

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication : **2 647 554**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : **89 06739**

51 Int Cl^B : G 01 V 1/40; E 21 B 47/00.

12 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

22 Date de dépôt : 23 mai 1989.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 48 du 30 novembre 1990.

60 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

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

72 Inventeur(s) : David F. Becker ; Sen-Tsuen Chen ; Azik I.
Perelberg ; Graham A. Winbow.

73 Titulaire(s) :

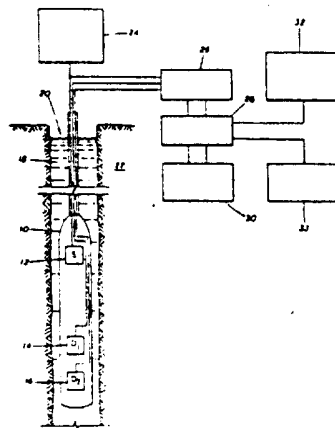
74 Mandataire(s) : Rinuy et Santarelli.

54 Procédé et dispositif de mesure de l'anisotropie azimutale d'une formation.

57 L'invention concerne un procédé et un dispositif pour
mesurer l'anisotropie azimutale d'une formation traversée par
un sondage.

Un émetteur 12, produisant avantageusement des ondes
dipolaires, et au moins un détecteur 14 ou 16, sensible à ces
ondes, sont utilisés. Les arrivées de deux ondes acoustiques
sont détectées, ces arrivées ayant des orientations azimutales
différentes par rapport à l'axe longitudinal du sondage 20 dans
lequel le dispositif est placé.

Domaine d'application : diagraphie acoustique de puits de
pétrole et de gaz, etc.



L'invention concerne un procédé et un dispositif de diagrapie acoustique de puits. L'invention concerne plus particulièrement un procédé et un dispositif de diagrapie de puits utilisant au moins un transducteur multipolaire pour mesurer la vitesse d'ondes acoustiques dans une formation souterraine traversée par un puits.

Dans des opérations classiques de diagrapie acoustique de puits, la vitesse d'une onde acoustique se propageant à travers une formation de terrain traversée par un puits peut être déterminée. Dans le présent mémoire, les termes synonymes "puits" et "sondage" sont utilisés indifféremment, et les expressions "onde acoustique" et "signal acoustique" sont utilisées dans leur sens général pour désigner toute onde de compression, onde de cisaillement, onde acoustique guidée ou autre onde élastique quelconque. Un dispositif classique de diagrapie acoustique de puits comprend : une sonde de diagrapie qui peut être suspendue en fond de puits dans le fluide du sondage, une source logée à l'intérieur de la sonde pour générer des ondes de compression dans le fluide du sondage, et un ou plusieurs détecteurs à l'intérieur de la sonde, espacés de la source d'ondes de compression pour détecter des ondes de compression dans le fluide du sondage. L'énergie des ondes de compression générée dans le fluide du sondage par la source est réfractée dans la formation de terrain entourant le sondage.

Une partie de l'énergie contenue dans les ondes de compression dans le fluide est réfractée dans la formation entourant le sondage. Une partie de l'énergie réfractée se propage ensuite dans la formation sous la forme d'une onde de compression réfractée, et une partie se propage dans la formation sous la forme d'une onde de cisaillement ou onde transversale réfractée. Une autre partie de l'énergie irradiée par la source d'ondes de compression est convertie sous la forme d'ondes guidées qui

se déplacent dans le fluide du sondage et dans la partie de la formation adjacente au sondage. Une partie de l'énergie de chaque onde de compression réfractée et de chaque onde de cisaillement réfractée est renvoyée par réflexion dans le fluide du sondage sous la forme d'ondes de compression et atteint le détecteur se trouvant dans la sonde de diagraphie. Les ondes guidées sont également détectées par ce détecteur. Toute onde correspondant à l'un de ces trois types d'ondes détectés par le détecteur peut être appelée une arrivée. Les ondes de compression dans le fluide du sondage, causées par une réflexion des ondes de compression dans la formation, sont appelées les arrivées d'ondes de compression ; celles causées par une réflexion des ondes de cisaillement dans la formation sont appelées les arrivées d'ondes de cisaillement ; et celles causées par des ondes guidées sont appelées les arrivées d'ondes guidées. Par conséquent, si le signal généré par la source est un signal à impulsions, le signal détecté par le détecteur est un signal complexe qui comprend un certain nombre de composantes d'impulsions comprenant l'arrivée d'une onde de compression, l'arrivée d'une onde de cisaillement et les arrivées d'ondes guidées. Dans des formations de terrains, les ondes de compression se déplacent plus vite que les ondes de cisaillement, et les ondes de cisaillement dans la formation se déplacent habituellement plus vite que les ondes guidées. Par conséquent, dans le signal composé ou complexe détecté par le détecteur, l'arrivée d'onde de compression est l'arrivée première, l'arrivée d'onde de cisaillement est l'arrivée seconde et les arrivées d'ondes guidées sont les arrivées dernières. Dans la mesure de la vitesse d'une onde de compression dans la formation, l'intervalle de temps entre la génération des ondes de compression et la détection de l'arrivée première par le détecteur donne le temps de parcours approximatif de l'onde de compression réfractée

dans la formation. Par conséquent, les arrivées ultérieures des ondes de cisaillement et des ondes guidées n'affectent pas la mesure de la vitesse de l'onde de compression dans la formation. Le rapport de la distance entre la source et le détecteur au temps entre la génération et la détection de l'énergie de l'arrivée de l'onde de compression donne la vitesse des ondes de compression dans la formation. La distance entre la source et le détecteur est habituellement fixée et connue, de sorte qu'une mesure du temps entre la génération de l'onde de compression et la détection de l'arrivée de l'onde de compression est suffisante pour déterminer la vitesse des ondes de compression dans la formation. Pour une meilleure précision, cette distance est habituellement très supérieure aux dimensions de la source ou du détecteur. En variante, une mesure de l'intervalle de temps entre les détections de l'arrivée d'une onde de compression, à deux détecteurs séparés d'une distance connue, peut être utilisée pour mesurer la vitesse des ondes de compression dans la formation.

Une information importante pour la production de pétrole et de gaz à partir de formations terrestres souterraines peut être déduite des vitesses des ondes de compression de telles formations. Il est également connu qu'une détermination de la vitesse des ondes de cisaillement peut fournir une information importante pour la production de pétrole et de gaz à partir des formations. Le rapport de la vitesse des ondes de cisaillement à la vitesse des ondes de compression peut révéler la lithologie des formations terrestres souterraines. La diagraphie de vitesse de cisaillement peut également permettre de convertir des coupes-temps d'ondes sismiques de cisaillement en coupes-profondeur. La diagraphie d'ondes de cisaillement est également utile dans la détermination d'autres caractéristiques importantes des formations terrestres, telles que la porosité, la saturation en

fluides et la présence de fractures.

Des sources classiques de diagraphe d'ondes de compression du type unipolaire génèrent des ondes de compression qui sont symétriques par rapport à l'axe de la sonde de diagraphe. Lorsque de telles ondes de compression unipolaires sont réfractées dans la formation terrestre encaissante et détectées à l'aide de récepteurs classiques du type unipolaire, les amplitudes relatives des ondes unipolaires réfractées de cisaillement et de compression sont telles qu'il est difficile de distinguer l'arrivée dernière de l'onde de cisaillement de l'arrivée précédente de l'onde de compression et ses réverbérations dans le sondage.

Cependant, il a été proposé d'utiliser, dans un système de diagraphe de puits, pour faciliter une diagraphe directe de vitesse des ondes de cisaillement, une paire émetteur-détecteur multipolaire (c'est-à-dire une paire source dipolaire/récepteur dipolaire, une paire source quadripolaire/récepteur quadripolaire ou une paire source/récepteur multipolaire d'ordre plus élevé, où l'ordre multipolaire de la source correspond à celui du récepteur). Un tel dispositif multipolaire de diagraphe de puits, mis en oeuvre à la fréquence appropriée, produit au détecteur des arrivées telles que l'amplitude de l'arrivée d'onde de cisaillement détectée est notablement plus élevée que celle de l'arrivée de l'onde de compression. En réglant le niveau de déclenchement du détecteur (et du dispositif pour enregistrer le signal détecté) afin d'effectuer une discrimination à l'encontre de l'arrivée de l'onde de compression, on détecte l'arrivée de l'onde de cisaillement en tant qu'arrivée première. Des dispositifs de diagraphe d'ondes acoustiques dipolaires de puits, de ce type, sont décrits dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 4 606 014, dans la demande de brevet européen 031 989 de Angona et collaborateurs (publiée le 15 Juillet 1981), et

dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 3 593 255. Cependant, l'art. antérieur (y compris les références citées) indique que la source et le récepteur (ou les récepteurs) d'un dispositif dipolaire (ou multipolaire d'ordre plus élevé) doivent être alignés pour que chaque source et chaque récepteur soient associés sensiblement au même angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal du sondage (c'est-à-dire que l'angle d'azimut entre la source et le récepteur est de 0°) afin d'élever au maximum la sensibilité du dispositif. De façon similaire, les références citées indiquent que si l'angle d'azimut entre une source dipolaire et un récepteur dipolaire est de 90°, le récepteur est insensible à l'énergie des ondes dipolaires produites par la source et que, si l'angle entre une source quadripolaire et un récepteur quadripolaire est de 45°, le récepteur ne détecte pas le rayonnement quadripolaire produit par la source.

Des transducteurs multipolaires des types quadripolaire, octopolaire et multipolaire d'ordre plus élevé sont décrits dans les demandes de brevets des Etats-Unis d'Amérique N° 379 684, déposée le 19 Mai 1982 et N° 440 140, déposée le 8 Novembre 1982, ainsi que dans le brevet des Etats-Unis d'Amérique N° 4 649 526.

Il est connu, depuis un certain temps, que des formations horizontales en couches minces et que des roches fracturées horizontalement présentent une isotropie transversale. Dans cette situation, la vitesse des ondes de compression et de cisaillement dépend généralement de leur direction de propagation par rapport à la verticale. Cependant, leur vitesse est indépendante de la direction azimutale dans laquelle elles se propagent. En variante, la formation peut présenter une anisotropie azimutale, selon laquelle des ondes de compression peuvent se déplacer à des vitesses différentes dans des directions azimutales différentes s'écartant de (ou se dirigeant vers) un sondage

vertical. De façon similaire, les vitesses des ondes de cisaillement dépendent de la direction azimutale (par rapport à l'axe du sondage) dans laquelle elles se propagent. L'anisotropie azimutale peut être due à des fractures verticales, entre autres facteurs géologiques.

Dans un milieu anisotrope en azimut, la vitesse d'une onde de cisaillement dépend aussi de la direction de polarisation (c'est-à-dire du plan contenant le mouvement des particules). Par exemple, la vitesse d'une onde de cisaillement se propageant verticalement, dont la polarisation est nord-sud, diffère en général de la vitesse d'une onde de cisaillement se propageant verticalement, dont la polarisation est est-ouest.

Sous leur forme la plus simple, des milieux à anisotropie azimutale possèdent cinq constantes élastiques indépendantes qui leur sont associées, alors que des milieux totalement isotropes possèdent deux constantes élastiques indépendantes. En principe, des types plus complexes d'anisotropie sont également possibles et une description de ces formes d'anisotropie peut exiger jusqu'à 21 constantes élastiques indépendantes.

Il a été signalé que l'anisotropie azimutale est un phénomène largement répandu. Une anisotropie azimutale, même de faible valeur (par exemple 3 %), où la valeur de l'anisotropie azimutale est définie par $\epsilon = |(V_{\perp} - V_{\parallel}) / V_{\parallel}| \cdot 100\%$ où V_{\parallel} = vitesse de l'onde se propageant avec une polarisation parallèle à une direction choisie, et V_{\perp} = vitesse de l'onde ayant la même fréquence, mais une polarisation perpendiculaire à la direction choisie (par exemple V_{\parallel} et V_{\perp} , parallèle et perpendiculaire à l'orientation d'une fracture, sont des vitesses faible et élevée), produit un effet notable sur les données sismiques correspondantes des ondes de cisaillement.

Si l'on pouvait détecter et quantifier l'anisotropie azimutale durant une opération de diagraphie

de puits, l'information peut être utilisée pour aider à interpréter des indices directs d'hydrocarbures, localiser et définir des réservoirs fracturés et déduire des données sismiques des informations lithologiques. Des données
5 concernant l'anisotropie azimutale, collectées durant une telle opération de diaggraphie de puits, pourraient également être utilisées dans l'exécution d'études de production sur des réservoirs fracturés, car l'information concernant l'anisotropie azimutale est représentative de
10 l'existence et de l'orientation de fractures verticales constituant des trajets à haute perméabilité pour les hydrocarbures, et de la qualité du réservoir.

Jusqu'à la présente invention, on ne savait pas comment mesurer les effets de l'anisotropie azimutale en
15 utilisant des outils de diaggraphie de puits.

Le procédé selon l'invention utilise au moins un transducteur multipolaire pour mesurer l'anisotropie azimutale d'une formation traversée par un sondage. L'expression "transducteur multipolaire" est utilisée dans
20 ce mémoire pour désigner des transducteurs ayant un nombre n de pôles supérieur à zéro (c'est-à-dire que l'expression "transducteur multipolaire" désigne un transducteur dipolaire, un transducteur quadripolaire, un transducteur octopolaire ou un transducteur multipolaire d'ordre plus
25 élevé, mais non un transducteur unipolaire). Pour un transducteur unipolaire, $n=0$, pour un transducteur dipolaire, $n=1$, pour un transducteur quadripolaire, $n=2$, et ainsi de suite. En général, pour un transducteur à 2^n -pôles, l'ordre ou nombre de pôles multiples, n , est
30 toujours un entier non négatif. Le terme "transducteur" est utilisé dans ce mémoire pour désigner un émetteur ou un récepteur. Les termes synonymes "détecteur" et "récepteur" sont utilisés indifféremment. Les ondes produites par un transducteur multipolaire peuvent être appelées "ondes
35 multipolaires.

Dans le procédé de l'invention, un signal acoustique est généré à un transducteur disposé dans le sondage, le signal entre en se propageant dans la formation et une arrivée du signal est détectée à un autre transducteur disposé dans le sondage. Au moins l'un des transducteurs est un transducteur multipolaire orienté sous un premier angle d'azimut ou de gisement par rapport à l'axe longitudinal du sondage. Une autre arrivée de signal acoustique, associée à un second angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal du sondage, est également détectée à un transducteur disposé dans le sondage. Cette dernière arrivée soit contient l'énergie d'une onde générée à un émetteur multipolaire orienté sous le second angle d'azimut, soit est détectée à un détecteur multipolaire orienté sous un tel angle, soit encore est générée par un tel émetteur et est détectée par un tel détecteur. Si la formation est anisotrope en azimut, des vitesses différentes des ondes acoustiques sont associées aux deux arrivées. L'anisotropie peut être étudiée par une analyse des arrivées détectées.

Dans une forme avantageuse du procédé de l'invention, un seul émetteur dipolaire est mis en oeuvre pour générer le signal acoustique (ou les signaux acoustiques) utilisés, et les arrivées sont détectées à deux récepteurs dipolaires orientés sous des angles d'azimut différents. Dans une autre forme avantageuse, un seul émetteur unipolaire est mis en oeuvre pour générer le signal acoustique (ou les signaux acoustiques) et les arrivées sont détectées à deux récepteurs quadripolaires orientés sous des angles d'azimut différents. De façon plus générale, lorsque l'on étudie des formations présentant une anisotropie azimutale, il est avantageux que pour chaque paire émetteur-récepteur utilisée dans l'exécution du procédé de l'invention (ou comprise dans le dispositif de l'invention), si l'ordre multipolaire d'un transducteur de

la paire est n , l'ordre multipolaire du transducteur correspondant soit $n+2m$, où $n+2m \geq 0$, et m est un entier (positif, négatif ou nul).

Les formes préférées de réalisation font l'objet de nombreuses variantes. Par exemple, un signal acoustique unique peut être généré et des arrivées de cette onde sont ensuite détectées à deux détecteurs. En variante, un premier signal peut être généré et détecté et, ensuite, un second signal peut être généré et détecté. Les deux signaux peuvent être générés par le même émetteur et détectés par le même détecteur, si l'un de la source et du détecteur est tourné en azimut par rapport à l'autre entre les deux détections de signaux. En variante, deux paires source-détecteur distinctes peuvent être utilisées dans la mise en oeuvre du procédé.

Le dispositif de diagraphie de sondage selon l'invention comprend avantageusement au moins un émetteur dipolaire et au moins un détecteur dipolaire, ou bien un émetteur unipolaire et au moins un détecteur quadripolaire, ou au moins un émetteur quadripolaire et un détecteur unipolaire. Deux émetteurs multipolaires (ou deux détecteurs multipolaires) sont avantageusement prévus, les deux émetteurs (ou détecteurs) étant placés dans des orientations azimutales distinctes. En variante, un seul transducteur multipolaire est prévu, et un moyen destiné à faire tourner le transducteur multipolaire entre les générations (ou détections) de signaux acoustiques est également prévu.

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

la figure 1 est une vue schématique d'un dispositif de diagraphie de puits selon l'invention ;

la figure 2 est une vue en coupe d'une formation traversée par un sondage et comportant des

fractures orientées suivant l'axe x ;

la figure 3 est une vue en perspective, avec coupe partielle, d'une partie d'un outil de diagraphie de sondage disposé dans un sondage, montrant les trajets de
5 deux ondes acoustiques se propageant entre deux transducteurs situés dans l'outil ;

la figure 4 est une représentation graphique de trois arrivées d'ondes acoustiques typiques de celles détectées dans la diagraphie d'une formation anisotrope en
10 azimut conformément à l'invention ;

la figure 5 est une vue schématique en perspective, avec arrachement partiel, d'une forme avantageuse de réalisation du dispositif de diagraphie acoustique de puits selon l'invention ; et

15 la figure 6 est une vue schématique en perspective avec coupe partielle d'une autre forme de réalisation du dispositif de diagraphie acoustique de puits selon l'invention.

La figure 1 est une vue schématique d'un
20 dispositif de diagraphie acoustique de puits selon l'invention. Une sonde 10 de diagraphie est conçue pour être élevée et abaissée dans un puits 20 entouré d'une formation de terrain 22. La sonde 10 loge un transducteur 12 destiné à générer une onde acoustique et deux transduc-
25 teurs (14 et 16) destinés à détecter des arrivées de la ou des ondes acoustiques. Pour commencer la diagraphie, on suspend la sonde 10 dans un fluide 18 contenu dans le sondage 20. Les détecteurs 14 et 16 sont montés dans la sonde 10 en des positions espacées le long de l'axe
30 longitudinal du sondage 20, l'une de l'autre et de la source 12. La source 12 est connectée à une unité 24 de commande de tir et d'enregistrement. Bien que l'unité de commande de tir et d'enregistrement soit représentée sur la figure 1 sous la forme d'une unité séparée de la sonde de
35 diagraphie, la partie de l'unité 24 qui fournit de

l'énergie à la source d'ondes acoustiques peut, pour faciliter la mise en oeuvre, être logée dans la sonde de diagraphie. Les signaux enregistrés par les détecteurs 14 et 16 sont transmis à un filtre passe-bande 26, à un amplificateur 28 et à une unité 30 d'intervalle de temps. Après amplification par l'amplificateur 28, le signal peut être numérisé et enregistré dans une unité 32, ou bien affiché dans une unité 33, ou bien à la fois enregistré et affiché dans les unités 32 et 33.

L'unité 24 de commande de tir et d'enregistrement est mise en oeuvre de façon à déclencher la source 12 qui produit une onde acoustique (laquelle peut contenir à la fois des composantes de cisaillement et de compression) dans la formation 22. Des arrivées de l'onde acoustique sont détectées par les détecteurs 14 et 16. La sonde 10 contient habituellement un préamplificateur (non représenté sur la figure 1) qui amplifie les arrivées d'ondes acoustiques détectées par les détecteurs 14 et 16. Les signaux amplifiés sont ensuite filtrés par le filtre 26 et de nouveau amplifiés par l'amplificateur 28. L'intervalle de temps entre l'arrivée au détecteur 14 et l'arrivée correspondante au détecteur 16 est alors mesuré par l'unité 30 d'intervalle de temps. L'intervalle de temps mesuré peut être mémorisé ou affiché comme souhaité.

En variante, les signaux détectés peuvent être affichés (par exemple par l'unité d'affichage 33) avant, au lieu ou en plus d'être traités dans l'unité d'intervalle de temps 30. Dans une autre forme de réalisation, un signal représentant le temps auquel la source 12 émet une onde acoustique peut être appliqué au filtre 26, à l'amplificateur 28 et à l'unité 30 d'intervalle de temps. Dans cette autre forme de réalisation, l'unité 30 mesure l'intervalle de temps entre l'émission d'un signal acoustique à partir de la source 12 et l'arrivée de l'énergie acoustique contenue dans le signal en un seul détecteur (c'est-à-dire

le détecteur 14 ou 16).

Conformément à l'invention, l'un ou l'autre des détecteurs 14 et 16, ou la source 12, ou ces trois transducteurs, doivent tous être du type multipolaire.

5 L'invention repose sur la propriété selon laquelle un transducteur multipolaire peut être orienté dans une direction azimutale particulière par rapport à l'axe longitudinal d'un sondage. La figure 2 est une vue en coupe transversale d'un sondage 37 dont l'axe longitudinal est

10 perpendiculaire au plan de cette figure 2. Une source acoustique multipolaire (non représentée) disposée dans le sondage 37 comporte $2n$ éléments vibrants (où n est l'ordre multipolaire de la source, c'est-à-dire un nombre entier supérieur à zéro) agencés autour de l'axe longitudinal de

15 l'outil. Les transducteurs du dispositif de diagraphie selon l'invention (lorsqu'ils sont mis en oeuvre dans un sondage traversant une formation à anisotropie d'azimut telle que la formation 38 de la figure 2) peuvent être orientés de façon à produire des ondes acoustiques

20 multipolaires qui ont une polarisation (identifiée par une flèche 34 sur la figure 2) dans la direction azimutale ou direction de gisement θ . La formation 38 traversée par le sondage 37 est anisotrope en azimut, car elle est traversée par des fractures verticales 39 qui sont orientées

25 parallèlement à l'axe x . Une onde S (l'onde acoustique se propageant initialement avec une polarisation dans la direction de la flèche 34) possède des ondes composantes S_{\parallel} et S_{\perp} (avec des amplitudes relatives déterminées par θ , l'orientation azimutale de la contrainte initiale engendrant l'onde), dont les polarisations, 35 et 36, respectivement, sont différentes, comme montré sur la figure 2. Etant donné que les vitesses, suivant l'axe longitudinal du sondage, des ondes composantes S_{\parallel} et S_{\perp} sont différentes, si l'onde S possède une composante de vitesse perpen-

35 diculaire au plan de la figure 2 (c'est-à-dire suivant

l'axe longitudinal du sondage), on observe une division de l'énergie en deux ondes composantes S_{\parallel} et S_{\perp} dont la différence, entre leurs temps d'arrivée, augmente plus on mesure la réponse bas le long de l'axe du sondage. Ce
5 phénomène permet de détecter l'anisotropie azimutale et de mesurer son amplitude.

Les figures 3 et 4 illustrent la division d'énergie des deux composantes d'une onde acoustique multipolaire produite par la source 44 dans un outil 45
10 disposé dans un sondage 40 rempli de fluide. L'axe z est parallèle à l'axe longitudinal du sondage. La formation 42 est traversée de fractures verticales 43. Les fractures 43 sont parallèles au plan $x-z$. Une composante W_{\perp} de l'onde possède une polarisation dans le plan $y-z$ (perpendiculaire
15 aux fractures 43) ; une composante W_{\parallel} de l'onde possède une polarisation dans le plan $x-z$ (parallèle aux fractures 43). Etant donné que la formation 42 est anisotrope en azimut, à un intervalle de temps t , la composante W_{\perp} se propage généralement jusqu'à une profondeur d_1 , tandis que la
20 composante W_{\parallel} se propage jusqu'à une profondeur d_2 , où $d_2 - d_1 = \Delta d$, et $\Delta d > 0$. En d'autres termes, les temps des arrivées de W_{\parallel} et W_{\perp} à une profondeur donnée sont différents. Si un détecteur 46 est un détecteur multi-
25 polaire orienté de façon à n'être sensible qu'à la composante W_{\perp} , le signal reçu au détecteur 46 représentant l'arrivée de l'onde apparaît alors comme montré à la ligne A de la figure 4, avec une amplitude maximale à un temps t_1 . Si le détecteur 46 est un détecteur multipolaire orienté de façon à n'être sensible qu'à la composante W_{\parallel} ,
30 le signal reçu au détecteur 46, représentant l'arrivée de l'onde, apparaît alors comme indiqué à la ligne C de la figure 4, avec un maximum au temps t_2 . Si le détecteur 46 est un détecteur multipolaire orienté (tourné dans une position angulaire azimutale souhaitée) de façon à être
35 sensible aux deux composantes W_{\parallel} et W_{\perp} , le signal reçu au

détecteur, représentant l'arrivée de l'onde, apparaît alors comme indiqué à la ligne B de la figure 4, avec deux maxima, séparés par un temps $\Delta t = t_2 - t_1$, où Δt correspond à Δd sur la figure 3. Par contre, si la formation 42 était
5 isotrope (de manière que toutes les composants d'une onde acoustique d'une fréquence donnée aient la même vitesse, v_f), le signal reçu au détecteur 46, représentant l'arrivée de l'onde, ne présenterait pas alors de division lors d'une rotation en azimut du détecteur. L'arrivée détectée aurait
10 plutôt un maximum à un temps t_f déterminé par la distance de propagation de l'onde entre l'émission et la détection et la vitesse fixe v_f dans le milieu isotrope.

Dans le procédé de l'invention, une première onde acoustique est générée à un transducteur placé dans un
15 sondage de façon à se propager à travers une formation de terrain entourant le sondage. Une arrivée de la première onde est détectée à un autre transducteur placé dans le sondage. Au moins l'un des transducteurs est du type multipolaire et possède une première orientation azimutale.
20 Par conséquent, l'arrivée de l'onde présente un aspect similaire à l'une des lignes A, B et C de la figure 4, suivant que la première orientation en azimut se trouve être parallèle (ou perpendiculaire) à un axe quelconque de l'anisotropie azimutale de la formation (cas dans chacun
25 desquels l'arrivée n'est pas divisée, comme pour les lignes A et C de la figure 4) ou se trouve n'être ni parallèle ni perpendiculaire à un tel axe d'anisotropie azimutale (auquel cas l'arrivée peut être divisée comme indiqué à la ligne B de la figure 4).

30 De plus, dans l'exécution du procédé de l'invention, une seconde arrivée d'onde acoustique est détectée à un transducteur disposé dans le sondage. Cette seconde arrivée peut être associée à la première onde décrite dans le paragraphe précédent (c'est-à-dire peut
35 contenir une partie de l'énergie de cette première onde),

ou peut être associée à une seconde onde acoustique qui a été générée par le même transducteur ou par un transducteur différent de celui ayant généré la première onde. La seconde arrivée doit être associée à un transducteur multipolaire (soit à une source multipolaire, soit à un détecteur multipolaire, soit aux deux) et le transducteur multipolaire doit avoir une seconde orientation azimutale différente de la première orientation. Une comparaison des première et seconde arrivées donne une information concernant l'existence et le type d'anisotropie azimutale de la formation. Par exemple, si une division est observée dans l'une des arrivées ou dans les deux arrivées, il en résulte alors que la formation est anisotrope en azimut. Si les deux arrivées présentent une division, les amplitudes relatives des maxima doubles des arrivées indiquent une information concernant la direction de l'anisotropie azimutale.

Deux formes avantageuses du procédé de l'invention seront à présent décrites. La première forme avantageuse utilise au moins une source d'ondes acoustiques dipolaires ("source dipolaire") et au moins un détecteur sensible aux ondes acoustiques dipolaires ("détecteur dipolaire"). La seconde forme avantageuse utilise au moins un détecteur sensible à des ondes acoustiques quadripolaires ("détecteur quadripolaire") et soit au moins une source d'ondes acoustiques unipolaires "source unipolaire"), soit au moins une source d'ondes acoustiques quadripolaires ("source quadripolaire"), soit à la fois une source quadripolaire et une source unipolaire.

On a constaté que la polarisation d'ondes dipolaires générées par une source dipolaire est principalement linéaire, de sorte qu'un dispositif "source dipolaire/détecteur dipolaire" convient à la mesure de la division d'ondes acoustiques dipolaires dans une formation présentant une anisotropie azimutale. Dans une variante du

procédé de l'invention, une seule onde acoustique dipolaire est générée, et des arrivées de l'onde sont détectées à deux détecteurs dipolaires différents, les détecteurs ayant des orientations azimutales différentes (et avantageusement orthogonales). Dans une autre variante, deux ondes acoustiques dipolaires sont générées et chacune d'elles est détectée à un détecteur dipolaire différent, ou chacune d'elles est détectée par le même détecteur dipolaire, le détecteur étant tourné en azimut entre les deux détections d'ondes.

Il a été reconnu que, dans une formation à anisotropie azimutale, une partie de l'énergie de l'onde acoustique produite par une source unipolaire dans un sondage est couplée en un mode quadripolaire et se propage donc sous la forme d'une onde quadripolaire dans la formation. L'arrivée détectée à un détecteur placé dans le sondage est donc un mélange de signaux unipolaires et quadripolaires. En conséquence, soit une source unipolaire, soit une source quadripolaire, avec deux détecteurs quadripolaires ayant des orientations azimutales différentes (ou bien un détecteur quadripolaire qui peut être tourné en azimut), peuvent être utilisés pour mesurer des effets de l'anisotropie dans une forme avantageuse du procédé de l'invention. De façon similaire, deux sources quadripolaires, ayant des orientations azimutales différentes (ou une source quadripolaire pouvant être tournée en azimut) peuvent être utilisées dans une autre forme de réalisation avantageuse.

Pour décrire une forme préférée de réalisation de l'invention, l'expression anisotropie azimutale "simple" sera utilisée ici pour désigner la symétrie de formations qui sont isotropes dans une direction, mais anisotropes dans les directions azimutales orthogonales à la première direction, et qui ne présentent que deux directions azimutales orthogonales de symétrie. Les exemples de

formations présentant une anisotropie azimutale simple comprennent des formations qui possèdent des fissures parallèles, orientées verticalement, mais qui sont par ailleurs homogènes. Pour toute paire source-récepteur utilisée dans l'exécution de cette forme avantageuse du procédé de l'invention, l'ordre multipolaire d'un transducteur de la paire est un entier non négatif n (tel que $n=0$ correspondant à un transducteur unipolaire ; $n=1$ correspondant un transducteur dipolaire ; $n=2$ correspondant à un transducteur quadripolaire ; $n=3$ correspondant à un transducteur octopolaire ; et ainsi de suite), et l'ordre multipolaire de l'autre transducteur de la paire est $n+2m$, où $n+2m$ est supérieur ou égal à zéro, et m est un entier (m peut être un entier positif, un entier négatif ou peut être égal à zéro). Cependant, l'un des transducteurs de la paire doit être un transducteur multipolaire afin que l'une des conditions suivantes soit maintenue : $n>0$, $m>0$, ou à la fois $n>0$ et $m>0$. Par exemple, les paires source-récepteur suivantes peuvent être utilisées dans l'exécution de cette forme du procédé de l'invention : source dipolaire/récepteur dipolaire, source quadripolaire/récepteur quadripolaire, source octopolaire/récepteur octopolaire, source unipolaire/récepteur quadripolaire, source quadripolaire/récepteur unipolaire, source unipolaire/récepteur à 16 pôles, sources à 16 pôles/récepteur unipolaire, source dipolaire/récepteur octopolaire, ou source octopolaire/récepteur dipolaire.

Un dispositif particulier peut comporter plus d'un transducteur ayant des ordres multipolaires différents, c'est-à-dire un transducteur ayant un ordre multipolaire de $n+2m$, et un second transducteur ayant un ordre multipolaire de $n+2p$. Le choix de p doit tenir compte des mêmes considérations générales que celles appliquées au choix de m .

La forme préférée de réalisation décrite dans le paragraphe précédent est particulièrement efficace pour la prospection de formations présentant une anisotropie azimutale simple. Pour étudier d'autres types de formations (c'est-à-dire des formations présentant une anisotropie azimutale complexe), il peut être avantageux de s'affranchir des limitations concernant la forme de réalisation du paragraphe précédent afin de permettre de choisir l'entier "m" parmi le groupe de nombres contenant des nombres demi-entiers ainsi que des nombres entiers. Par exemple, pour l'étude de telles formations à anisotropie azimutale complexe, il peut être souhaitable d'utiliser un dispositif comprenant un émetteur dipolaire ($n=1$) et un détecteur quadripolaire ($n+2m=1+2(+1/2)=2$).

On décrira à présent en référence à la figure 5 une conception avantageuse de l'outil de diaggraphie de puits selon l'invention. Les transducteurs du dispositif de la figure 5 sont montés dans une sonde 50 qui peut être suspendue dans un sondage par un câble 51. Une source unipolaire M, qui peut être choisie parmi les sources unipolaires classiques disponibles dans le commerce, est utilisée pour générer des signaux unipolaires comme dans le cas d'un outil sonique classique. Les connexions électriques entre les sources acoustiques de la figure 5 et une source d'énergie et une unité de tir et de commande ne sont pas représentées, car ces connexions peuvent être réalisées d'une manière bien connue et elles sont illustrées schématiquement sur la figure 1. Une unité D à émetteur d'ondes acoustiques dipolaires comprend huit segments égaux d'un cylindre piézo-électrique, qui sont commandés électriquement afin que chaque paire de segments opposés puisse être commandée à la manière d'une source dipolaire. La conception particulière de l'unité D montrée sur la figure 5 comprend donc quatre sources dipolaires distinctes, orientées chacune en azimut à 45° par rapport à la

source dipolaire adjacente (par exemple les paires 1-5, 2-6, 3-7 et 4-8 sont des sources dipolaires distinctes).

L'unité à récepteur R_{Q1} comprend deux récepteurs d'ondes quadripolaires acoustiques. L'unité récepteur R_{D1} comprend quatre récepteurs d'ondes dipolaires acoustiques. Les unités R_{Q1} et R_{D1} forment collectivement ce qui est appelé un poste récepteur. Bien qu'un seul poste récepteur soit montré sur la figure 5, il y a avantageusement au moins deux postes récepteurs dans le corps 50, chaque poste contenant à la fois des récepteurs dipolaires (comme dans l'unité R_{D1}) et des récepteurs quadripolaires (comme dans l'unité R_{Q1}). Chaque unité à récepteur montrée sur la figure 5 est divisée électriquement en huit segments égaux (similairement à la source dipolaire multiple D décrite ci-dessus). Chacun des quatre récepteurs dipolaires de l'unité R_{D1} est aligné, respectivement, avec l'une des quatre sources dipolaires de l'unité à émetteur D.

Les segments de l'unité à récepteur D_{D1} sont connectés électriquement de façon à former quatre récepteurs dipolaires séparés d'angles d'azimut de 45° , et les segments de l'unité R_{Q1} sont connectés électriquement de façon à former quatre récepteurs quadripolaires (1-3-5-7 et 2-4-6-8). Lorsqu'une source dipolaire est déclenchée (par exemple la source 1-5), tout récepteur se trouvant dans chaque poste récepteur est activé de façon à enregistrer une arrivée du signal généré. La même source peut être déclenchée quatre fois et le signal peut par conséquent être enregistré à quatre récepteurs orientés différemment, ou bien on peut déclencher une source dipolaire et enregistrer simultanément les signaux reçus par la totalité des quatre récepteurs dipolaires. Par suite du déclenchement séquentiel des quatre sources dipolaires et de la détection des arrivées associées en un poste récepteur, on détecte 16 signaux dipolaires associés à quatre angles d'azimut différents à quatre duplications qui

peuvent être analysés pour distinguer et mesurer le degré d'anisotropie azimutale de la formation. Lorsque la source unipolaire M est déclenchée, un ou deux récepteurs quadripolaires (le récepteur 1-3-5-7, ou le récepteur 5 2-4-6-8, ou ces deux récepteurs) sont commandés de façon à détecter les arrivées du signal produit par la source M. En analysant les deux arrivées d'ondes quadripolaires détectées de la manière décrite ci-dessus, on détecte la présence et l'amplitude de l'anisotropie de la formation. 10 D'autres postes récepteurs placés à des distances plus grandes de la source réalisent une redondance qui améliore la précision du dispositif.

La figure 6 montre sous une forme simplifiée une autre variante de l'outil de diaggraphie de puits selon 15 l'invention. Une source 62 et un détecteur 64 sont logés dans une sonde 60 qui peut être suspendue dans un sondage à l'extrémité d'un câble 61 afin que l'axe longitudinal de la sonde soit sensiblement parallèle à l'axe longitudinal du sondage. Les transducteurs 62 et 64 peuvent être choisis au 20 moyen des critères décrits ci-dessus afin que le dispositif de la figure 6 puisse mettre en oeuvre le procédé de l'invention. Les transducteurs 62 et 64 sont avantageusement du type dipolaire, ou bien la source 62 est une source unipolaire et le détecteur 64 est un détecteur quadri- 25 polaire. Des moteurs pas à pas 66 et 72 sont montés dans la sonde 60 afin de faire tourner les transducteurs 62 et 64 l'un par rapport à l'autre autour de l'axe longitudinal de la sonde 60. Les transducteurs 62 et 64 sont montés, respectivement, sur des arbres creux 68 et 70 qui sont 30 alignés avec l'axe longitudinal de la sonde 60. Les moteurs 66 et 72 peuvent être commandés indépendamment en réponse à des signaux électriques fournis par l'intermédiaire de lignes électriques 74, 76. La ligne 74 passe dans les arbres 68 et 70 et est connectée au moteur 72. La ligne 76 35 passe dans l'arbre 68 et est connectée au moteur 66. Les

moteurs 66 et 72 sont choisis parmi des modèles disponibles dans le commerce.

Dans toutes les formes de réalisation de l'invention, la fréquence de l'onde acoustique générée par le transducteur (ou les transducteurs) utilisé détermine les parties relatives de l'énergie contenue dans l'onde qui se propagent à travers la formation dans le mode d'ondes de cisaillement et dans le mode d'ondes de compression. Les fréquences préférées de travail produisant des ondes de cisaillement ou des ondes de compression d'ordres multipolaires divers ont été décrites dans le brevet N° 4 606 014 précité, dans les demandes N° 379 684 et N° 440 140 précitées, ainsi que dans le brevet N° 4 649 526 précité.

A titre d'exemple de résolution du procédé de l'invention, on considère la forme de réalisation à émetteur dipolaire/détecteur dipolaire, où l'émetteur est commandé à une fréquence telle que l'onde dipolaire émise possède une fréquence prédominante d'environ 4 kHz. Dans une formation habituelle ayant un retard des ondes de cisaillement de $(150 \mu\text{s}/0,3 \text{ m})^{-1}$ avec une anisotropie azimutale de 10 %, on prévoit de détecter une variation du retard des ondes de cisaillement de $(15 \mu\text{s}/0,3 \text{ m})^{-1}$ entre les deux axes principaux de polarisation. Dans le cas d'un outil de diagraphie dont la source dipolaire et le détecteur dipolaire sont séparés d'une distance de 3 mètres, la différence de temps entre les deux arrivées de cisaillement polarisées est d'environ 150 μs , ce qui correspond à environ 60 % d'une période complète pour un signal d'onde de cisaillement de 4 kHz. La résolution la plus élevée que l'on peut obtenir dans cette forme de réalisation en utilisant une technique à impulsions classiques, dans laquelle l'émetteur dipolaire émet une impulsion dipolaire, est d'environ 4 μs . Dans la situation décrite ci-dessus, en utilisant un écartement entre

récepteurs de 0,3 mètre, un temps de résolution de $4 \mu\text{s}$ correspond à la détection d'une anisotropie de 2,67 %. Pour augmenter la résolution, on peut utiliser un plus grand écart entre les transducteurs.

5 La commande de l'émetteur dipolaire au moyen d'un générateur d'énergie à onde sinusoïdale, à la place de la technique plus habituelle à impulsions, améliorerait encore la résolution du dispositif, car on peut déterminer les déphasages entre des ondes sinusoïdales monochromati-
10 ques avec plus de précision que celle avec laquelle on peut déterminer l'intervalle de temps entre les arrivées de deux impulsions. La technique de mesure de déphasages entre les ondes sinusoïdales détectées en des emplacements séparés dans un dispositif de diagraphie de puits est bien
15 connue. Un exemple de la précision de phase pouvant être obtenu en utilisant des signaux sinusoïdaux est de 2° , ce qui équivaut à environ $1,4 \mu\text{s}$ pour une onde sinusoïdale de 4 kHz. Comme précédemment, pour un retard de l'onde de cisaillement de $(150 \mu\text{s}/0,3 \text{ m})^{-1}$, un temps de résolution de
20 $1,4 \mu\text{s}$ permet de détecter une anisotropie de 1 % en utilisant un écartement de 0,3 mètre entre les récepteurs. Si le nombre de transducteurs dipolaires (associés chacun à une paire d'éléments vibrants) de chaque unité à récepteur de l'outil selon l'invention (c'est-à-dire l'unité à
25 récepteur R_{D1} de la figure 5) est élevé à 8 ou à 16 (c'est-à-dire si le nombre d'éléments vibrants dans chaque unité est élevé à 16 ou à 32), on obtient une amélioration de la résolution azimutale. Une unité à récepteur à 32 éléments formerait 16 paires de récepteurs dipolaires,
30 avec une orientation angulaire relative de $11,25^\circ$.

Si une plus grande résolution est nécessaire, on peut ajouter une autre unité à récepteur dipolaire, chaque transducteur de cette paire d'unités supplémentaires étant orienté à $5,625^\circ$ par rapport au transducteur
35 correspondant de la paire d'unités décrite dans le

paragraphe précédent. Ce dernier outil, plus complexe, conviendrait à une investigation de formes plus complexes d'anisotropie engendrée, par exemple, par la présence de plus d'un jeu de fractures dans la formation.

5 Dans des formes de réalisation utilisant des signaux acoustiques à ondes sinusoïdales, il peut être souhaitable d'utiliser un signal d'ondes sinusoïdales à balayage de fréquence, ou bien un signal à balayage pseudo-aléatoire, analogue à ceux communément produits par des
10 vibrateurs terrestres sismiques lors d'opérations de prospection sismique, mais travaillant, à cet effet, à des fréquences de diaggraphie (kHz).

 Dans tous les formes de réalisation de l'invention, l'orientation absolue de l'outil peut être
15 déterminée au moyen d'un gyro-compass ou par tout autre moyen classique convenant à cette fin.

 Il va de soi que de nombreuses modifications peuvent être apportées au procédé et au dispositif décrits et représentés sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Procédé destiné à mesurer, au moyen d'au moins un transducteur multipolaire, l'anisotropie azimutale d'une formation traversée par un sondage (20, 37) ayant un
5 axe longitudinal, caractérisé en ce qu'il consiste :

(a) à faire fonctionner un premier transducteur (12) disposé dans le sondage pour générer un premier signal acoustique qui se propage dans la formation à partir de l'intérieur du sondage ;

10 (b) à détecter une arrivée du premier signal acoustique à un second transducteur (14) disposé dans le sondage, au moins l'un des premier et second transducteurs étant un transducteur multipolaire orienté sous un premier angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal du
15 sondage ; et

(c) en un emplacement à l'intérieur du sondage, à détecter une autre arrivée acoustique, l'arrivée détectée à cette étape (c) étant associée à un second angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal du sondage.

20 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le premier signal acoustique est un signal à impulsions.

25 3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le premier signal acoustique est sinusoïdal.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le premier signal acoustique est une onde sinusoïdale à balayage de fréquence.

30 5. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le premier signal acoustique est un signal à balayage pseudo-aléatoire.

35 6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le premier transducteur possède un ordre multipolaire n et est orienté sous ledit premier angle azimutal par rapport à l'axe longitudinal du sondage, et le

second transducteur possède un ordre multipolaire $n+2m$, où $n+2m \geq 0$, et m est un entier.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le premier transducteur est un transducteur multipolaire et l'arrivée détectée à l'étape (c) est associée à un second signal acoustique distinct, en azimut, du premier signal acoustique, le procédé consistant en outre :

(d) à faire fonctionner un troisième transducteur (16) disposé dans le sondage, le troisième transducteur étant un transducteur multipolaire ayant un ordre multipolaire n et étant orienté sous ledit second angle azimutal par rapport à l'axe longitudinal du sondage, afin de générer le second signal acoustique de manière qu'il pénètre en se propageant dans la formation à partir de l'intérieur du sondage.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'arrivée détectée à l'étape (c) est détectée à un quatrième transducteur, possédant un ordre multipolaire $n+2m$ et disposé dans le sondage.

9. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que les premier et troisième transducteurs sont disposés sensiblement au même emplacement le long de l'axe longitudinal du sondage.

10. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que les premier et troisième transducteurs sont des émetteurs quadripolaires et le deuxième transducteur est un détecteur unipolaire.

11. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que les premier et troisième transducteurs sont des émetteurs octopolaires et le deuxième transducteur est un détecteur dipolaire.

12. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le deuxième transducteur est un détecteur multipolaire orienté sous ledit premier angle azimutal par

rapport à l'axe longitudinal du sondage, et l'arrivée détectée à l'étape (c) est détectée par un troisième transducteur ayant un ordre multipolaire $n+2p$ et disposé dans le sondage, p étant un entier et $n+2p > 0$, le troisième
5 transducteur étant orienté sous ledit second angle azimutal par rapport à l'axe longitudinal du sondage et les arrivées acoustiques détectées aux étapes (b) et (c) étant toutes deux des arrivées du premier signal acoustique.

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que le premier transducteur est un
10 transducteur unipolaire et les deuxième et troisième transducteurs sont des transducteurs multipolaires.

14. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que les deuxième et troisième transduc-
15 teurs sont disposés sensiblement au même emplacement le long de l'axe longitudinal du sondage, mais sont orientés sous des angles azimutaux différents par rapport à l'axe longitudinal du sondage.

15. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les arrivées détectées aux étapes (b) et
20 (c) sont toutes deux détectées au deuxième transducteur.

16. Procédé pour mesurer, au moyen d'au moins un transducteur multipolaire, l'anisotropie azimutale d'une formation traversée par un sondage ayant un axe lon-
25 gitudinal, caractérisé en ce qu'il consiste :

(a) à faire fonctionner un premier transducteur (62) disposé dans le sondage de façon à générer un premier signal acoustique qui pénètre en se propageant dans la formation depuis l'intérieur du sondage ;

30 (b) à détecter une arrivée du premier signal acoustique à un deuxième transducteur (64) disposé dans le sondage, au moins l'un des premier et deuxième transduc-
teurs étant un transducteur multipolaire orienté sous un premier angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal du
35 sondage ;

(c) à faire tourner le deuxième transducteur pour l'orienter sous un second angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal du sondage ;

(d) à faire fonctionner le premier transducteur
5 pour générer un second signal acoustique distinct, en azimut, du premier signal acoustique ; et

(e) à détecter l'arrivée du second signal acoustique tandis que le second transducteur est orienté sous ledit second angle d'azimut.

10 17. Procédé pour mesurer l'anisotropie azimutale d'une formation traversée par un sondage (20, 37) qui possède un axe longitudinal, caractérisé en ce qu'il consiste :

(a) à faire fonctionner un premier transducteur
15 (12) ayant un ordre multipolaire n en un premier emplacement le long de l'axe longitudinal afin de générer un signal acoustique qui pénètre en se propageant dans la formation à partir de l'intérieur du sondage ;

(b) à détecter l'arrivée du signal acoustique
20 à un second transducteur (14) disposé dans le sondage, le second transducteur étant un récepteur multipolaire orienté sous un premier angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal et ayant un ordre multipolaire $n+2m$, où m est un élément faisant partie du groupe des entiers et des
25 demi-entiers ; et

(c) en un emplacement à l'intérieur du sondage, à détecter une autre arrivée acoustique, l'arrivée détectée dans cette étape (c) étant associée à un second angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal du sondage.

30 18. Procédé pour mesurer l'anisotropie en azimut d'une formation traversée par un sondage (20, 37) ayant un axe longitudinal, caractérisé en ce qu'il consiste :

(a) à faire fonctionner un premier transducteur
35 (12) ayant un ordre multipolaire n en un premier emplace-

ment le long de l'axe longitudinal afin de générer un signal acoustique qui pénètre en se propageant dans la formation depuis l'intérieur du sondage ;

(b) à détecter une arrivée du signal acoustique
5 à un deuxième transducteur (14) disposé dans le sondage, le deuxième transducteur étant un récepteur multipolaire orienté sous un premier angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal et ayant un ordre multipolaire $n+2m$, où m est un élément du groupe des nombres entiers et demi-entiers ;
10 et

(c) à détecter une arrivée du signal acoustique à un troisième transducteur (16) disposé dans le sondage, le troisième transducteur étant un récepteur multipolaire orienté sous un second angle d'azimut par rapport à l'axe
15 longitudinal et ayant un ordre multipolaire $n+2m$.

19. Procédé selon la revendication 18, caractérisé en ce que le premier transducteur est un émetteur unipolaire et les deuxième et troisième transducteurs sont des récepteurs quadripolaires.

20 20. Procédé selon la revendication 18, caractérisé en ce que les deuxième et troisième transducteurs occupent des parties distinctes, en azimut, d'une unité à récepteur unique (R_{Q1} ou R_{D1}), qui est disposée en un second emplacement espacé, le long de l'axe longitu-
25 dinal, du premier emplacement.

21. Procédé selon la revendication 18, caractérisé en ce que le signal acoustique est un signal à impulsions, et en ce qu'il consiste en outre :

(d) à mesurer l'intervalle de temps entre les
30 temps des arrivées détectées aux étapes (b) et (c).

22. Procédé selon la revendication 18, caractérisé en ce que le signal acoustique est sinusoïdal, et en ce qu'il consiste en outre :

(d) à mesurer la phase relative des arrivées
35 détectées aux étapes (b) et (c).

23. Procédé selon la revendication 20, caractérisé en ce que le signal acoustique est un signal à impulsions et en ce qu'il consiste en outre :

(d) à détecter l'arrivée du signal acoustique à un quatrième transducteur disposé dans le sondage, en un troisième emplacement espacé le long de l'axe longitudinal du deuxième emplacement, le quatrième transducteur étant un récepteur multipolaire orienté sous le second angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal et ayant un ordre multipolaire $n+2m$; et

(e) à mesurer l'intervalle de temps entre les temps des arrivées détectées aux étapes (b) et (d).

24. Procédé pour mesurer l'anisotropie azimutale d'une formation traversée par un sondage (20, 37) ayant un axe longitudinal, caractérisé en ce qu'il consiste :

(a) à faire fonctionner un premier transducteur (12) ayant un ordre multipolaire n dans le sondage pour générer un premier signal acoustique qui pénètre en se propageant dans la formation depuis l'intérieur du sondage ;

(b) à détecter une arrivée du premier signal acoustique à un deuxième transducteur (14) disposé dans le sondage, au moins l'un des premier et deuxième transducteurs étant un transducteur multipolaire et l'ordre multipolaire du deuxième transducteur étant $n+2m$, où m est un entier et $n+2m \geq 0$, et l'arrivée détectée du premier signal acoustique est associée à un premier angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal ;

(c) à faire fonctionner un troisième transducteur (16) ayant un ordre multipolaire $n+2p$, où p est un entier et $n+2p \geq 0$, afin de générer un second signal acoustique qui pénètre en se propageant dans la formation depuis l'intérieur du sondage ;

(d) à détecter une arrivée du second signal acoustique au deuxième transducteur, au moins l'un des deuxième et troisième transducteurs étant un transducteur multipolaire, et l'arrivée détectée du deuxième signal
5 acoustique est associée à un second angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal.

25. Procédé selon la revendication 24, caractérisé en ce que les premier et troisième transducteurs occupent des parties distinctes, en azimut, d'une
10 unité à émetteur disposée en une position unique espacée du deuxième transducteur, le long de l'axe longitudinal.

26. Procédé pour mesurer l'anisotropie azimutale d'une formation traversée par un sondage ayant un axe longitudinal, caractérisé en ce qu'il consiste :

15 (a) à faire fonctionner un émetteur multipolaire rotatif (62) ayant un ordre multipolaire n , où $n > 0$, et orienté sous un premier angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal afin de générer un premier signal acoustique qui pénètre dans la formation en se propageant
20 depuis l'intérieur du sondage ;

(b) à détecter une arrivée du premier signal acoustique à un récepteur (64) disposé dans le sondage, le récepteur ayant un ordre multipolaire $n+2m$, où m est un entier et $n+2m \geq 0$;

25 (c) à faire tourner l'émetteur multipolaire autour de l'axe longitudinal afin de réorienter ledit émetteur sous un second angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal ;

30 (d) après l'étape (c), à faire fonctionner l'émetteur multipolaire pour générer un second signal acoustique qui pénètre en se propageant dans la formation depuis l'intérieur du sondage ; et

(e) à détecter une arrivée du second signal acoustique à un récepteur disposé dans le sondage, ce
35 récepteur ayant un ordre multipolaire $n+2p$, où p est un

entier et $n+2p \geq 0$.

27. Procédé selon la revendication 26, caractérisé en ce que l'émetteur est un émetteur quadripolaire et le récepteur de l'étape (b) est un récepteur unipolaire et est le même récepteur que celui de l'étape (e).

28. Procédé pour mesurer l'anisotropie azimutale d'une formation traversée par un sondage ayant un axe longitudinal, caractérisé en ce qu'il consiste :

10 (a) à faire fonctionner un émetteur acoustique (62) ayant un ordre multipolaire n pour générer un premier signal acoustique qui pénètre en se propageant dans la formation depuis l'intérieur du sondage ;

(b) à détecter une arrivée du premier signal acoustique à un récepteur multipolaire rotatif (64) ayant un ordre multipolaire $n+2m$, où m est un entier et $n+2m \geq 0$, le récepteur étant disposé dans le sondage et étant orienté sous un premier angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal ;

20 (c) à faire tourner le récepteur pour l'orienter sous un second angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal ;

(d) après l'étape (c), à faire fonctionner l'émetteur pour générer un second signal acoustique qui pénètre en se propageant dans la formation depuis l'intérieur du sondage ; et

(e) à détecter une arrivée du second signal acoustique au récepteur.

29. Procédé selon la revendication 28, caractérisé en ce que l'émetteur est un émetteur unipolaire.

30. Dispositif pour mesurer l'anisotropie azimutale d'une formation traversée par un sondage (20, 37), caractérisé en ce qu'il comporte un corps conçu pour être suspendu dans le sondage et ayant un axe longitudinal,

un premier transducteur (12) ayant un ordre multipolaire n ,
monté dans le corps et pouvant générer un premier signal
acoustique qui pénètre en se propageant depuis l'intérieur
du sondage dans la formation, un premier récepteur
5 multipolaire (14) ayant un ordre multipolaire $n+2m$, où n
est un entier non négatif, m est un élément du groupe des
nombres entiers et demi-entiers, et $n+2m>0$, capable de
détecter une arrivée du premier signal acoustique, ce
premier récepteur multipolaire étant monté dans le corps
10 sous un premier angle d'azimut par rapport à l'axe
longitudinal, et un second récepteur multipolaire (16)
ayant un ordre multipolaire $n+2p$, où n est un entier non
négatif, p est un élément du groupe des nombres entiers et
demi-entiers, et $n+2p>0$, ce second récepteur multipolaire
15 étant capable de détecter une arrivée du premier signal et
étant monté dans le corps sous un second angle d'azimut par
rapport à l'axe longitudinal.

31. Dispositif selon la revendication 30,
caractérisé en ce qu'il comporte une unité à récepteur
20 (R_{Q1} , R_{D1}) ayant une dimension longitudinale qui n'est pas
supérieure à la dimension longitudinale approximative du
premier transducteur, les premier et second récepteurs
comprenant des parties distinctes, en azimut, de l'unité à
récepteur.

25 32. Dispositif pour mesurer l'anisotropie
azimutale d'une formation traversée par un sondage (20,
37), caractérisé en ce qu'il comporte un corps conçu pour
être suspendu dans le sondage et ayant un axe longitudinal,
un premier émetteur multipolaire ayant un ordre multi-
30 polaire $n+2m$, où n est un entier non négatif, m est un
élément du groupe des nombres entiers et demi-entiers et
 $n+2m>0$, le premier émetteur multipolaire étant monté dans
le corps sous un premier angle d'azimut par rapport à l'axe
longitudinal et étant capable de générer un premier signal
35 acoustique qui pénètre en se propageant depuis le sondage

dans la formation, un second émetteur multipolaire ayant un ordre multipolaire $n+2p$, où p est un élément du groupe des nombres entiers et demi-entiers et $n+2p>0$, le second émetteur multipolaire étant monté dans le corps sous un
5 second angle d'azimut par rapport à l'axe longitudinal, et étant capable de générer un second signal acoustique qui pénètre en se propageant depuis le sondage dans la formation, et un récepteur ayant un ordre multipolaire n ,
10 émetteur et du second émetteur, le long de l'axe longitudinal, ce récepteur étant capable de détecter des arrivées des premier et second signaux acoustiques.

33. Dispositif selon la revendication 32, caractérisé en ce qu'il comporte une unité à émetteur (D)
15 ayant une dimension longitudinale qui n'est pas supérieure à la dimension longitudinale approximative du récepteur, les premier et second émetteurs multipolaires comprenant des parties distinctes, en azimut, de l'unité à émetteur.

34. Dispositif pour mesurer l'anisotropie
20 azimutale d'une formation traversée par un sondage, caractérisé en ce qu'il comporte un corps (60) conçu pour être suspendu dans le sondage et ayant un axe longitudinal, un premier transducteur (62) ayant un ordre multipolaire m , monté dans le corps et pouvant générer un signal acoustique
25 qui pénètre en se propageant depuis l'intérieur du sondage dans la formation, un second transducteur (64) ayant un ordre multipolaire $n+2m$, où m est un élément du groupe des nombres entiers et demi-entiers et $n+2m>0$, le second transducteur étant monté dans le corps et pouvant détecter
30 une arrivée du signal acoustique, au moins l'un des premier et second transducteurs étant un transducteur multipolaire, et des moyens (66, 68, 70, 72) destinés à faire tourner au moins l'un des premier et second transducteurs en azimut par rapport à l'autre.

35. Dispositif selon la revendication 34, caractérisé en ce que les moyens de rotation comprennent un moteur pas à pas (66 ou 72).

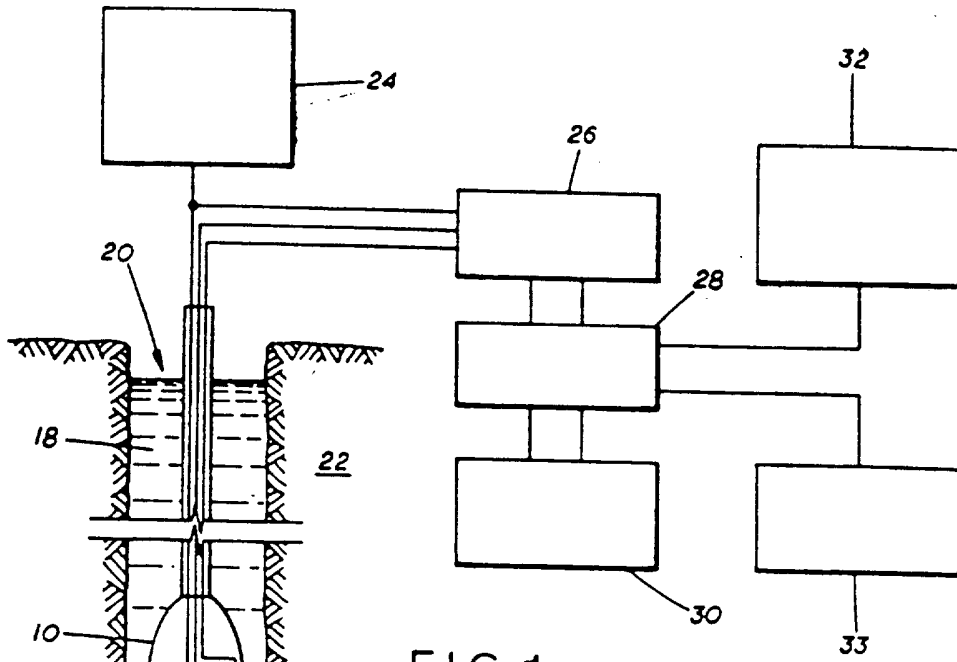


FIG. 1

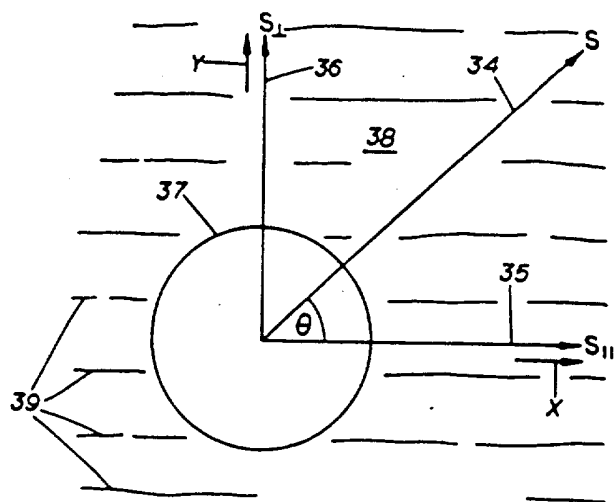
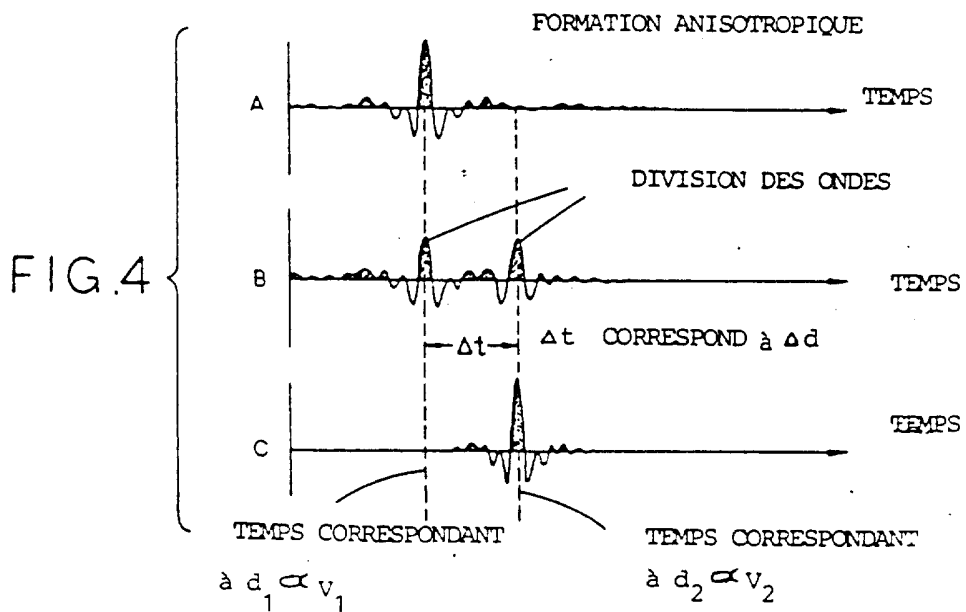
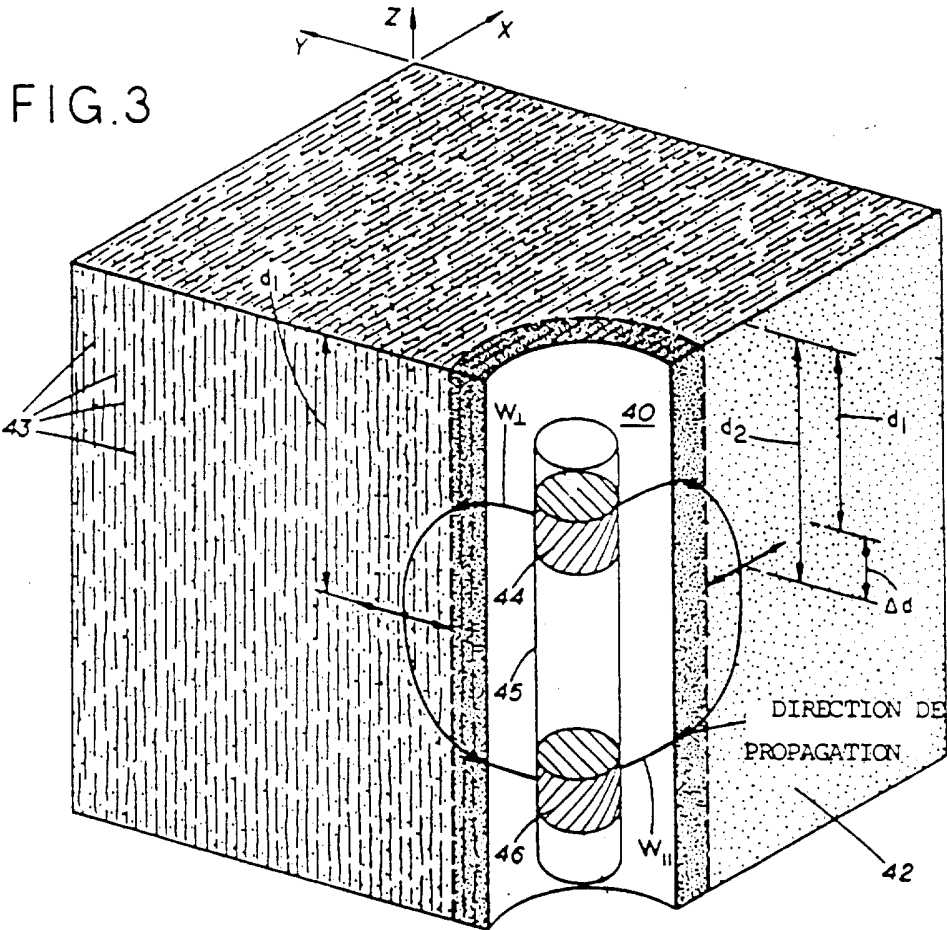


FIG. 2



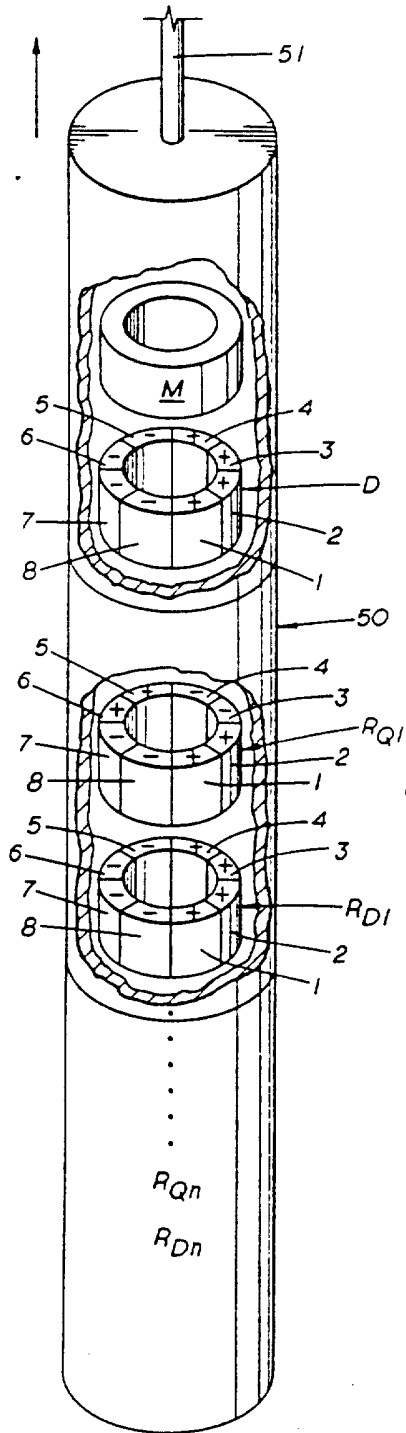


FIG. 5

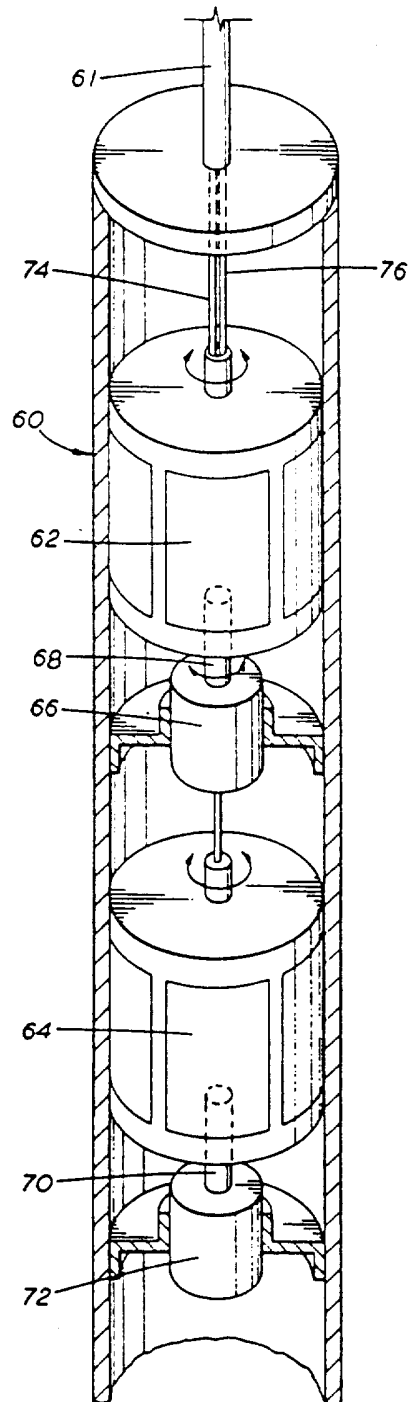


FIG. 6