

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 18672

(54) Procédé d'exploration sismique par diagraphie acoustique.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 01 V 1/28; E 21 B 47/00, 49/00;
G 01 H 5/00; G 01 V 1/40.

(22) Date de dépôt 5 octobre 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 14 du 8-4-1983.

(71) Déposant : Société dite : SOCIETE NATIONALE ELF AQUITAINE (PRODUCTION). — FR.

(72) Invention de : Patricia Arditty, Georges Arens et Philippe Staron.

(73) Titulaire : *Idem* (71)(74) Mandataire : SA Fedit Loriot,
38, av. Hoche, 75008 Paris.

Procédé d'exploration sismique par diagraphie acoustique.

La présente invention concerne un procédé d'exploration sismique par diagraphie acoustique des formations géologiques traversées par un puits de forage.

Les techniques par diagraphie acoustique sont nombreuses et fort connues. En particulier, elles permettent de mesurer les vitesses des ondes acoustiques pour recueillir les informations relatives notamment à la nature et à la porosité des formations géologiques entourant le puits de forage. Pendant longtemps, on a mesuré seulement la vitesse de l'onde de compression. Toutefois, d'autres caractéristiques des ondes acoustiques telles que les vitesses de l'onde de cisaillement et de l'onde de boue ou directe et/ou les atténuations de ces mêmes ondes sont utiles pour parfaire les informations sur lesdites formations.

Une technique de diagraphie acoustique connue consiste à utiliser un système électronique qui détermine le moment où l'amplitude du signal reçu sur un ou plusieurs récepteurs dépasse un certain seuil, lequel moment correspond à l'arrivée sur le récepteur de l'onde émise par un émetteur situé à une certaine distance dudit récepteur.

Un outil de diagraphie acoustique à seuil comprenant un seul émetteur et un seul récepteur présentait le grave inconvénient de limiter la détection à l'onde de compression qui est généralement la première à atteindre le récepteur. Pour cela, on prédéterminait la valeur du seuil suffisamment élevée pour que les autres ondes acoustiques parasites ne soient pas détectées.

Les inconvénients liés à un tel procédé s'étant avérés trop importants, on a proposé d'autres procédés et outils de diagraphie qui permettent de mesurer d'autres paramètres de l'onde acoustique, et également d'éliminer les temps de trajet parasites dans la boue de forage jusqu'à la paroi du puits de forage. De tels dispositifs et procédés sont décrits dans le brevet US 3 302 166 et le brevet

français n° 1 432 012. Les dispositifs décrits dans ces brevets comportent quatre récepteurs couplés deux à deux, les couples de récepteurs étant disposés de part et d'autre d'un émetteur central. En combinant les signaux enregistrés sur les récepteurs on produit un diagramme de la vitesse acoustique dans les formations en fonction de la profondeur à laquelle se trouve l'outil. Comme le réglage de positionnement des couples de récepteurs, à des profondeurs ou cotes très précises, est difficile à réaliser pendant les émissions de l'émetteur et que la mesure d'autres paramètres, tels que la forme de l'onde reçue, son amplitude, etc... ne peut être obtenue par les moyens décrits dans ces brevets, il a été proposé un nouvel outil et un nouveau procédé de diagraphie, décrit par exemple dans le brevet US 4 210 966. Le procédé décrit dans ce brevet consiste essentiellement à émettre un signal à partir d'un émetteur disposé au fond du puits de forage et à enregistrer les signaux reçus sur plusieurs récepteurs disposés d'un même côté de l'émetteur. Chacun des récepteur est réglé sur une valeur de seuil à partir de laquelle les différentes ondes se propageant dans les formations sont reçues et enregistrées. Les différentes traces enregistrées dans les récepteurs sont combinées entre elles au moyen d'une corrélation à quatre termes, de façon que les valeurs de corrélation obtenues soient une fonction de la gamme des valeurs des paramètres de l'onde acoustique. Puis parmi ces différentes valeurs, on choisit celles qui produisent la meilleure corrélation, par exemple celles relatives à un pic d'énergie, ou un pic d'énergie pondéré. Après quoi, pour chaque série de traces, on déterminera la valeur caractéristique de la série. Ce procédé à seuil est appliqué à l'onde de compression, la première reçue sur les récepteurs, puis éventuellement à l'onde de cisaillement en partant de l'hypothèse que le temps de trajet de l'onde de cisaillement dans les formations est compris entre 1,6 et 2 fois le temps de trajet de l'onde de compression ayant traversé lesdites formations. De ce fait,

on utilise la vitesse de l'onde de compression calculée comme précédemment et suivant le procédé à seuil, pour déterminer, à l'aide d'une autre corrélation à quatre termes, la vitesse de l'onde de cisaillement.

5 L'inconvénient majeur d'un tel procédé est, d'une part, celui inhérent à la méthode à seuil, rappelé ci-dessus, et d'autre part, de calculer la vitesse de l'onde de cisaillement à partir de celle de l'onde de compression calculée auparavant. On conçoit alors les risques d'erreurs qui 10 peuvent entacher une telle mesure de la vitesse de l'onde de cisaillement. En outre, les autres types d'ondes comme par exemple les ondes de boue et autres paramètres des ondes acoustiques ne peuvent être mesurés. Enfin, la vitesse relativement importante de déplacement de l'outil 15 (20 m/mn) dans le puits de forage ne permet pas d'obtenir des informations sur de très petites épaisseurs des formations. En fait, avec un tir ou émission toutes les 100 ms, on obtient des informations sur des couches des formations de 3,3 cm.

20 Dans la demande française n° 78 21 226 du 18 juillet 1978 et publiée sous le n° 2 431 710, il est décrit un nouveau procédé de diagraphie acoustique grâce auquel toutes les ondes susceptibles de se propager dans les formations géologiques entourant le puits de forage peuvent 25 être mesurées ainsi que leurs principales caractéristiques. Ce procédé est caractérisé en ce qu'il consiste à chaque émission à enregistrer tous les signaux reçus sur au moins un des récepteurs, à repérer, à l'instant de l'émission et pour chaque enregistrement, les positions respectives 30 du couple émetteur/récepteur qui a donné naissance audit enregistrement, à regrouper tous les enregistrements par paires de telle sorte que dans une paire donnée, les deux trajets acoustiques correspondant aux deux enregistrements de ladite paire présentent d'une part une extrémité commune située à une même cote dans le puits de forage et, d'autre 35 part, une partie non commune située en regard de la couche géologique à laquelle on s'intéresse, et à calculer la

fonction d'intercorrélation pour chaque paire d'enregistrements de manière à obtenir des pics maxima correspondant aux différentes ondes reçues sur les récepteurs. Cela permettait, tout en éliminant les bruits de propagation, 5 de favoriser les maxima de toutes les ondes reçues et se propageant dans les formations autour du puits de forage. Ainsi par rapport au procédé du brevet US 4 210 966, on avait l'avantage de pouvoir mesurer les vitesses de toutes 10 les ondes reçues sur les récepteurs et de réduire le traitement d'intercorrélation à une corrélation à deux termes tout en obtenant un diagramme de vitesse plus précis et plus représentatif des couches géologiques explorées.

Toutefois, l'inconvénient du positionnement exact 15 des récepteurs et des émetteurs à une cote précise n'était pas éliminé. De plus, et du fait du traitement par corrélation, on ne pouvait avoir une redondance d'informations qui permet notamment l'élimination de telle ou telle onde 20 reçue sur les récepteurs.

La présente invention a pour objet un nouveau procédé de traitement des signaux reçus sur les récepteurs à 25 partir duquel les ondes principales telles que onde de compression, onde de cisaillement, onde de boue sont mesurées, le traitement permet également la mesure d'autres paramètres : amplitude, atténuation et ondes secondaires telles qu'ondes de Raleigh.

Le traitement fait appel à une analyse de vitesse connue en soi en sismique mais généralement très peu utilisée en diagraphie acoustique.

A cet effet, le traitement selon l'invention est du 30 type consistant à émettre et à recevoir des ondes acoustiques à l'aide de moyens d'émission et de réception disposés dans ledit puits et définissant entre eux au moins deux trajets acoustiques de longueur différente, à enregistrer lors de chaque émission la totalité des signaux 35 reçus par au moins un des moyens de réception et à repérer, à l'instant de l'émission et pour chaque enregistrement,

les positions respectives du couple émetteur-récepteur qui a donné naissance à la trace enregistrée et à réaliser sur au moins une pluralité desdites traces une analyse de vitesse pour déterminer une valeur approximative du temps de trajet de chaque type d'onde se propageant dans lesdites formations. On reporte sur chaque trace les valeurs approximatives des temps ainsi obtenus de manière à localiser les différents types d'ondes qui apparaissent sur les traces, puis, pour chaque type d'onde d'intérêt, on choisit sur la trace un événement caractéristique de la phase de l'onde d'intérêt, et on détermine le temps correspondant à l'apparition de cet élément caractéristique sur ladite trace de manière à déduire la vitesse réelle de propagation de cette onde dans les couches des formations géologiques comprises entre le couple émetteur-récepteur ayant donné naissance à ladite trace.

On regroupe toutes les traces par paires de telle sorte que, dans une paire donnée, les deux trajets acoustiques correspondant aux deux traces de ladite paire présentent d'une part une extrémité commune située à une même cote dans le puits de forage et, d'autre part, une partie non commune située en regard de chaque couche géologique à laquelle on s'intéresse. On mesure sur chaque paire de traces la différence des temps d'arrivée des éléments caractéristiques choisis pour chaque type d'onde d'intérêt et enfin, on calcule au moyen de cette différence de temps et de l'épaisseur de ladite couche géologique la vitesse de propagation de chaque onde d'intérêt dans cette couche.

Un autre avantage de la présente invention réside dans le fait qu'outre l'enregistrement de tous les signaux reçus sur les récepteurs, il est possible de vérifier la compatibilité des ondes enregistrées sur les traces. En effet, on peut vérifier si sur des traces consécutives ou voisines les ondes de même rang sont ou non de même type.

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront à la lecture de la description donnée ci-dessous à ti-

tre indicatif mais non limitatif ainsi que du dessin annexé sur lequel :

- la figure 1 est une vue en coupe schématique d'un puits de forage traversant des formations géologiques et dans lequel est disposé un outil de diagraphie ;

- les figures 2a à 2d représentent des traces théoriques des signaux enregistrés sur un récepteur ;

- les figures 3a à 3d représentent schématiquement les traces des figures 2a à 2d corrigées pour une valeur v_i de la vitesse ;

- la figure 4 est une représentation schématique de la trace somme des traces corrigées des figures 3a à 3d ;

- la figure 5 est une représentation schématique des vitesses V en fonction de la profondeur dans le puits de forage ;

- la figure 6 est une représentation schématique du diagramme de vitesse obtenu à partir des points médians de la figure 5 ;

- la figure 7 est une représentation de $\frac{\Delta V}{V}$ en fonction de V pour différentes épaisseurs des couches des formations traversées par le puits de forage ;

- la figure 8 est une représentation schématique d'une mesure effectuée au moyen de paires doubles de traces disposées symétriquement par rapport au plan médian d'une couche géologique d'intérêt.

L'outil de diagraphie est introduit dans un puits de forage 1 et comprend des moyens d'émission constitués par un ou plusieurs émetteurs et des moyens de réception constitués par un ou plusieurs récepteurs alignés avec le ou les émetteurs, le produit du nombre d'émetteurs par le nombre de récepteurs étant au moins égal à deux et de préférence égal au nombre de trajets acoustiques différents qu'on souhaite réaliser. Sur la figure 1, il a été représenté un outil de diagraphie comportant quatre émetteurs E_1 à E_4 et douze récepteurs R_1 à R_{12} dont cinq seulement sont référencés. L'outil de diagraphie est suspendu à un câble 2 tiré par un treuil 3, les informations et/ou

signaux provenant des émetteurs et/ou récepteurs étant amenés sur une console 4 par l'intermédiaire dudit câble 2. La console 4 est reliée à des moyens de traitement référencés par le bloc diagramme 5.

5 Dans une réalisation particulière de l'outil de dia-graphie, les récepteurs R_1 à R_{12} sont équidistants entre eux. De même, les émetteurs E_1 à E_4 sont équidistants entre eux. Les distances séparant deux émetteurs consécutifs et/ou deux récepteurs consécutifs peuvent être quelconques.

10 Dans l'exemple représenté, les émetteurs sont distants entre eux de 25 cm, la distance séparant deux récepteurs étant de 1 m et la vitesse de remontée ou de déplacement de l'outil dans le puits de forage étant de 6 m/mn. La commande des organes de l'outil de dia-graphie est effectuée depuis la surface. Les ondes acoustiques émises par les émetteurs E_1 à E_4 suivent chacune un trajet acoustique dans les formations géologiques 6 entourant le puits de forage 1 avant d'être reçues sur les récepteurs R_1 à R_{12} sous forme de signaux enregistrés sur un support approprié/sous la forme d'une trace.

15 Ainsi, l'onde acoustique émise par l'émetteur E_1 suit le trajet 7_1 lorsqu'elle est reçue sur le récepteur R_1 , tandis que les ondes acoustiques émises par les autres émetteurs E_2 à E_4 suivent les trajets 8_1 à 10_1 pour une 20 réception sur le récepteur R_1 . Il en est de même pour les autres récepteurs R_2 à R_{12} ; de ce fait, on a au moins 48 trajets acoustiques différents.

25 Suivant une caractéristique de l'invention les émetteurs E_1 à E_4 sont excités l'un après l'autre de façon à produire une onde acoustique toutes les 100 ms, par exemple. La séquence formée par les quatre émissions successives d'ondes acoustiques sera appelée séquence élémentaire d'émission. La réception de ces quatre émissions sur un même récepteur R_1 par exemple, sera appelée iso-récepteur.

30 Ainsi, pendant une séquence d'émission élémentaire iso-récepteur, les autres récepteurs sont bloqués, c'est-à-dire qu'ils ne reçoivent aucun signal pendant que le récepteur choisi est en fonctionnement.

Pour plus de clarté, on supposera que la séquence élémentaire d'émission est reçue sur le récepteur R_1 , les autres récepteurs R_2 à R_{12} étant alors bloqués. Sur le récepteur R_1 , on reçoit, grâce à une électronique appro-
 5 priée bien connue et qui ne sera pas décrite dans le détail, quatre signaux distincts qui produisent quatre traces origines distinctes 11 à 14, comme celles représentées sur les figures 2a à 2d. Chaque trace origine enregistrée peut être définie par le couple émetteur-récepteur $E_i R_j$ qui lui
 10 a donné naissance, son offset c'est-à-dire la distance $E_i - R_j$, émetteur -récepteur dudit couple et par la côte Z de l'outil dans le puits de forage 1. Sur chaque trace origine apparaissent divers types d'ondes dont il faut déterminer la nature et les caractéristiques propres. On
 15 peut noter que les traces 11 à 14 sont décalées vers la droite sur les figures pour la raison que les émissions ont été effectuées à offset croissant ; de ce fait, les temps de trajet de ces émissions sont différents et augmentent lorsqu'on passe de l'émetteur E_1 à l'émetteur E_4 .

20 Le traitement selon l'invention consiste tout d'abord à corriger chaque trace origine 11 à 14 pour la ramener à un offset identique pour toutes, par exemple égal à zéro. En sismique classique, ceci s'appelle correction statique. Comme les vitesses acoustiques des
 25 ondes se propageant dans les formations géologiques variant entre des limites importantes, on choisit un intervalle de vitesses pour les formations explorées. Dans des essais effectués, on a déterminé que les vitesses desdites ondes étaient entre 1000m/s et 6000 m/s. Sur les traces ainsi corrigées, on effectue une analyse de vitesse. Il est bien entendu que l'analyse de vitesse décrite ci-après n'est nullement limitative et que d'autres analyses de vitesse peuvent être utilisées. Suivant l'invention, pour
 30 chaque trace, on effectue une correction en utilisant un nombre N valeurs de vitesses comprises entre les limites mentionnées et variant par pas linéaire en $\frac{1}{V}$, V étant la vitesse de correction. Dans l'exemple décrit, $N = 50$ et
 35

le pas de correction est

$$\frac{1}{1000} - \frac{1}{6000} = 1,667 \times 10^{-5}$$

50

ce qui donne les vitesses de correction suivantes :

$$1/V_o = \frac{1}{6000} \quad \text{d'où } V_o = 6000 \text{ m/s}$$

5 $1/V_1 = \frac{1}{6000} + 1,667 \cdot 10^{-5} \quad \text{d'où } V_1 = 5476,45 \text{ m/s}$

$$1/V_2 = \frac{1}{6000} + 2 \times 1,667 \cdot 10^{-5} \quad \text{d'où } V_2 = 5010,02 \text{ m/s}$$

et ainsi de suite jusqu'à :

$$1/V_{49} = \frac{1}{6000} + 49 \times 1,667 \cdot 10^{-5} \quad \text{d'où } V_{49} = 1000 \text{ m/s}.$$

10 Selon un premier procédé, on réalise l'analyse de vitesse en iso-récepteur, c'est-à-dire qu'on la réalise sur les quatre traces obtenues à partir des signaux reçus sur un récepteur et provenant des émetteurs E_1 à E_4 .
15 Après correction des quatre traces des figures 2a à 2d en $\frac{1}{V}$, on obtient les traces corrigées correspondantes 21 à 24 représentées sur les figures 3a à 3d. On additionne les traces ainsi corrigées 21 à 24 pour former, pour chaque V_n , une trace somme 25 représentée sur la figure 4. Sur une trace somme, au voisinage de l'origine des temps, on obtient un maximum d'énergie par rapport aux traces somme voisines ; on en déduit que la vitesse V_n qui a produit ce maximum est la vitesse réelle approximative d'un certain type d'onde. Suivant la valeur de la vitesse réelle approximative dans les limites de vitesse imposées (1000 à 6000 m/s), on en déduit la nature de l'onde correspondant à ladite vitesse réelle approximative, compte tenu des études préliminaires relatives à la structure des formations traversées par le puits de forage.

20 A partir de la vitesse déduite de chaque maximum d'énergie, on calcule à l'aide des offset des traces origines et de cette vitesse les temps approximatifs d'arrivée de l'onde définie par l'édit maximum d'énergie sur chaque trace origine. On reporte ces temps approximatifs sur les quatre traces d'origine. Dans l'exemple des figures 2a à 2d, les temps approximatifs d'arrivée de l'onde de compression P, de l'onde de cisaillement S et de l'onde directe ou de boue D dont respectivement T_{p1} à

T_{P4} , T_{S1} à T_{S4} et T_{D1} à T_{D4} .

A partir de ces temps approximatifs d'arrivée des ondes, on note pour chaque type d'onde un ou plusieurs événements caractéristiques de la phase de l'onde à laquelle on s'intéresse (pic, creux, passage à zéro, etc...). Par exemple, pour l'onde de compression de la trace 11, on relève le temps correspondant au pic M le plus proche du temps T_p et le temps correspondant au creux C précédent la temps T_p . On refait la même chose sur les quatre traces et pour chaque type d'onde. On peut également sans difficulté mesurer les amplitudes du signal aux temps approximatifs reportés, ainsi que les fréquences à ces temps et bien d'autres paramètres qui pourraient être utiles pour l'analyse des formations explorées.

L'étape suivante du procédé consiste à regrouper les traces par paires de telle sorte que dans une paire donnée les deux trajets acoustiques présentent une extrémité commune située, au déplacement de l'outil près, à une même cote dans le puits de forage et une partie non commune située en regard de chaque couche géologique à laquelle on s'intéresse. Dans l'exemple représenté, sur les figures/ le regroupement des deux traces 13 et 14 des figures 2c et 2d correspond à des trajets acoustiques différents 9_1 et 10_1 ayant une extrémité commune qui est le récepteur R_1 et une partie non commune correspondant à une couche 15 dont l'épaisseur e est égale à la distance séparant les deux émetteurs E_3 et E_4 , soit 25 cm. On voit donc que les regroupements des traces 11 à 14 permettent d'analyser des couches différentes. Pour la structure de l'outil définie précédemment, on analyse des couches de formation d'épaisseur égale à 25 cm, 50 cm, 75 cm. Plus exactement, l'analyse peut être effectuée sur trois intervalles de 25 cm, deux intervalles de 50 cm et un intervalle de 75 cm. En mesurant sur chaque paire de traces regroupées la différence des temps d'arrivée, on calcule la vitesse de propagation des ondes dans la couche de formation à laquelle on s'intéresse.

Bien évidemment, on peut faire d'autres mesures de paramètres tels que les amplitudes pour en déterminer les atténuations, sur chaque type d'onde. Comme les trajets des ondes dans les formations sont relativement longs, on peut détecter une variation d'amplitude due au coefficient de l'atténuation des formations traversées qu'il serait difficile d'évaluer par les procédé antérieurs utilisant des trajets courts imposés par la distance émetteur-récepteur. En effet, la mesure de l'atténuation est possible par la mesure du rapport des amplitudes des signaux entre deux traces d'offset différents. Ce rapport est d'autant plus significatif que la différence des offset est grande.

La présente invention permet, du fait du grand nombre de traces obtenues, de mesurer pratiquement tous les événements d'intérêt et d'éliminer ceux qui seraient aberrants. Un exemple simple permet de mieux préciser ce point. Supposons que sur une première trace on ait enregistré trois arrivées (P, S et D) et seulement deux arrivées (P et D) ou encore quatre arrivées sur une deuxième trace. Pour éviter de faire des différences de temps, ou des rapports d'amplitude entre l'arrivée S de la première trace et l'arrivée D de la deuxième trace qui ne sont pas de même type, on vérifie que la variation de vitesse que l'on trouve entre deux arrivées relatives à un même type d'onde sur deux traces consécutives ou très proches, ne dépasse pas une certaine valeur de $x\%$ que l'on fixe en fonction des conditions géologiques supposées et connues. Ceci s'appelle vérifier la compatibilité des arrivées et permet un regroupement des arrivées correspondant à un même type d'onde.

Le traitement qui vient d'être décrit pour une séquence élémentaire d'émission est généralisé aux autres séquences élémentaires d'émission qui correspondent à une réception sur le récepteur R_2 , les autres récepteurs R_1 et R_3 à R_{12} étant bloqués. Le traitement global est effectué, toujours pour un outil comprenant quatre émetteurs et douze récepteurs, sur $4 \times 12 : 48$ traces. On voit

donc que l'on a beaucoup plus de valeurs en utilisant des intervalles de 25 cm que de 50 cm ou de 75 cm. De plus, la redondance des informations ainsi obtenues permet de calculer des valeurs relevées sur des paires de traces différentes (couple émetteur-récepteur différent) mais qui caractérisent les mêmes couches de formation géologique.

Les résultats bruts des pointés sur toutes les traces donnent un grand nombre de temps et donc de vitesses relatifs à chaque couche d'intérêt, l'ensemble de ces résultats formant un nuage de points sur lequel on effectue un calcul statistique pour obtenir une courbe représentative aussi nette que possible correspondant au diagramme des vitesses en fonction de la profondeur.

Sur la figure 5 sont représentés des points 26 donnant la vitesse V en fonction de la profondeur Z . On se fixe un nombre Q de points de base pour lequel on calcule le point médian. Dans l'exemple de la figure 5, le nombre de base Q est égal à 5. Le point médian 27 est choisi de manière à avoir deux points 26 situés au-dessus et deux points 26 situés au-dessous. Ce premier point médian 27_1 est la valeur de la médiane des points 26. Le deuxième point médian 27_2 est calculé en prenant Q points 26 à partir du deuxième point 26. Le K ème point médian 27_K représente la valeur de la médiane de Q points pris à partir du point 26 de rang K , c'est-à-dire dans un intervalle de K à $Q + K$, le point médian 27_K étant positionné à la cote médiane en Z des Q points considérés.

Ensuite, sur un nombre de base Q' , différent ou égal à Q , de points médian 27, on fait une moyenne glissante selon la manière décrite ci-dessus à propos du calcul de la médiane glissante. Cela donne sur la figure 6 des points moyens 28 dont l'ensemble définit le diagramme 29 souhaité des vitesses en fonction de la profondeur.

Bien que les hypothèses de base du traitement décrit ci-dessus induisent des erreurs puisqu'elles ne tiennent pas compte du déplacement de l'outil d'une part et des effets de caves d'autre part, on a constaté expérimentalement que le traitement appliqué ci-dessus éliminait

pratiquement les incertitudes induites par ces hypothèses.

Les traces des signaux arrivant sur les récepteurs étant constituées d'informations digitalisées au pas d'échantillonnage de 5 micro-seconde (5 μ s), il y a lieu d'effectuer une correction liée à ce pas d'échantillonnage. La figure 7 représente $\frac{\Delta v}{v}$ en fonction de v en m/s pour différentes épaisseurs e des couches et déduites des calculs suivants :

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta t}{t} \quad \text{avec } \Delta t = 5 \mu\text{s},$$

10 et

$$t = \frac{e}{v} \longrightarrow \frac{\Delta v}{v} = \Delta t \frac{v}{e}$$

on constate que, si la vitesse v est élevée dans une couche, $\frac{\Delta v}{v}$ sera grand pour e petit et faible pour e important. Dans ces conditions, on suréchantillonne mathématiquement en faisant une interpolation entre échantillons, le suréchantillonnage mathématique pouvant être réalisé par la méthode de Lagrange ou la méthode par raccordement parabolique, par exemple.

Tout au long de la description, on a considéré un traitement iso-récepteur, mais on pourrait également faire un traitement iso-émetteur, c'est-à-dire considérer les traces obtenues par l'émission d'une onde acoustique et reçue sur tous les récepteurs. Dans ces conditions, les trajets acoustiques auraient une extrémité commune, l'émetteur et des parties non-communes équivalentes aux distances séparant les récepteurs entre eux. Le choix des groupements des traces pour former des paires dépendra essentiellement de l'épaisseur des couches des formations auxquelles on s'intéressera.

Une autre possibilité offerte par l'invention est un traitement sur toutes les traces obtenues par toutes les émissions et enregistrées sur tous les récepteurs. Les étapes décrites à propos de la séquence élémentaire resteraient valables à la condition de numérotter les traces de manière à pouvoir repérer la cote de l'outil dans le puits de forage et le couple émetteur-récepteur ayant donné naissance à chaque trace.

En réalité, les traces origines ne sont pas aussi nettes que celle représentées sur les figures 2a à 2d mais comportent une succession de pics et de creux qui ne sont pas directement représentatifs de l'énergie. Pour tenir compte de ces événements, on calcule l'enveloppe des traces ; les maxima de ladite enveloppe correspondent alors aux maxima d'énergie. L'enveloppe est calculée par des procédés connus en soi et par exemple au moyen du procédé du signal analytique.

L'analyse de vitesse appliquée sur les enveloppes de la même façon que sur les traces origines présente des avantages particuliers liés au fait essentiellement que l'analyse de vitesse peut être appliquée sur des couches de terrain plus épaisses ou bien comportant des variations internes de vitesse plus élevées. Une épaisseur plus importante de formation prise en compte par l'analyse de vitesse permet de traiter davantage de traces individuelles et d'améliorer très considérablement le rapport signal sur bruit.

Dans chacun des traitements iso-récepteur, iso-émetteur ou pluri-récepteur on peut également compléter ledit traitement en regroupant les paires de traces deux par deux, le nouveau groupement comprenant alors quatre traces et non deux comme cela est décrit précédemment.

La figure 8 montre comment réaliser un tel groupement. Supposons une première paire L de traces et une deuxième paire L_1 de traces dont les trajets acoustiques intéressent la couche 15 et situés au-dessous de ladite couche. Parmi les paires de traces relatives à la couche 15 et situées au-dessus de ladite couche, on groupera une troisième paire L' de traces à extrémité commune S' avec la paire L à extrémité commune S si lesdites extrémités S et S' sont symétriques par rapport au plan médian M de la couche 15. De même, la paire L_1 sera groupée avec la paire L'_1 lorsque les extrémités S_1 et S'_1 sont symétriques par rapport au plan médian M . Par une moyenne des mesures à partir des paires associées telles que L' à extrémité commune S' et L à extrémité commune S , on obtient une

mesure affranchie des effets des trajets dans la boue et des irrégularités de paroi du puits de forage, mesure qui est liée à la distance de l'extrémité commune des trajets acoustiques au plan médian de la couche d'intérêt.

5 Enfin, il est très important de noter que, grâce à la présente invention, la mesure des atténuations combinée à la mesure des vitesses pour les différents types d'onde permet d'obtenir des informations sur les propriétés lithologiques (compositions chimiques) des roches, sédimentologiques, fracturation, contenu en fluide et paramètres pétro-physiques (porosité, perméabilité, compressibilité, etc...)

10

REVENDICATIONS

1 - Procédé d'exploration sismique par diagraphie acoustique des formations géologiques traversées par un puits de forage du type consistant à émettre et à recevoir des ondes acoustiques à l'aide de moyens d'émission et de réception disposés dans ledit puits et définissant entre eux au moins deux trajets acoustiques de longueur différente, à enregistrer lors de chaque émission la totalité des signaux reçus par au moins un des moyens de réception et à repérer, à l'instant de l'émission et pour chaque enregistrement, les positions respectives du couple émetteur-récepteur qui a donné naissance à la trace enregistrée, et à réaliser sur au moins une pluralité desdites traces une analyse de vitesse pour déterminer une valeur approximative du temps de trajet de chaque type d'onde se propageant dans lesdites formations, caractérisé en ce qu'on reporte sur chaque trace les valeurs approximatives des temps ainsi obtenus de manière à localiser les différents types d'ondes qui apparaissent sur les traces, puis pour chaque type d'onde d'intérêt on choisit sur la trace un évènement caractéristique de la phase de l'onde d'intérêt, et on détermine le temps correspondant à l'apparition de cet élément caractéristique sur ladite trace de manière à déduire la vitesse réelle de propagation de cette onde dans les couches de formation géologiques comprises entre le couple émetteur-récepteur ayant donné naissance à ladite trace, et en ce qu'on regroupe toutes les traces par paires de telle sorte que dans une paire donnée les deux trajets acoustiques correspondant aux deux traces de ladite paire présentent d'une part une extrémité commune située à une même cote dans le puits de forage et, d'autre part, une partie non commune située en regard de chaque couche géologique à laquelle on s'intéresse, on mesure sur chaque paire de traces la différence des temps d'arrivée des éléments caractéristiques choisis pour chaque type d'onde d'intérêt et enfin on calcule au moyen de cette différence

de temps et de l'épaisseur de ladite couche géologique la vitesse de propagation de chaque onde d'intérêt dans cette couche.

5 2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'analyse de vitesse est effectuée sur l'ensemble des traces enregistrées sur un même récepteur et produites par les émissions successives des émetteurs.

10 3 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'analyse de vitesse est effectuée sur l'ensemble des traces produites par les émissions d'un même émetteur et enregistrées sur tous les récepteurs.

15 4 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'analyse de vitesse est effectuée sur l'ensemble des traces produites par toutes les émissions enregistrées sur tous les récepteurs.

20 5 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'évènement caractéristique de la phase de l'onde d'intérêt est le maximum d'amplitude du signal enregistré sur la trace ayant un temps voisin du temps approximatif défini à partir de l'analyse de vitesse.

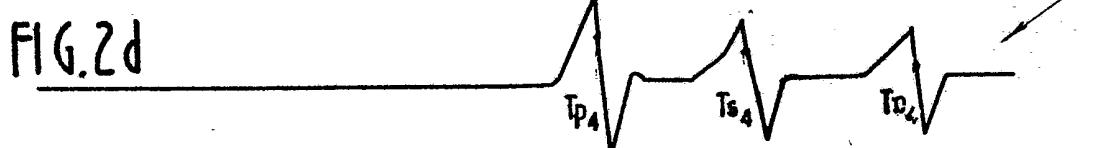
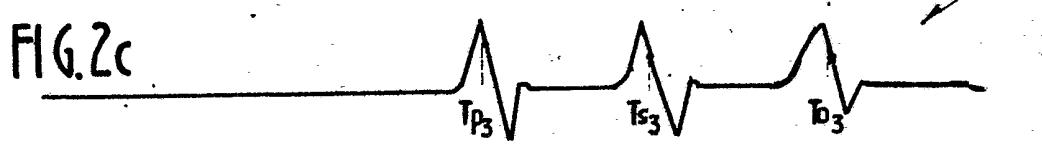
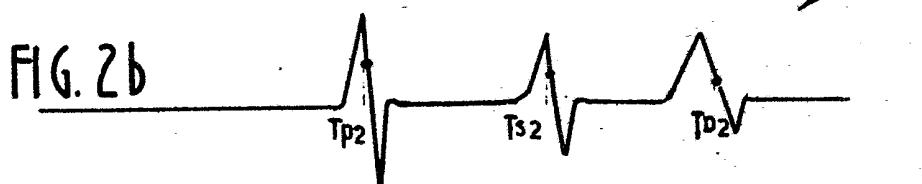
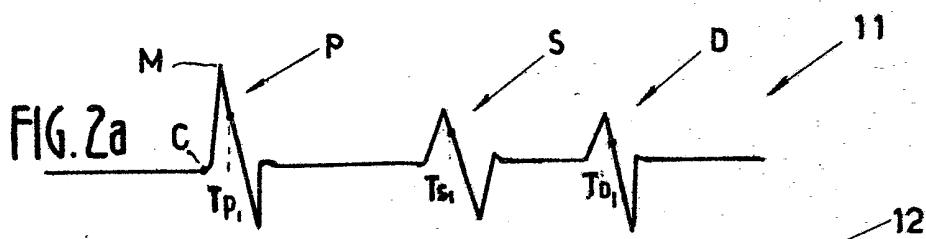
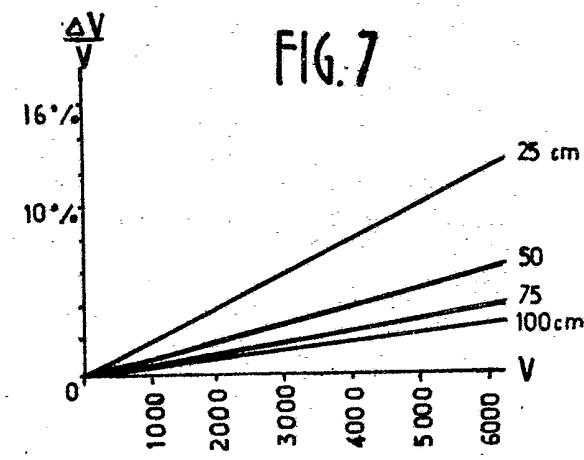
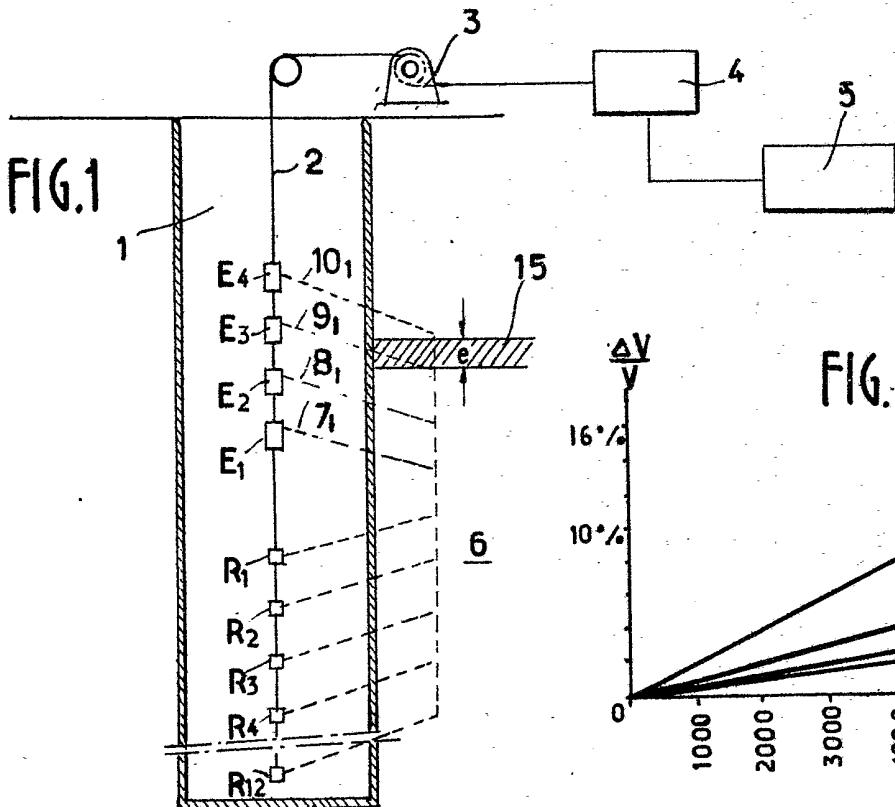
25 6 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'évènement caractéristique de la phase de l'onde d'intérêt est le creux du signal enregistré sur la trace ayant un temps voisin du temps approximatif défini à partir de l'analyse de vitesse.

30 7 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les paires de traces sont groupées deux par deux, de façon que pour chaque double paire ainsi constituée, l'extrémité commune des deux trajets acoustiques d'une paire soit symétrique par rapport au plan médian de la couche géologique de l'extrémité commune des deux trajets acoustiques de l'autre paire.

35 8 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on calcule l'enveloppe des signaux de chaque trace et que l'analyse de vitesse est appliquée sur les enveloppes calculées.

9 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les émissions des ondes acoustiques sont effectuées à offset croissant de manière que les temps de trajet acoustique desdites ondes dans les formations traversées par les puits de forage soient différents et augmentent lorsqu'on passe d'un émetteur à un autre émetteur.

10 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les trajets acoustiques des ondes sont relativement longs pour permettre la mesure de la variation d'amplitude des signaux due au coefficient d'atténuation des formations traversées par le puits de forage, ladite atténuation étant mesurée par le rapport des amplitudes desdits signaux entre deux traces d'offset différent.



2.2

2514152

