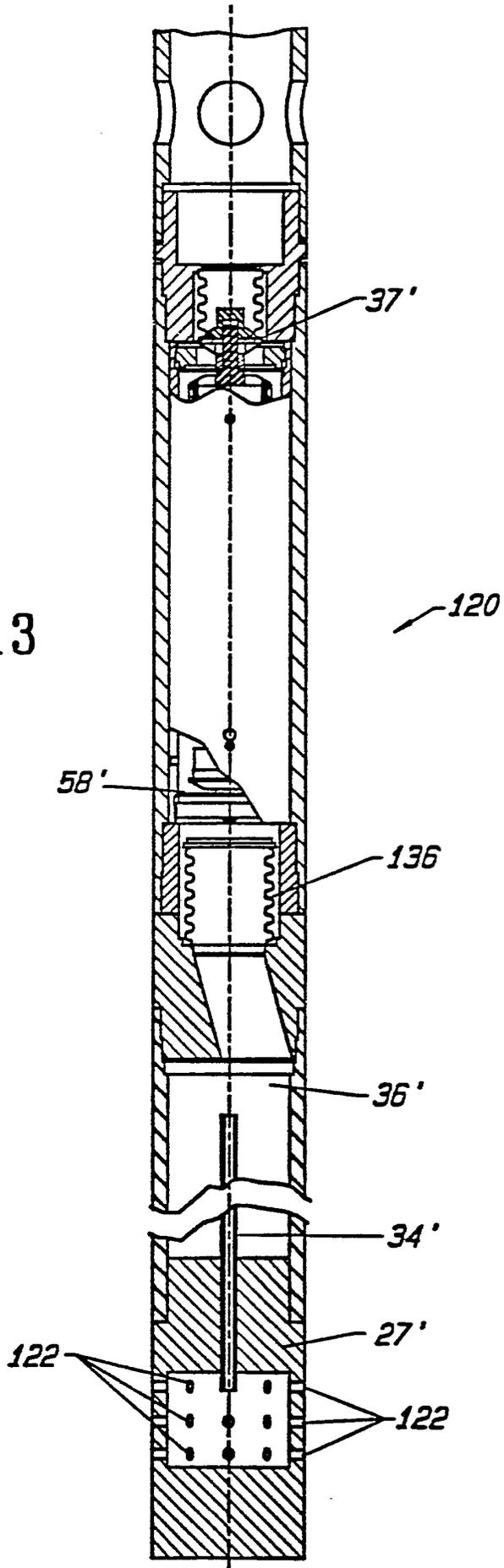


FIG. 12

6/8

FIG. 13



7/8

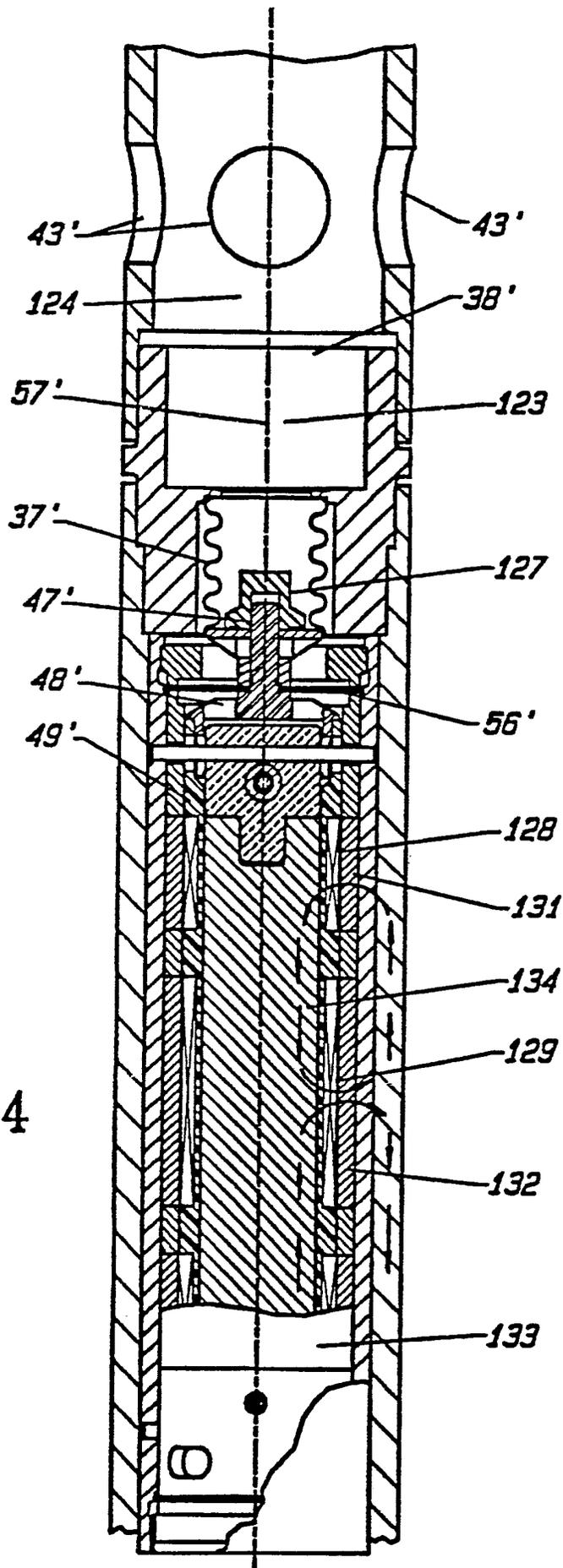


FIG. 14

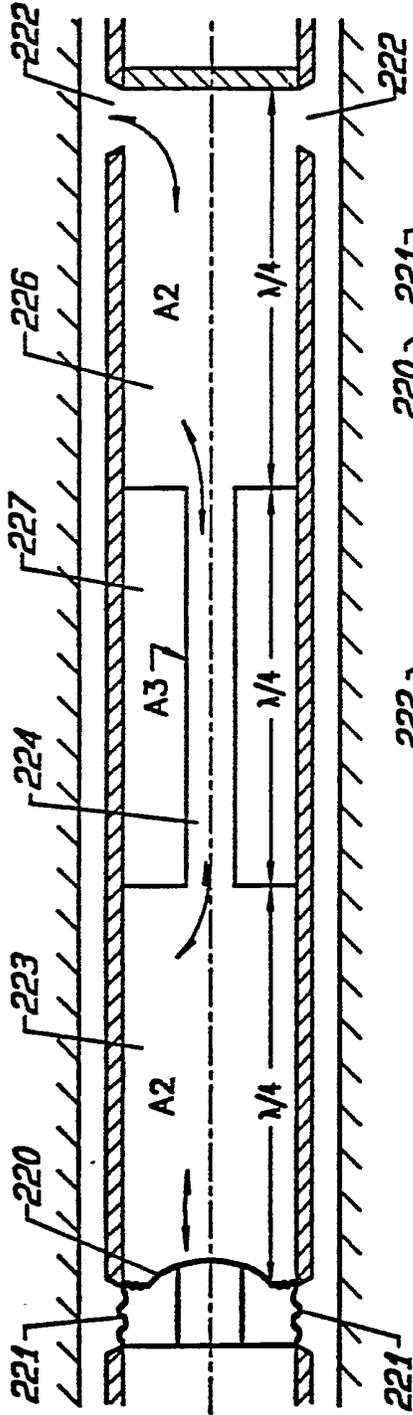


FIG. 15A

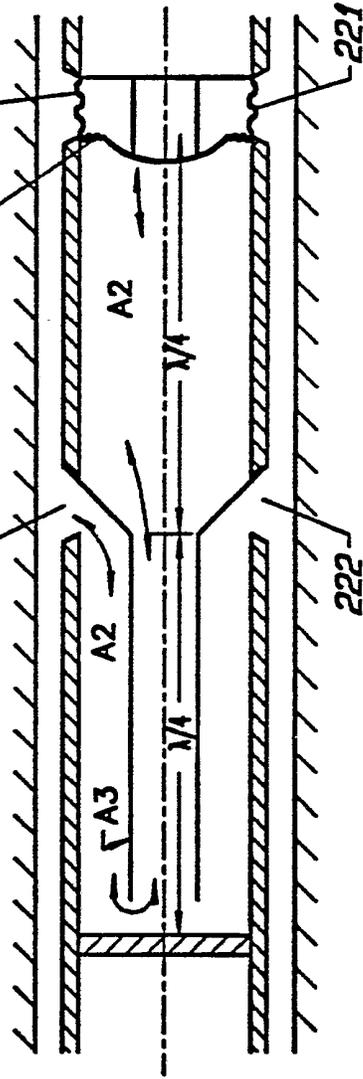


FIG. 15B

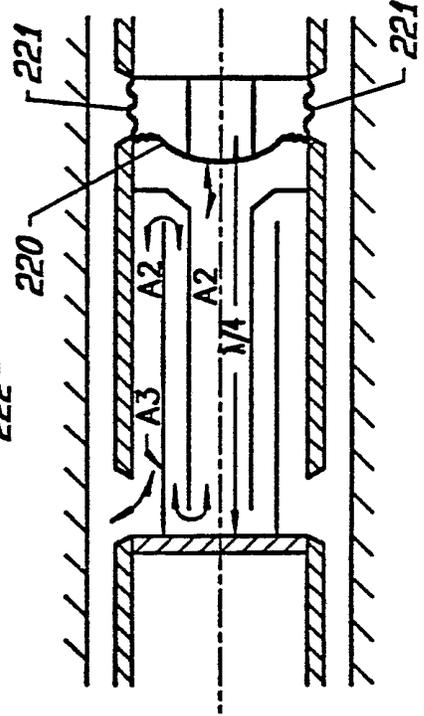


FIG. 15C