

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 26.01.01.

③⑦ Priorité : 27.01.00 US 09492592.

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 03.08.01 Bulletin 01/31.

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

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : HALLIBURTON ENERGY SERVICES
INC—US.

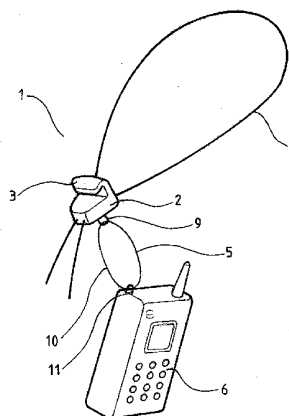
⑦② Inventeur(s) : BITTAR MICKAEL.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : ARMENGAUD AINE.

⑤④ DETECTION DE LIMITE DE GISEMENT ET PROFILAGE D'INVASION PAR DES CAPTEURS DE RESISTIVITE A ONDES ELECTROMAGNETIQUES NON-COMPENSEES.

⑤⑦ Un outil à résistivité et un procédé associé mettent en oeuvre la mesure du déphasage d'un signal électromagnétique en différents emplacements. De préférence, ceci est réalisé à l'aide d'un outil à résistivité doté de trois récepteurs. La différence des déphasages aux différents emplacements indique avec précision la profondeur dans un trou de forage d'une limite de gisement. L'outil à résistivité préféré produit également une résolution radiale améliorée.



5

10

15 **Détection de limite de gisement et profilage d'invasion par des capteurs de
résistivité à ondes électromagnétiques non-compensées**

20

25

ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

En forant un trou de forage souterrain, tel que pour la récupération d'hydrocarbures
ou pour d'autres applications, une pratique conventionnelle consiste à connecter une
30 tête de forage sur l'extrémité inférieure d'un ensemble de section de tubes de forage
qui sont connectés bout à bout de façon à former un « train de forage ». La figure 1
présente une installation de forage ayant un derrick 10 à la surface 12 d'un puits,
supportant un train de forage 14. Le train de forage comprend un ensemble de fond

- supportant un train de forage 14. Le train de forage comprend un ensemble de fond de puits 26 (appelé communément « BHA ») couplé à l'extrémité inférieure du train de forage 14. Le BHA comprend le trépan ou tête de forage 32, qui tourne pour forer le trou de forage. Pendant qu'agit la tête de forage 32, un fluide ou boue de forage est pompé depuis un puits à boue 34 à la surface dans le tube de forage 24 jusqu'à la tête de forage 32. Après s'être écoulée à travers la tête de forage 32, la boue de forage s'élève pour retourner vers la surface où elle est récupérée et remplacée dans le puits de boue 34 pour décantation.
- 10 Les opérations modernes de forage demandent une grande quantité d'informations concernant les paramètres et conditions rencontrées au fond du puits pour permettre au foreur de modifier la direction de forage afin de trouver ou de se maintenir dans des formations renfermant des quantités suffisantes d'hydrocarbures. Ces informations comprennent typiquement des caractéristiques des formations géologiques traversées par le trou du puits, en plus de données concernant la taille et la configuration du trou de forage lui-même. La collecte d'informations concernant des conditions au fond du puits, appelée communément « enregistrement », peut être effectuée suivant plusieurs procédés.
- 15 L'enregistrement est connu dans l'industrie depuis de nombreuses années comme une technique pour fournir des informations concernant les formations géologiques particulières rencontrées au cours d'un forage. Pour un enregistrement conventionnel sur un puits pétrolier à ligne câblée, une sonde est abaissée dans le trou de forage, après qu'une partie ou la totalité du puits a été forée, et est utilisée pour déterminer certaines caractéristiques des formations traversées par le trou de forage. La sonde peut comprendre un ou plusieurs capteurs pour mesurer des paramètres au fond du puits et elle est typiquement fabriquée en tant que cylindre d'acier hermétiquement fermé pour loger les capteurs qui pend à l'extrémité d'un long câble ou « ligne câblée ». Le câble ou la ligne câblée fournit un support mécanique à la sonde et fournit également une connexion électrique entre les capteurs et les instruments associés à l'intérieur de la sonde et l'équipement électrique disposé à la surface du puits. Normalement, le câble alimente en énergie la sonde et est utilisé comme conducteur électrique pour transmettre des signaux d'information de la sonde jusqu'à la surface et des signaux de commande de la surface jusqu'à la sonde. Suivant les

techniques conventionnelles, divers paramètres des formations géologiques sont mesurés et corrélés avec la position de la sonde dans le trou de forage, lorsque la sonde est retirée par le haut du puits.

- 5 Bien que l'enregistrement par ligne câblée soit utile pour l'assimilation d'informations concernant les formations au fond du puits, il présente néanmoins certains inconvénients. Par exemple, avant que l'outil d'enregistrement à ligne câblée puisse être mis en fonction dans le trou de forage, l'ensemble de train de forage et de fond de puits doit d'abord être retiré du trou de forage, avec pour résultat un coût
- 10 considérable et une perte de temps de forage pour le foreur (qui paye typiquement un loyer quotidien pour la location de l'équipement de forage). De plus, puisque les outils à ligne câblée sont incapables de collecter des données durant l'opération de forage effectif, la compagnie de forage doit de temps en temps prendre des décisions (telles que la direction de forage) éventuellement sans informations suffisantes, ou
- 15 risque autrement d'avoir à assumer le coût du retrait du train de forage pour faire passer un outil d'enregistrement en vue de collecter davantage d'informations concernant les conditions au fond du puits. En outre, puisque l'enregistrement à ligne câblée a lieu une période de temps relativement longue après que le trou de forage a été foré, la précision de la mesure à ligne câblée peut être compromise. Comme le
- 20 comprendra l'homme de l'art, les conditions dans le puits de forage tendent à se dégrader lorsque des fluides de forage envahissent la formation au voisinage du trou de forage. En conséquence, un outil à résistivité utilisé un ou plusieurs jours après qu'une section de trous de forage a été forée peut produire des mesures influencées par la résistivité de la boue qui a envahi la formation. En outre, la forme du trou de
- 25 forage peut commencer à se dégrader, réduisant la précision des mesures. Ainsi, en général, plus les conditions de formation peuvent être mesurées tôt, plus la lecture à de chances d'être précise. En outre, dans certains puits, tels que des puits horizontaux, des outils à ligne câblée ne peuvent pas être utilisés.
- 30 A cause de ces limitations associées à l'enregistrement à ligne câblée, il existe une demande croissante de développer des outils pouvant collecter des données durant le processus de forage lui-même. En collectant et en traitant des données ainsi qu'en les transmettant à la surface en temps réel (ou quasiment en temps réel), pendant le

forage du puits, le foreur peut analyser plus précisément la formation environnante, et peut également apporter des modifications ou des corrections, si nécessaires, pour optimiser les performances du forage. Avec un système conductible, le foreur peut modifier la direction de progression de la tête de forage. En détectant les limites d'un gisement adjacent, on peut réaliser des ajustements pour maintenir la tête de forage dans une couche ou région renfermant du pétrole. En outre, la mesure des paramètres de formation durant le forage, et heureusement avant l'invasion de la formation augmente l'utilité des données mesurées. De plus, effectuer des mesures de la formation et du trou de forage durant le forage permet de réaliser des économies en termes de temps de derrick qui autrement serait nécessaire pour faire passer un outil à ligne câblée.

Les conceptions pour mesurer les conditions au fond du puits et le déplacement et la position de l'ensemble de forage, de façon quasi simultanée au forage du puits, sont appelées des techniques de « mesure pendant le forage » ou « MPF ». Des techniques similaires, se concentrant davantage sur la mesure de paramètres de la formation du type associé aux outils à ligne câblée, sont appelées des techniques de « enregistrement pendant le forage » ou « EPF ». Bien que des distinctions entre MPF et EPF puissent exister, les termes MPF et EPF sont souvent utilisés de façon interchangeable. Pour la présente description, le terme EPF sera utilisé de façon générique en signifiant des systèmes qui collectent des paramètres de la formation soit seuls soit en combinaison avec la collecte d'informations concernant la position de l'ensemble de forage.

La mesure des propriétés de la formation durant le forage du puits par des systèmes EPF améliore ainsi le degré d'actualité des données mesurées et donc augmente l'efficacité des opérations de forage. Typiquement, des mesures EPF sont utilisées pour fournir des informations concernant la formation particulière que le trou de forage croise. Actuellement, des capteurs ou outils d'enregistrement utilisés communément comme faisant partie d'un système à ligne câblée ou EPF comprend des outils à résistivité. Pour qu'une formation contienne des hydrocarbures et autorise les hydrocarbures à s'écouler à travers elle, la roche constituant la formation doit présenter certaines caractéristiques physiques bien connues. Une caractéristique

est que la formation possède une certaine résistivité mesurable (l'inverse de la conductivité). Cette résistivité peut être déterminée en envoyant un signal en ondes électromagnétiques à une fréquence particulière qui se propage dans la formation. Comme le comprendra l'homme de l'art, une onde progressant d'un point A à un point B à travers une formation est atténuée et voit sa phase décalée proportionnellement à la conductivité de la formation. L'analyse de cette atténuation et de ce déphasage fournit la résistivité de la formation entourant l'outil à résistivité, qui peut alors être utilisé en combinaison avec l'autre mesure pour déterminer si la formation produira des hydrocarbures.

10

Ordinairement, un puits est foré verticalement sur au moins une partie de sa profondeur finale. Les couches, strates, ou « gisements » qui constituent la croûte terrestre sont généralement sensiblement horizontaux. Par conséquent, au cours d'un forage vertical, le puits est sensiblement perpendiculaire aux formations géologiques qu'il traverse. Une variation brusque de la résistivité mesurée par un outil à résistivité indique généralement la présence d'une limite de gisement entre couches. Par exemple, dans une formation dite « schisteuse » sans hydrocarbure, la formation schisteuse présente une résistivité très basse. Au contraire, un gisement de grès saturé de pétrole a des chances de présenter une résistivité beaucoup plus élevée.

20

La figure 2 montre un outil conventionnel 220 à résistivité, faisant partie d'un ensemble de fond de puits. Un trou de forage 200 est foré à travers la formation 205 et contient un train de forage 210. Une tête de forage 215 est fixée au train de forage 210. L'outil à résistivité comprend une antenne d'émission en boucle T_x émettant des signaux électromagnétiques dans la formation. L'outil à résistivité comprend également une paire d'antennes en boucle, R_1 et R_2 , disposées à des distances prédéterminées de l'émetteur. L'émetteur T_x génère une onde électromagnétique (EM) 255 à une fréquence sélectionnée qui est reçue par les récepteurs R_1 et R_2 après avoir progressé à travers la formation 205. Il en résulte des premier et deuxième signaux aux récepteurs. Le rapport d'amplitude et la différence de phase des ondes EM peuvent être mesurés et on peut en dériver une mesure de résistivité pour une profondeur particulière. Ainsi, l'outil indique la présence d'une limite de gisement par une variation rapide de la valeur des mesures de résistivité.

30

La figure 3 montre un enregistrement à résistivité de profondeur, tel qu'il a été effectué pour un échantillon de trou de forage par un outil conventionnel à résistivité, tel que celui représenté sur la figure 2. Le long de l'axe des x, les mesures de résistivité s'étalent entre 0,2 et 200 Ohms. Le long de l'axe des y, les lectures de profondeur s'étalent d'environ 308 mètres à environ 317 mètres (1010 à 1040 pieds). Entre une profondeur « A » d'environ 310 mètres (1018 pieds) et une profondeur « B » d'environ 312 mètres (1023 pieds), la résistivité mesurée s'élève sensiblement, indiquant la présence d'une limite de gisement quelque part entre ces profondeurs. Cependant, bien que l'outil à résistivité qui a effectué ces mesures indique une limite de gisement quelque part entre la profondeur « A » et la profondeur « B », la profondeur exacte de la limite de gisement est vague. La meilleure approximation pour cette profondeur de limite de gisement est appelée le « point d'inflexion ».

Le manque de résolution concernant la profondeur des limites de gisement est particulièrement fâcheux lors de forage à travers une série de gisements relativement minces. La figure 4 est un graphe de la résistivité suivant la profondeur, mesurée pour un puits échantillon ayant de nombreux gisements minces voisins de résistivités variables. Le long de l'axe des x, les mesures de résistivité s'étalent entre 0,2 et 200 Ohms. Le long de l'axe des y, une lecture de la profondeur s'étale d'environ 306 mètres à environ 315 mètres (1005 à 1035 pieds). Entre une profondeur d'environ 310 mètres et environ 315 mètres (1018 et 1032 pieds) se trouvent de nombreux gisements minces de résistivités variables. Cependant, puisque la résolution verticale de l'outil conventionnel à résistivité est faible, il est extrêmement difficile d'établir avec une certaine précision la profondeur exacte de chaque limite de gisement. En outre, même si une profondeur de limite de gisement peut être déterminée, le fait que l'outil pénètre un gisement de résistivité inférieure ou supérieure reste vague.

Un autre problème de l'outil conventionnel à résistivité est son incapacité à mesurer des résistivités profondément à l'intérieur de la formation entourant le trou de forage. En règle générale, il est souhaitable que l'outil à résistivité effectue des mesures à des profondeurs multiples dans la formation autour du trou de forage entre la paire d'émetteurs et de récepteurs. Ceci est appelé la résolution radiale de l'outil. En se référant à la figure 5, le premier et plus proche diamètre d'investigation par rapport à

l'outil à résistivité est la région à l'intérieur du trou de forage à travers laquelle la boue de forage s'écoule en retournant à la surface. Si la résistivité de cette région est mesurée à l'intérieur du trou de forage (autour de l'outil lui-même), une valeur de résistivité sera obtenue qui réalise généralement une approximation de la résistivité de la boue de forage R_m . Ce diamètre d'investigation peut être appelé D_m , pour indiquer que celui-ci représente une profondeur d'investigation qui produit une lecture de résistivité de la boue de forage. La région générale suivante d'investigation est la région dans la formation environnante qui a été envahie par la boue de forage. Ce diamètre d'investigation peut être appelé D_i , puisqu'une mesure de résistivité dans cette région produit une valeur de résistivité d'environ R_{xo} , qui est la résistivité de la zone envahie. La troisième région d'investigation pour un outil à résistivité est la formation qui n'a pas été envahie par la boue de forage. Une mesure de résistivité de cette région produira la valeur vraie de résistivité de la formation, R_t . Comme le comprendra l'homme de l'art, les diamètres d'investigation D_m et D_i varient selon de nombreux facteurs, comprenant la position de l'outil dans le trou de forage, les caractéristiques de la formation et de la boue de forage, le temps écoulé depuis le forage de cette partie du puits, et autres. Bien que les informations concernant R_m et R_{xo} soient utiles à des fins d'évaluation, un des buts de l'outil à résistivité est de mesurer la résistivité vraie de la formation R_t . Il est donc important de concevoir l'outil à résistivité afin qu'il présente des profondeurs suffisantes d'investigation pour mesurer cette résistivité. Idéalement, cet outil mesurerait également, à de nombreuses profondeurs radiales variables, la résistivité de R_m , R_{xo} et R_t .

Pour améliorer les données de résistivité radiale, il est connu d'ajouter des émetteurs à l'outil à résistivité. La figure 6 présente un outil à résistivité 600 comprenant un premier émetteur T_1 à l'emplacement axial 610, un deuxième émetteur T_2 à l'emplacement axial 620, un troisième émetteur T_3 à l'emplacement axial 630, un quatrième émetteur T_4 à l'emplacement axial 640, un premier récepteur R_1 à l'emplacement axial 650 et un deuxième récepteur R_2 à l'emplacement axial 660. Le premier, le deuxième, le troisième et le quatrième émetteurs sont chacun espacés de 20,32 centimètres (8 pouces) l'un de l'autre. Le premier récepteur R_1 est espacé de 20,32 centimètres (8 pouces) du premier émetteur T_1 . Le deuxième récepteur R_2 est espacé de 20,32 centimètres (8 pouces) du premier récepteur R_1 . Le point de mesure

655 est à mi-distance entre le premier récepteur R_1 et le deuxième récepteur R_2 . Ainsi, le premier, le deuxième, le troisième et le quatrième émetteurs sont à 30,48 cm, 50,8 cm, 71,12 cm et 91,44 cm (12, 20, 28 et 36 pouces) du point de mesure 655, respectivement. La figure 7 est un graphe de la résistivité de la profondeur d'invasion montrant des courbes de données qui pourraient être obtenues avec l'outil à résistivité à quatre émetteurs de la figure 6. Ces courbes de données correspondent à des espacements entre émetteurs et point de mesure de 30,48 cm, 50,8 cm, 71,12 cm et 91,44 cm (12, 20, 28 et 36 pouces). Cette quantité de données n'indique néanmoins pas le degré voulu de résistivités de la formation entourant le trou de forage.

Il serait souhaitable de développer un outil ou procédé à résistivité pouvant déterminer avec précision la profondeur exacte de limites de gisements. Idéalement, un tel outil ou une telle méthode pourrait également indiquer si l'outil à résistivité pénètre une couche de résistivité supérieure ou inférieure, même lorsque de nombreux gisements minces sont voisins les uns des autres. En outre, il est souhaitable qu'un tel outil à résistivité puisse obtenir une quantité accrue de données concernant les résistivités radiales entourant le trou de forage.

RESUME DE L'INVENTION

Un mode de réalisation préféré de la présente invention met en œuvre un outil de mesure pour enregistrement pendant le forage comprenant un premier émetteur capable de générer un signal, un premier récepteur, un deuxième récepteur et un troisième récepteur, le premier et le deuxième récepteurs définissant un premier emplacement de mesure correspondant à un premier décalage de phase pour le signal et les deuxième et troisième récepteurs définissant un deuxième emplacement de mesure correspondant à un deuxième décalage de phase pour le signal, et un processeur prenant en compte les premier et deuxième décalages de phase pour localiser une variation de résistivité au voisinage du deuxième emplacement de mesure. De préférence, cette prise en compte signifie effectuer la différence entre les premier et deuxième décalages de phase. Cet outil peut établir s'il pénètre une région de résistivité relativement élevée ou une région de résistivité relativement basse.

La présente invention peut également être décrite comme un procédé pour déterminer des limites de gisement dans une formation multicouches, comprenant la mesure du déphasage d'un signal en progression à un premier emplacement, la mesure d'un déphasage de ce signal en progression à un deuxième emplacement et la prise en
5 compte du premier déphasage et du deuxième déphasage afin de déterminer si le premier emplacement correspond à une résistivité différente de celle du deuxième emplacement.

Ainsi, les modes de réalisation de la présente invention comprennent une
10 combinaison de particularités et avantages lui permettant de dépasser divers problèmes des dispositifs antérieurs. Les diverses caractéristiques décrites ci-dessus, de même que d'autres particularités, apparaîtront à l'homme de l'art à la lecture de la description détaillée suivante des modes de réalisation préférés de l'invention, effectuée en se référant aux dessins annexés.

15

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

Pour une description plus détaillée du mode de réalisation préféré de la présente invention, on se référera maintenant aux dessins annexés, dans lesquels :

20

La figure 1 est un exemple représentant un système de forage.

La figure 2 est un schéma d'un premier outil à résistivité de la technique antérieure.

La figure 3 est un enregistrement résistivité / profondeur à point d'inflexion d'une première formation.

25 La figure 4 est un enregistrement résistivité / profondeur à point d'inflexion d'une deuxième formation.

La figure 5 montre la signification des mesures de résistivité obtenues à différentes profondeurs radiales d'investigation.

La figure 6 est un schéma d'un deuxième outil à résistivité de la technique antérieure.

30 La figure 7 est un graphique résistivité / profondeur d'invasion suivant l'outil de la figure 6.

La figure 8 est un schéma d'un premier outil à résistivité selon l'invention.

La figure 9 est un premier enregistrement $\Delta\varnothing_4$ comparé à l'enregistrement correspondant à point d'inflexion.

La figure 10 est un deuxième enregistrement $\Delta\varnothing_4$ comparé à l'enregistrement correspondant à point d'inflexion.

5 La figure 11 est un troisième enregistrement $\Delta\varnothing_4$ comparé à l'enregistrement correspondant à point d'inflexion.

La figure 12 est un deuxième outil à résistivité selon l'invention.

La figure 13 est un graphique résistivité / profondeur d'invasion suivant l'outil de la figure 12.

10 La figure 14 est un organigramme d'un procédé selon l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DU MODE DE REALISATION PREFERE

La figure 8 représente un outil à résistivité 800, comprenant au moins un premier
15 émetteur T_1 à l'emplacement axial 810, un premier récepteur R_1 à l'emplacement axial 820, un deuxième récepteur R_2 à l'emplacement axial 830 et un troisième récepteur R_3 à l'emplacement axial 840. Un premier point de mesure 825 est situé à mi-distance entre les récepteurs R_1 et R_2 . Un deuxième point de mesure 835 est situé à mi-distance entre les récepteurs R_2 et R_3 . L'outil à résistivité 800 peut également
20 comprendre, en variante, des émetteurs supplémentaires. A un endroit quelconque approprié, sont également inclus des circuits électroniques associés 850. Ces circuits électroniques peuvent comprendre des circuits pour actionner l'émetteur T_1 à une ou plusieurs fréquences particulières, des circuits pour détecter le signal résultant à chaque émetteur, un processeur de fond de puits et de la mémoire pour mémoriser les
25 formes d'ondes détectées. Les émetteurs et récepteurs peuvent, de façon appropriée, être constitués de fils ou enroulements incorporés autour de l'extérieur d'un train de forage, comme cela est bien connu, mais peuvent également se trouver à un autre endroit quelconque approprié. Un tel outil à résistivité est adapté à être placé au fond du puits durant le forage et est de préférence un outil EPF. Une flèche indiquée
30 « fond de puits » est également représentée pour aider à la compréhension de ce mode de réalisation.

Durant le fonctionnement, l'émetteur T_1 génère une onde EM à une ou plusieurs fréquences, qui se déplace à travers la formation environnante et ce jusqu'aux récepteurs R_1 , R_2 et R_3 . Le signal généré par l'émetteur T_1 subit donc une atténuation et un déphasage à mesure qu'il progresse depuis l'émetteur T_1 à travers la formation.

5 En particulier, le signal EM subit une atténuation et un déphasage séparés et mesurables par rapport aux points de mesure correspondant à chaque paire de récepteurs R_1 , R_2 et R_2 , R_3 . Ainsi, le signal émis subit une première atténuation et un premier déphasage correspondant au premier point de mesure 825 et subit une deuxième atténuation et un deuxième déphasage correspondant au deuxième point de mesure 835. Le premier déphasage est appelé $\Delta\phi_1$. Le deuxième déphasage est appelé $\Delta\phi_2$. Un processeur ou microprocesseur associé des circuits électroniques 850 peut trouver un déphasage $\Delta\phi_3$ correspondant à un emplacement à mi-distance entre les points de mesure 825 et 835. Ce déphasage peut être obtenu à partir de l'équation :

$$15 \quad \Delta\phi_3 = \frac{\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2}{2} \quad (1)$$

Comme on le connaît dans la technique antérieure, un déphasage unique peut être utilisé pour déterminer la résistivité de la formation en un seul emplacement voisin du point milieu entre les deux récepteurs. La résistivité de la formation correspondant aux emplacements 825, 830 et 835 peut donc être déterminée par l'homme de l'art.

En outre, $\Delta\phi_1$ et $\Delta\phi_2$ peuvent être utilisés pour déterminer avec précision l'emplacement de la limite de gisement. Si la différence de déphasages, $\Delta\phi_4$, est définie par :

$$25 \quad \Delta\phi_4 = \Delta\phi_2 - \Delta\phi_1 \quad (2)$$

alors la variation de phase $\Delta\phi_4$ a une valeur faible dans une formation homogène, mais une valeur importante au niveau d'une limite de gisement. Une variation abrupte de $\Delta\phi_4$ correspond donc à une profondeur exacte de limite de gisement.

30

La figure 14 est un organigramme de ce procédé. A l'étape 1400, une première différence de phase est mesurée pour un signal progressant depuis un émetteur à travers une formation. A l'étape 1410, une deuxième différence de phase est mesurée

en un emplacement différent pour ce signal en progression à travers la formation. A l'étape 1420, la valeur $\Delta\varnothing_4$ est trouvée en soustrayant $\Delta\varnothing_1$ de $\Delta\varnothing_2$. On comprendra évidemment qu'une valeur tout aussi utile que $\Delta\varnothing_4$ pourrait être trouvée en soustrayant $\Delta\varnothing_2$ de $\Delta\varnothing_1$. A l'étape 1430, la valeur de $\Delta\varnothing_4$ est surveillée afin de
 5 déceler une variation abrupte. Lorsqu'une variation abrupte se produit, une limite de gisement est indiquée à l'étape 1450.

Si cette valeur de $\Delta\varnothing_4$ est trouvée au fond du puits par un processeur associé, par exemple, ces données peuvent être transmises à la surface par des dispositifs
 10 appropriés tels qu'une sirène à boue ou autres dispositifs adéquats. A la surface, les données peuvent être utilisées rapidement pour arrêter ou modifier la direction de forage. En variante, les données peuvent être mémorisées au fond du puits, elles peuvent être traitées en haut du puits, une partie des données (telle que la présence d'une limite de gisement) peut être transmise en haut du puits tandis que le restant est
 15 mémorisé au fond du puits, où celles-ci peuvent être manipulées autrement.

La figure 9 est un graphe de $\Delta\varnothing_4$ pour une section verticale d'environ 3 mètres (10 pieds) du puits. Le long de l'axe des x est portée une plage de différences de phase allant de $-15,0^\circ$ à $+15,0^\circ$. Les profondeurs portées sur l'axe des y s'étalent
 20 d'environ 308 mètres à environ 318 mètres (1010 à 1045 pieds environ). Sur la figure 9, le graphe de $\Delta\varnothing_4$ est placé à côté de l'enregistrement à point d'inflexion de la figure 3. Contrairement à un enregistrement conventionnel à point d'inflexion comme celui de la figure 3, le graphe de $\Delta\varnothing_4$ présente des courbes aiguës bien définies correspondant aux profondeurs de limites de gisement. Ainsi, les pointes
 25 positives et négatives de $\Delta\varnothing_4$ à quasiment 311, 312,5, 314 et 315,5 mètres (1020, 1025, 1030 et 1035 pieds) indiquent des limites de gisement précisément à ces profondeurs. De plus, la variation importante de phase négative à exactement 311 mètres (1020 pieds) indique la pénétration du récepteur R3 dans un gisement à résistivité élevée. La variation importante de phase positive à exactement 312,5
 30 mètres (1025 pieds) indique que l'outil à résistivité quitte la couche de résistivité élevée et pénètre dans une couche de résistivité basse. Ainsi, l'outil non seulement mesure avec précision la profondeur de la limite de gisement mais indique également

s'il pénètre ou quitte une région de résistivité élevée telle qu'une couche de grès saturée de pétrole.

La figure 10 est un enregistrement des mesures de $\Delta\varnothing_4$ de la même formation à gisement multicouches que celle enregistrée sur la figure 4. Le long de l'axe des x est portée la différence de phase s'étalant de $-15, 0^\circ$ à $+15,0^\circ$. Sur l'axe des y sont portées les profondeurs s'étalant d'environ 306 à environ 315,5 mètres (1005 à 1035 pieds). A des fins de comparaison, l'enregistrement correspondant à point d'inflexion de la figure 4 est disposé au voisinage de l'enregistrement de $\Delta\varnothing_4$. Avec l'enregistrement conventionnel à point d'inflexion de la figure 4, il est extrêmement difficile de déterminer avec une certaine précision la profondeur exacte d'une limite de gisement. Comme on peut le voir sur la figure 9, contrairement à un enregistrement conventionnel à point d'inflexion, l'enregistrement de $\Delta\varnothing_4$ indique clairement la présence d'une limite de gisement à exactement 310,9 mètres, 311,2 mètres, etc. (1020 pieds, 1021 pieds, etc.) En outre, selon que les pointes de $\Delta\varnothing_4$ sont positives ou négatives, on peut constater que l'outil pénètre un gisement de résistivité supérieure ou inférieure.

L'outil possède également des applications pour les puits déviés ou directionnels à travers des formations anisotropes. La figure 11 présente un graphe des valeurs de $\Delta\varnothing_4$ pour un trou de puits dévié de 80° par rapport à la verticale (c'est-à-dire presque horizontal) à travers une formation anisotrope. Les formations anisotropes sont des formations dont la résistivité peut varier non seulement verticalement, mais également horizontalement dans une couche. Comme on peut le voir, même dans une formation anisotrope, ce mode de réalisation indique la profondeur d'une variation de limite de gisement. On considère même que des mesures meilleures seraient réalisées pour un puits hautement dévié dans une formation anisotrope.

Dans l'éventualité où un outil doté de trois ou davantage de récepteurs (tels que celui représenté sur la figure 8) ne serait pas disponible, un outil à résistivité à deux récepteurs pourrait être utilisé à la place pour réaliser le procédé de l'invention. Par exemple, un $\Delta\varnothing_1$ peut être mesuré au départ. L'outil peut alors être déplacé vers l'avant sur une distance égale à l'espacement des récepteurs (c'est-à-dire la distance

entre les récepteurs R1 et R2). Le ou les émetteurs peuvent alors être réactivés et une deuxième différence de phase $\Delta\varnothing_2$ être mesurée. Un processeur ou autre pourrait traiter $\Delta\varnothing_1$ et $\Delta\varnothing_2$ pour en dériver $\Delta\varnothing_3$ et $\Delta\varnothing_4$ comme expliqué plus haut avec référence au mode de réalisation préféré.

5

Un aspect de la présente invention est également l'obtention d'une résolution radiale supérieure. La figure 12 montre un outil à résistivité 1200 comprenant un premier émetteur T_1 à l'emplacement axial 1210, un deuxième émetteur T_2 à l'emplacement axial 1220, un troisième émetteur T_3 à l'emplacement axial 1230 et un quatrième émetteur T_4 à l'emplacement axial 1240. Font également partie de l'outil à résistivité 1200, un premier récepteur R_1 à l'emplacement axial 1250, un deuxième récepteur R_2 à l'emplacement axial 1260 et un troisième récepteur R_3 à l'emplacement axial 1270. Le point de mesure 1255 est situé à mi-distance entre les récepteurs R_1 et R_2 , tandis que le point de mesure 1265 est à mi-distance entre les récepteurs R_2 et R_3 . Un point de mesure correspondant à $\Delta\varnothing_3$ est situé également à l'emplacement 1260. Des circuits électroniques associés connectés à l'outil actionnent les émetteurs à une ou plusieurs fréquences présélectionnées. Ces circuits électroniques mesurent également l'amplitude et l'angle de phase aux récepteurs, ou ils peuvent mesurer l'atténuation et le déphasage aux récepteurs.

20

Une distance d'environ 20 cm (8 pouces) sépare chacun des émetteurs T_1 à T_4 . De même, les récepteurs R_1 , R_2 et R_3 sont chacun séparés par une distance de 20 cm (8 pouces). Une distance de 20 cm (8 pouces) sépare également l'émetteur T_1 et le récepteur R_1 . Un avantage particulier de ce mode de réalisation représenté est l'augmentation régulière et incrémentielle des distances d'espacement de mesure. Comme on peut le voir, une première distance de mesure entre l'émetteur T_1 et le point de mesure 1255 est égale à 30,5 cm (12 pouces). Une deuxième distance de mesure, entre l'émetteur T_2 et le point 1255 est égale à 50,8 cm (20 pouces). Une troisième distance de mesure, entre l'émetteur T_3 et le point 1255 est égale à 71,1 cm (28 pouces). Une quatrième distance de mesure entre l'émetteur T_4 et le point 1255 est égale à 91,4 cm (36 pouces). Une cinquième distance de mesure entre l'émetteur T_1 et le point 1260 est égale à 40,6 cm (16 pouces). Une sixième distance de mesure entre l'émetteur T_2 et le point 1260 est égale à 61,0 cm (24 pouces). Une septième

30

distance de mesure entre l'émetteur T_3 et le point 1260 est égale à 81,3 cm (32 pouces). Une huitième distance de mesure entre l'émetteur T_4 et le point de mesure 1260 est égale à 102 cm (40 pouces).

5 Bien que ces distances exactes ne soient pas cruciales à l'invention, l'homme de l'art pouvant modifier ces espacements, on peut apprécier que l'ajout du récepteur R3 fournit des points de mesure supplémentaires et que les espacements représentés
10 présentent de nombreux avantages. Par exemple, des espacements entre émetteurs et points de mesure de 30,5, 50,8, 71,1 et 91,4 cm (12, 20, 28 et 36 pouces) existent maintenant par rapport au premier point de mesure et de 50,8, 71,1, 91,4 et 112 cm
(20, 28, 36 et 44 pouces) par rapport au deuxième point de mesure, avec pour
15 résultats des espacements dupliqués de points de mesure à 50,8, 71,1 et 91,4 cm (20, 28 et 36 pouces). Des espacements entre émetteurs et points de mesure de 40,6, 61, 81,3 et 102 cm (16, 24, 32 et 40 pouces) existent également par rapport au troisième
point de mesure, produisant neuf espacements de mesure au total. La figure 13 est un
20 graphe de la résistivité / profondeur d'invasion comprenant la réponse radiale pour des espacements de 30,5, 50,8, 71,1 et 91,4 cm (12, 20, 28 et 36 pouces), de même que des espacements de mesure de 40,6, 61 et 81,3 (16, 24 et 32 pouces). En conséquence, la figure 13 comprend un nombre accru de courbes de données en
comparaison avec la figure 7 et la résolution radiale de l'outil de la figure 12 est
améliorée en ce qui concerne un outil tel que celui représenté sur la figure 6.

Bien que des modes de réalisation préférés de la présente invention aient été
représentés et décrits, l'homme de l'art peut y apporter des modifications sans quitter
25 le cadre de la présente invention. Les modes de réalisation décrits ici le sont à titre purement exemplaire et non limitatif. De nombreuses variantes et modification du système et de l'appareil sont possibles à l'intérieur du cadre de l'invention. En conséquence, le cadre de protection n'est pas limité aux modes de réalisation décrits
ici mais est seulement limité par les revendications annexées englobant tous les
30 équivalents de réalisation.

REVENDICATIONS

1. Outil de mesure pendant le forage (800), comportant :
 - un émetteur (T1) capable de générer un signal électromagnétique ;
 - 5 - un premier récepteur (R1) disposé en un premier emplacement espacé dudit premier émetteur, ledit premier récepteur étant capable de recevoir ledit signal électromagnétique ;
 - 10 - un deuxième récepteur (R2) disposé en un deuxième emplacement espacé dudit premier émetteur, ledit deuxième récepteur étant adapté à recevoir ledit signal électromagnétique ;
 - 15 - un troisième récepteur (R3) disposé en un troisième emplacement espacé dudit premier émetteur, ledit troisième récepteur étant adapté à recevoir ledit signal électromagnétique ;
 - 20 - un premier emplacement de mesure entre lesdits premier et deuxième récepteurs, ledit premier emplacement de mesure correspondant à un premier déphasage dudit signal électromagnétique ;
 - 25 - un deuxième emplacement de mesure entre lesdits deuxième et troisième récepteurs, ledit deuxième emplacement de mesure correspondant à un deuxième déphasage dudit signal électromagnétique ;
 - 30 - un processeur (850) associé auxdits premier, deuxième et troisième récepteurs, ledit processeur prenant en compte lesdits premier et deuxième déphasages afin de localiser une variation de résistivité au voisinage dudit deuxième emplacement de mesure.
2. Outil de mesure pendant le forage selon la revendication 1, dans lequel ledit signal électromagnétique est d'une première fréquence et dans lequel ledit émetteur est capable de générer un signal électromagnétique d'une deuxième fréquence.
3. Outil de mesure pendant le forage selon la revendication 1, comportant en outre :
 - un deuxième émetteur capable de générer un deuxième signal, ledit deuxième signal étant détecté au niveau desdits premier, deuxième et troisième récepteurs.

4. Outil de mesure pendant le forage selon la revendication 3, dans lequel ledit premier signal provenant dudit premier émetteur fournit un premier jeu de données de résistivité radiale et ledit deuxième signal provenant dudit deuxième émetteur fournit un deuxième jeu de données de résistivité radiale, ledit premier jeu et ledit deuxième jeu en combinaison fournissant une image de la résistivité radiale plus détaillée que l'un ou l'autre dudit premier jeu et dudit deuxième jeu seul.
5
5. Outil de mesure pendant le forage selon la revendication 1, dans lequel ledit outil de mesure pendant le forage est une partie d'un ensemble de fond de puits.
10
6. Outil de mesure pendant le forage selon la revendication 1, dans lequel ledit processeur calcule la différence desdits premier et deuxième déphasages.
7. Outil de mesure pendant le forage selon la revendication 6, dans lequel ladite différence desdits premier et deuxième déphasages est utilisée pour déterminer si l'outil de mesure pendant le forage pénètre une région de résistivité relativement élevée ou une région de résistivité relativement basse.
15
8. Outil de mesure pendant le forage selon la revendication 7, dans lequel lesdits premier et deuxième déphasages sont utilisés pour déterminer si ledit outil de mesure pendant le forage est au voisinage d'une limite de gisement.
20
9. Outil de mesure pendant le forage selon la revendication 1, dans lequel lesdits premier et deuxième déphasages sont utilisés comme partie d'un système à trépan conductible.
25
10. Outil de mesure pendant le forage selon la revendication 1, dans lequel ledit processeur calcule un troisième déphasage en effectuant la moyenne dudit premier déphasage et dudit deuxième déphasage.
30
11. Outil de mesure pendant le forage selon la revendication 1, dans lequel ledit processeur calcule une résistivité de gisement.

12. Procédé pour déterminer des limites de gisement d'une formation multicouches, comportant les étapes consistant à :
- a) mesurer en un premier emplacement un premier déphasage d'un premier signal en progression ;
 - b) mesurer en un deuxième emplacement un deuxième déphasage d'un deuxième signal en progression ;
 - c) traiter ledit premier déphasage et ledit deuxième déphasage pour déterminer si ledit premier emplacement correspond à un gisement de résistivité différente de celle dudit deuxième emplacement.
13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel ledit traitement desdits premier et deuxième déphasages inclut le calcul de la différence desdits premier et deuxième déphasages.
14. Procédé selon la revendication 13, dans lequel une variation abrupte de ladite différence indique une limite de gisement au voisinage dudit deuxième emplacement.
15. Procédé selon la revendication 14, dans lequel ladite différence change de façon abrupte dans une direction positive ou négative, ladite variation abrupte de ladite différence dans une direction indiquant que le deuxième emplacement est proche d'un gisement de formation de résistivité élevée et ladite variation abrupte de ladite différence dans la direction opposée indiquant que le deuxième emplacement est proche d'un gisement de formation de résistivité basse.
16. Procédé selon la revendication 14, dans lequel ladite étape de traitement indique si ledit premier emplacement est voisin d'une résistivité relativement plus élevée que celle dudit deuxième emplacement.
17. Procédé selon la revendication 12, ledit procédé comprenant une étape de calcul d'un troisième déphasage en fonction desdits premier et deuxième déphasages.

18. Procédé selon la revendication 12, dans lequel ledit premier emplacement correspond à un premier gisement de formation et dans lequel une valeur de résistivité est déterminée pour ledit premier gisement de formation.
- 5
19. Procédé selon la revendication 12, comportant en outre l'étape consistant à :
- d) transmettre, depuis un emplacement au fond du puits jusqu'à un emplacement en haut du puits, la présence détectée d'une limite de gisement.
- 10
20. Procédé selon la revendication 12, dans lequel ledit premier signal en progression est le même que ledit deuxième signal en progression.
21. Procédé de mesure pendant le forage pour déterminer des limites de gisement, comportant :
- 15
- a) une étape consistant à déterminer la présence d'une limite de gisement en un emplacement au fond du puits ;
- b) une étape pour transmettre la présence de ladite limite de gisement jusqu'à un emplacement en surface.

[illegible]

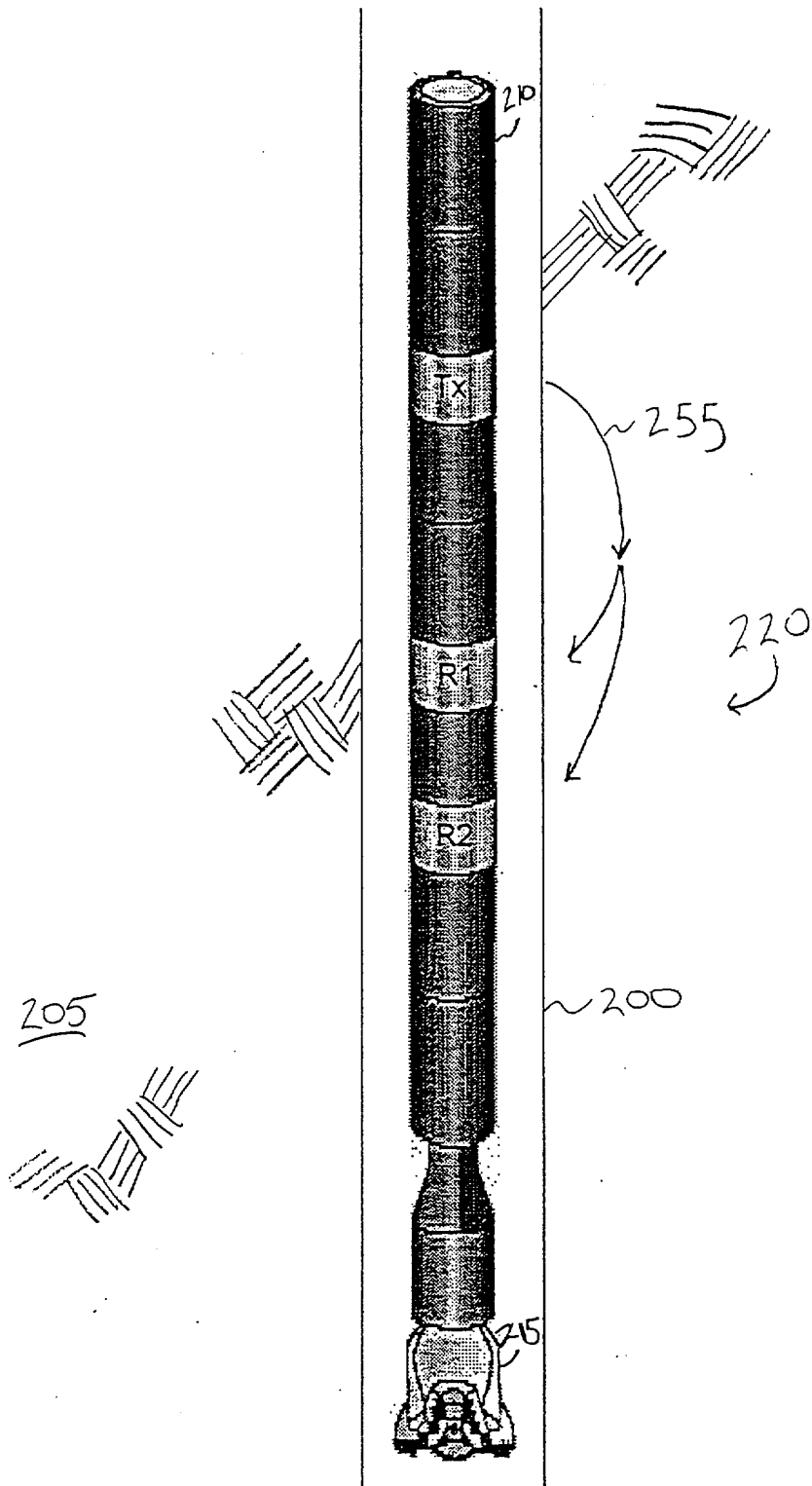


Fig. 2

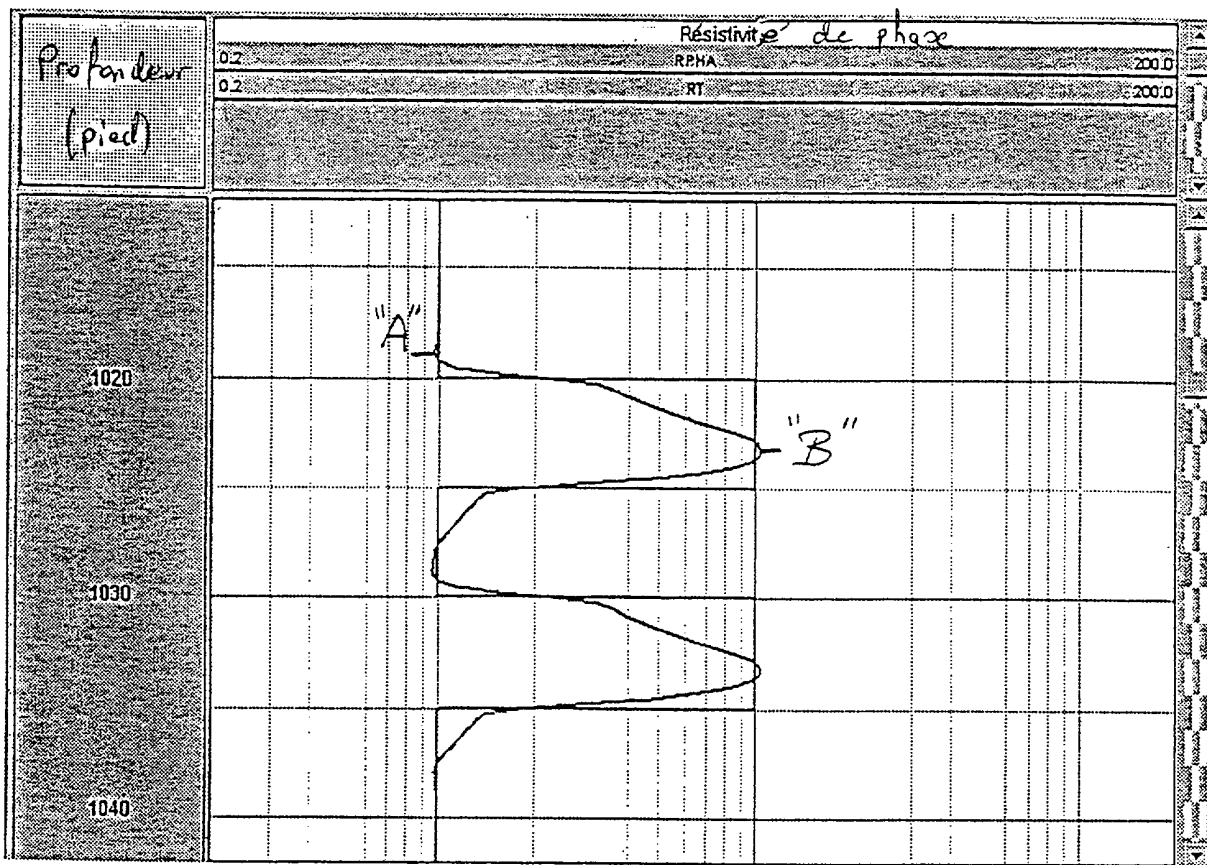


Fig - 3

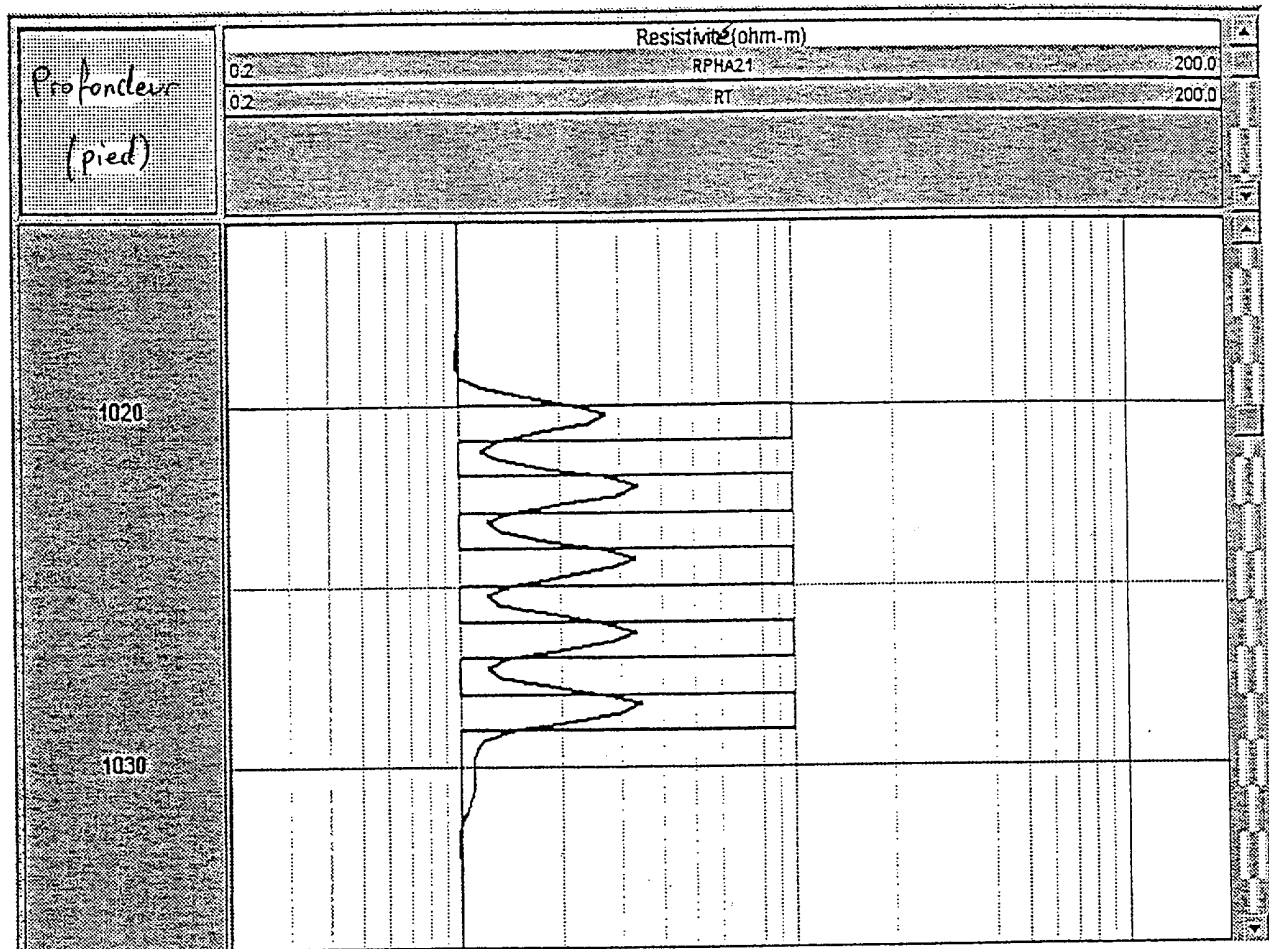


Fig. 4

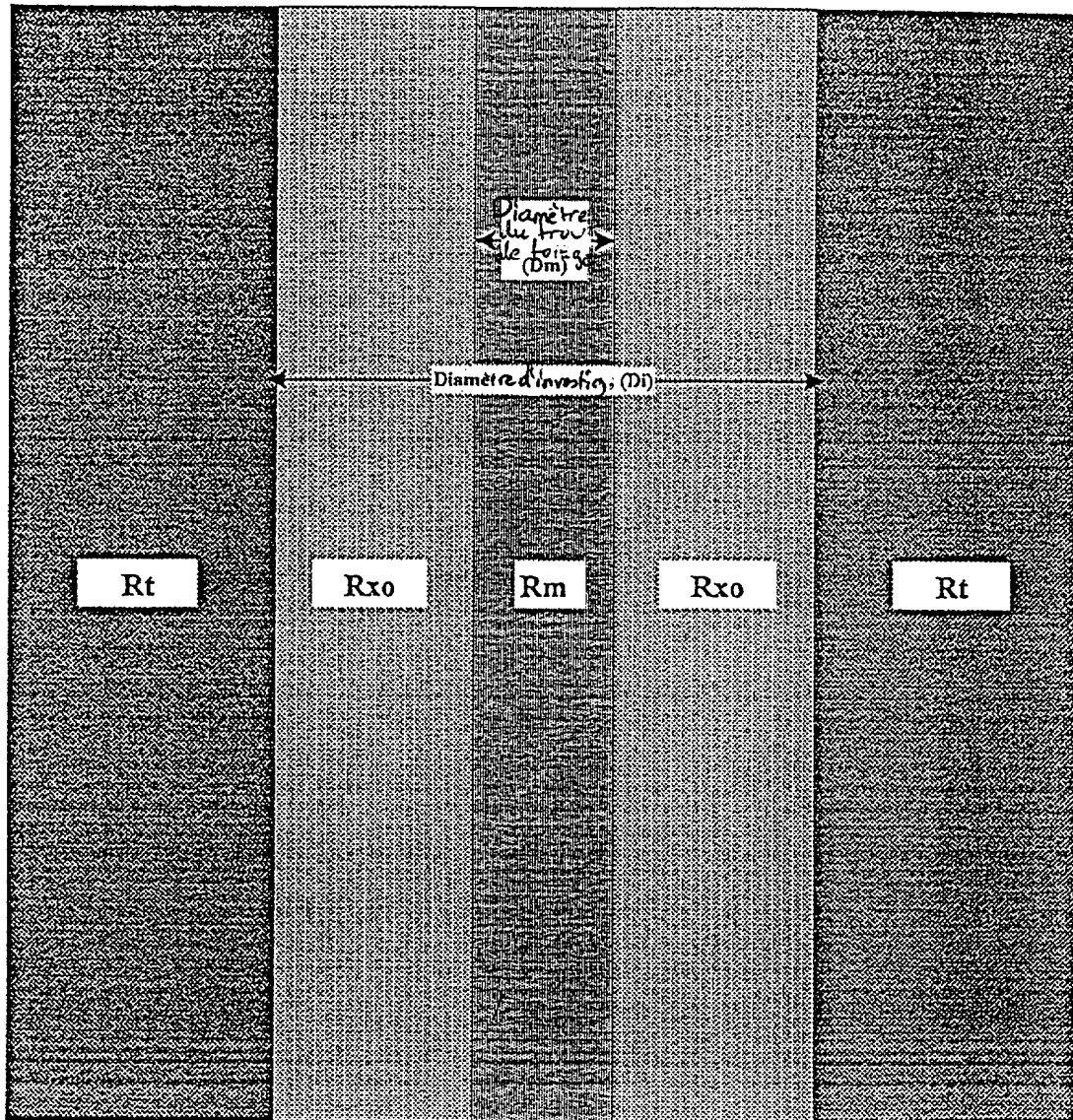


fig 5.

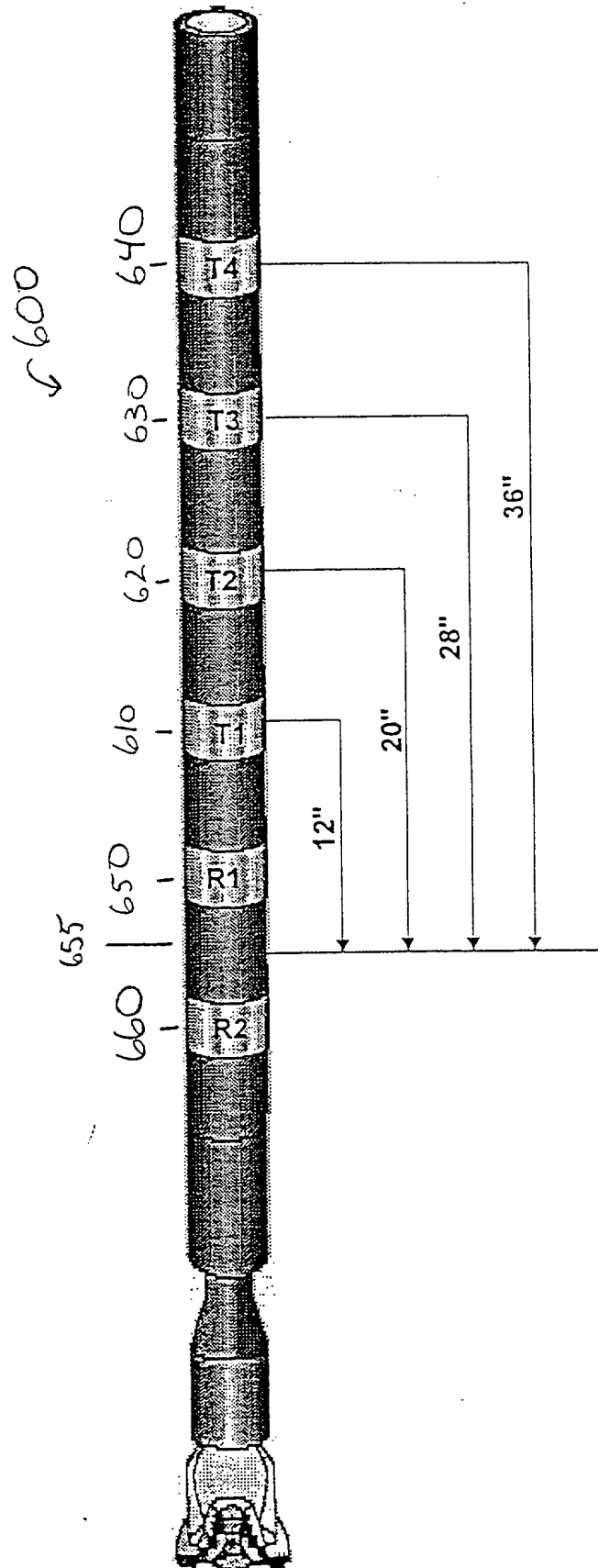
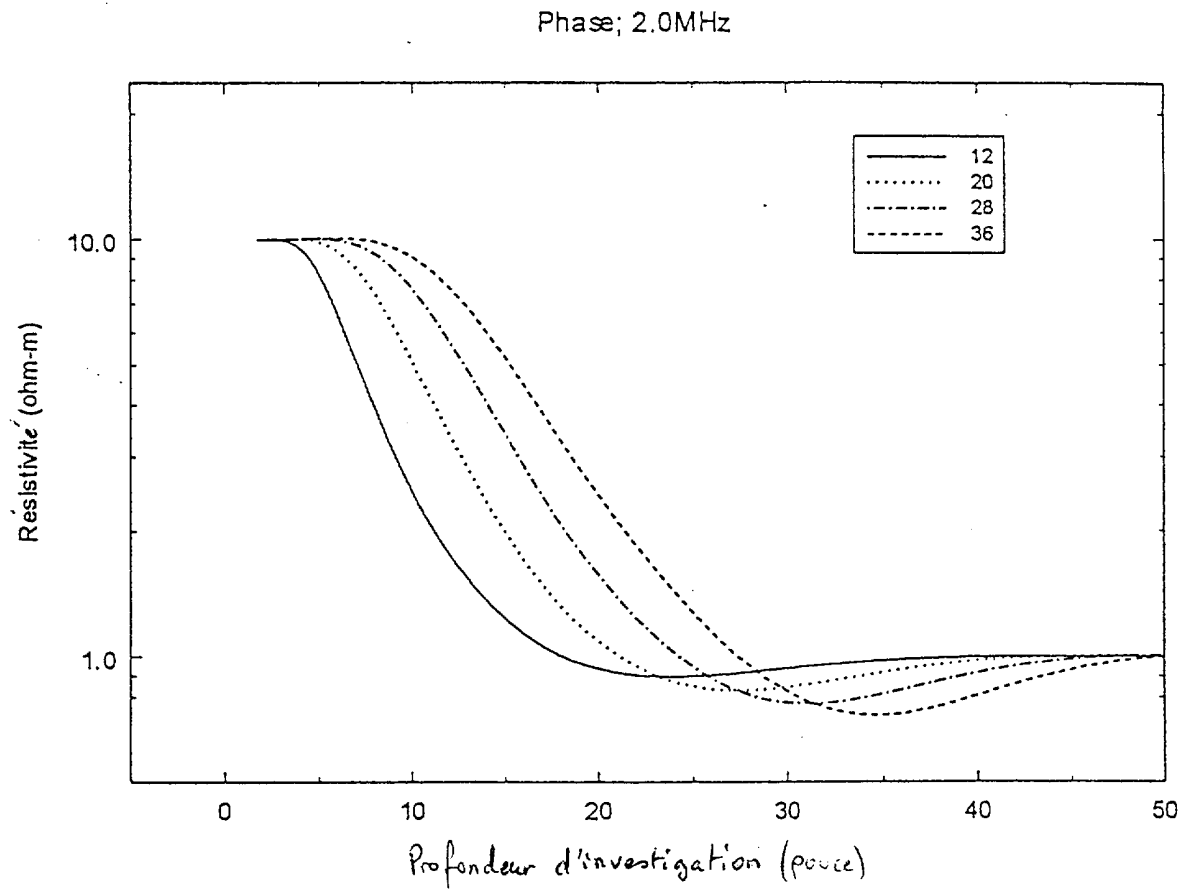


Fig 6



Réponse radiale des intervalles 12, 20, 28 et 26

fig 7

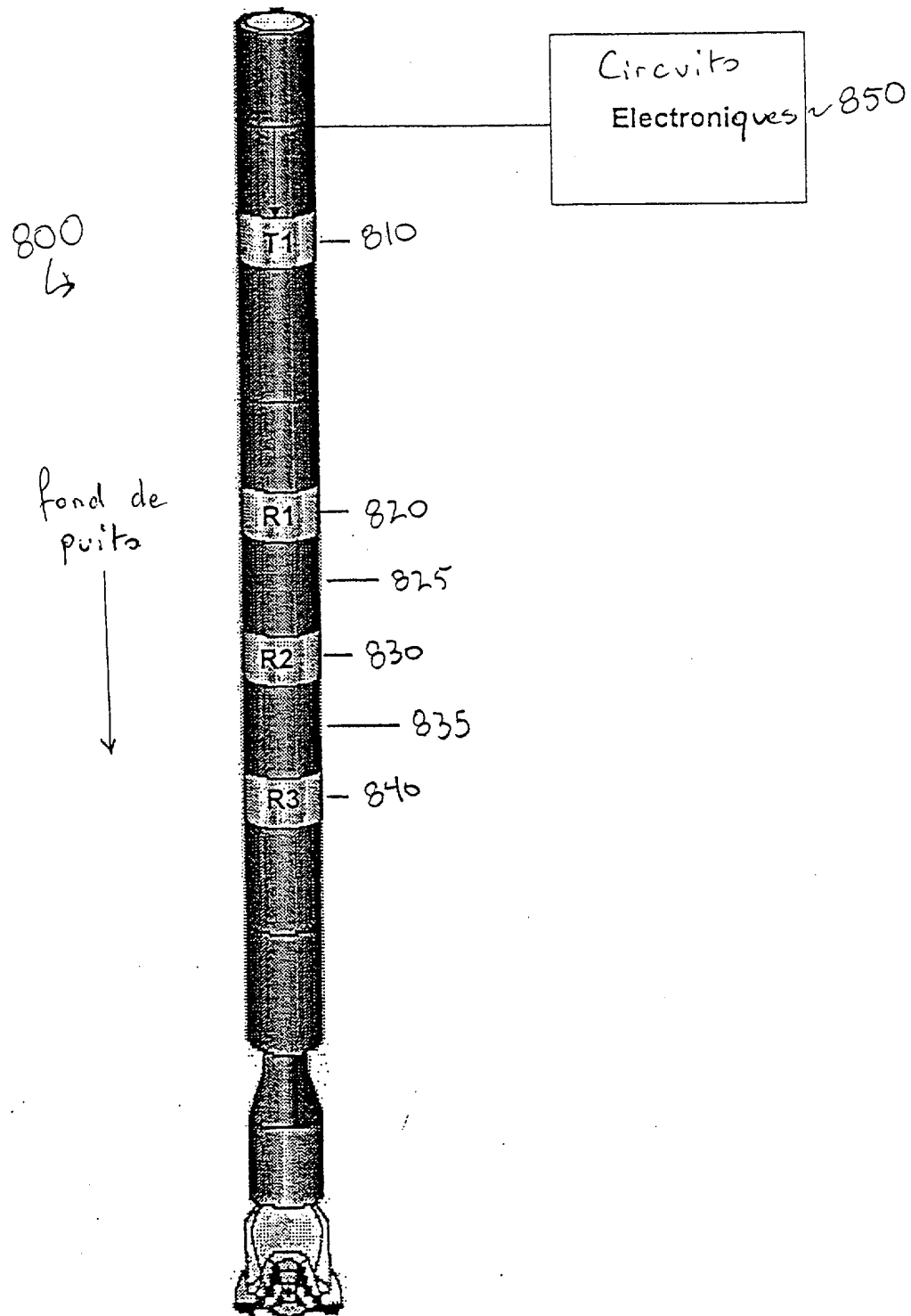


fig 8

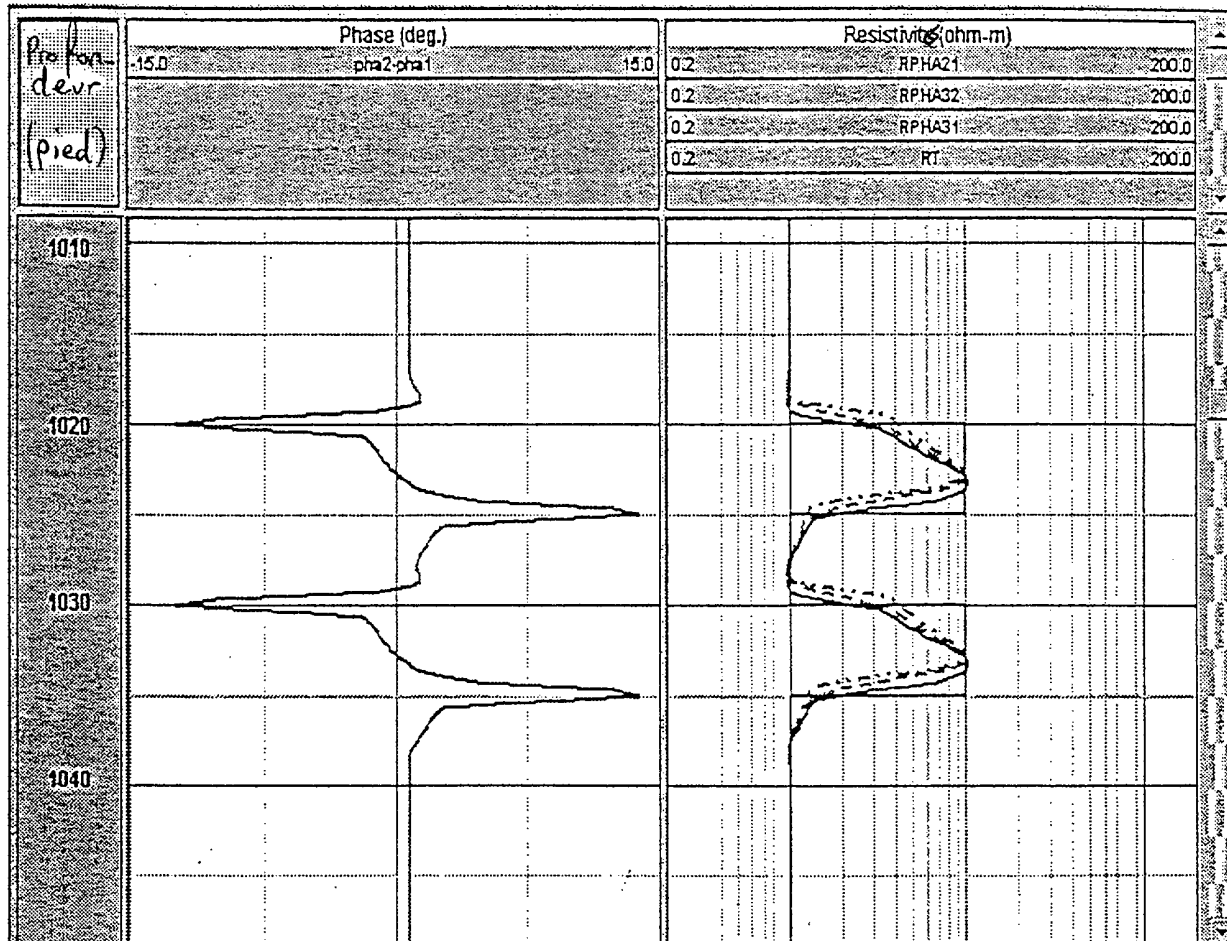


Fig. 9

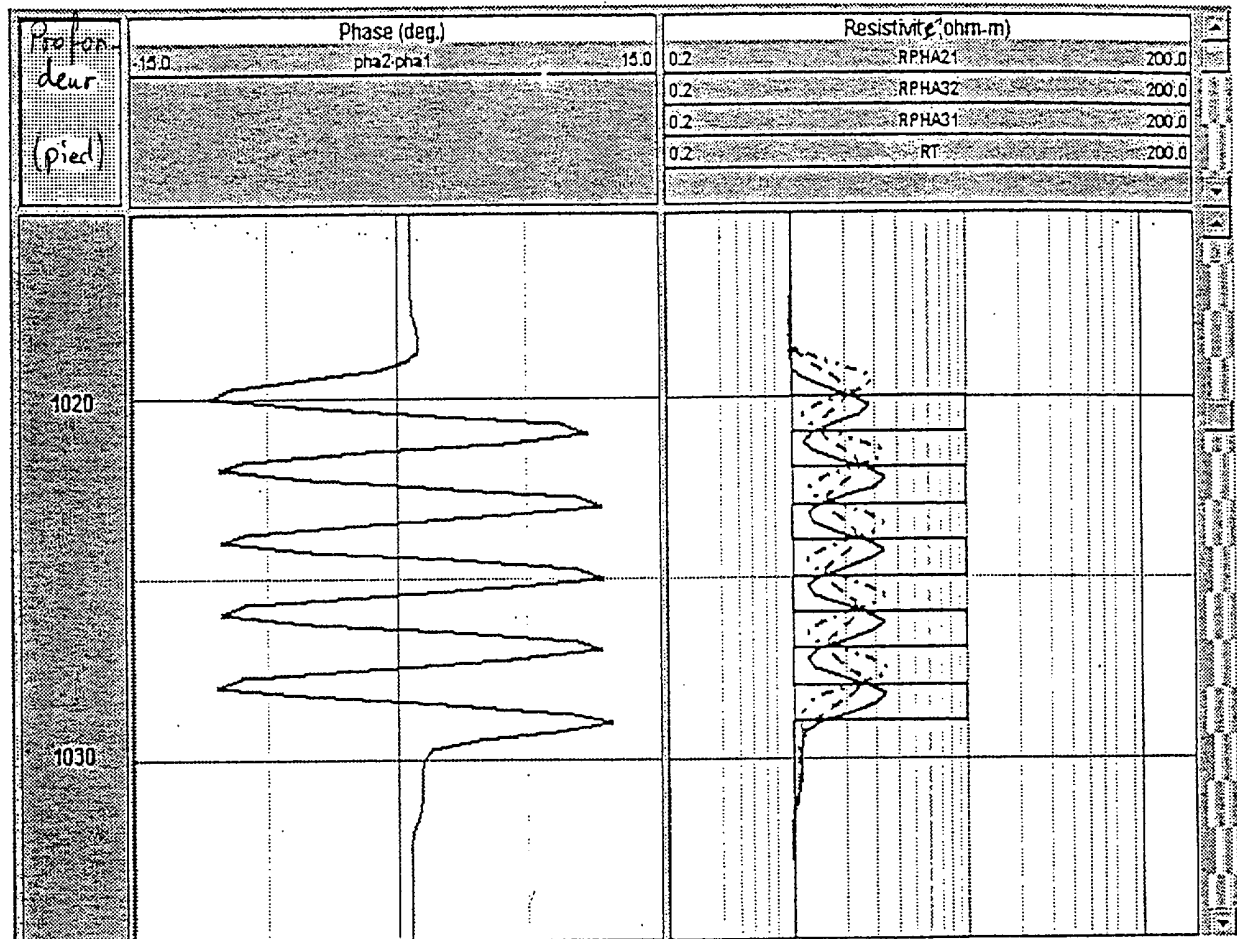


Fig. 10

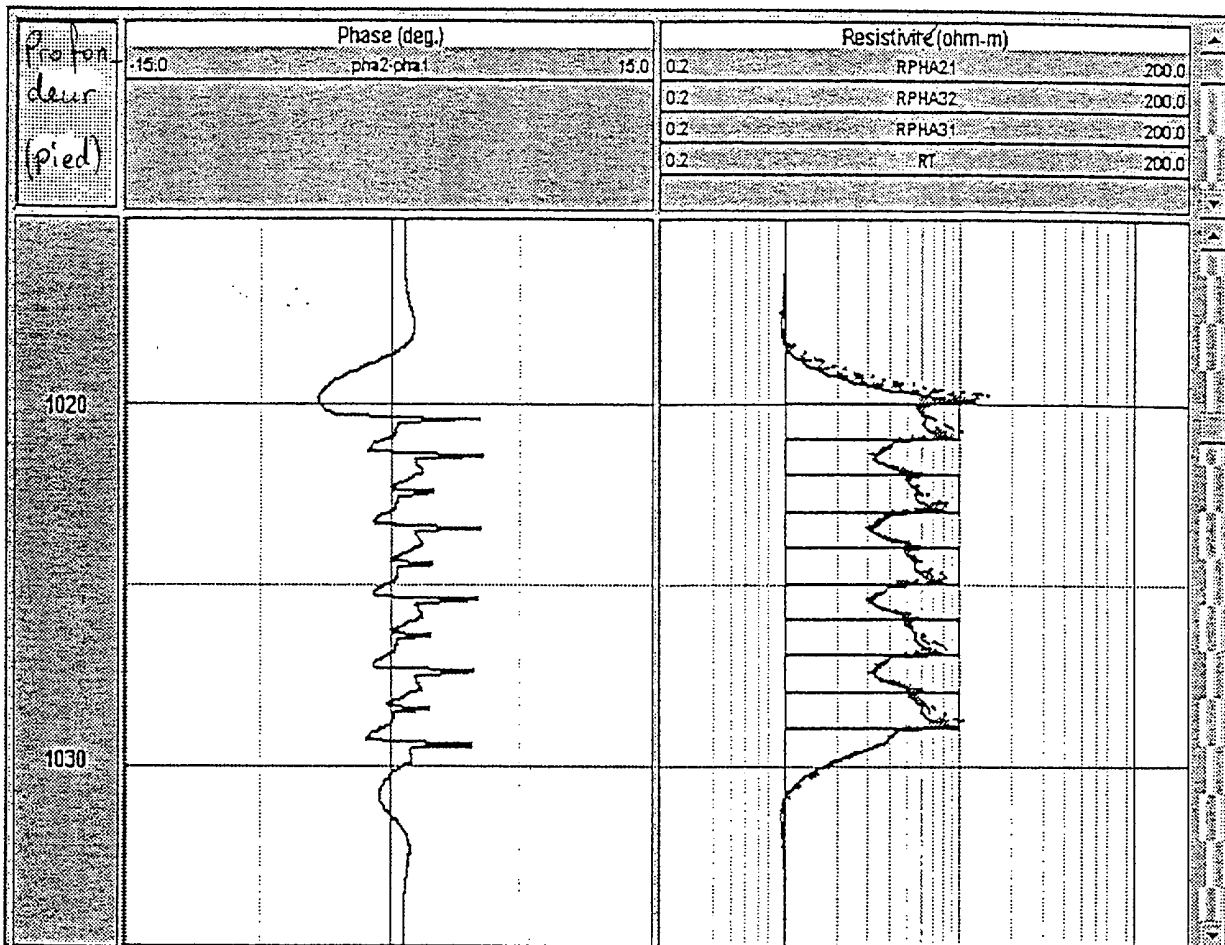
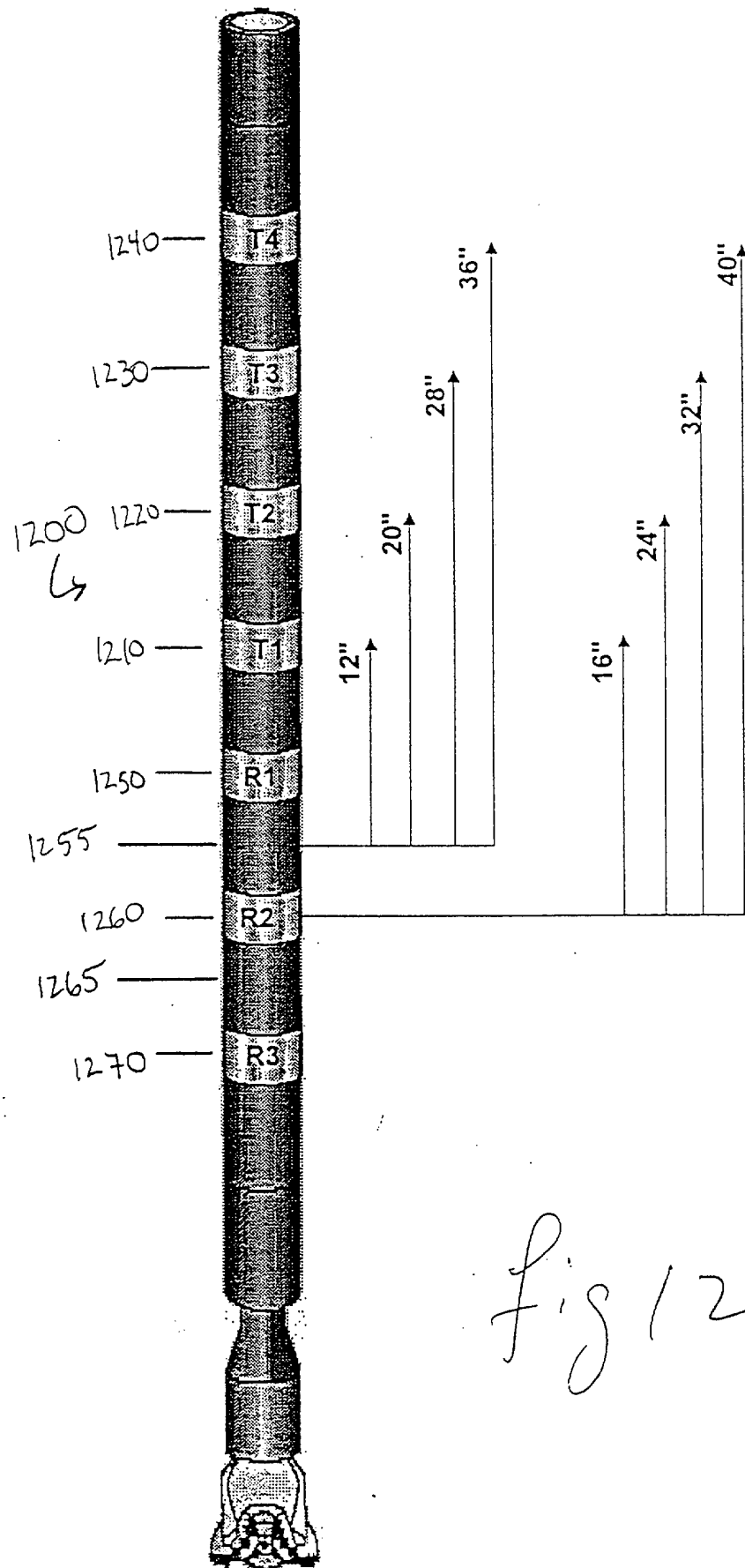
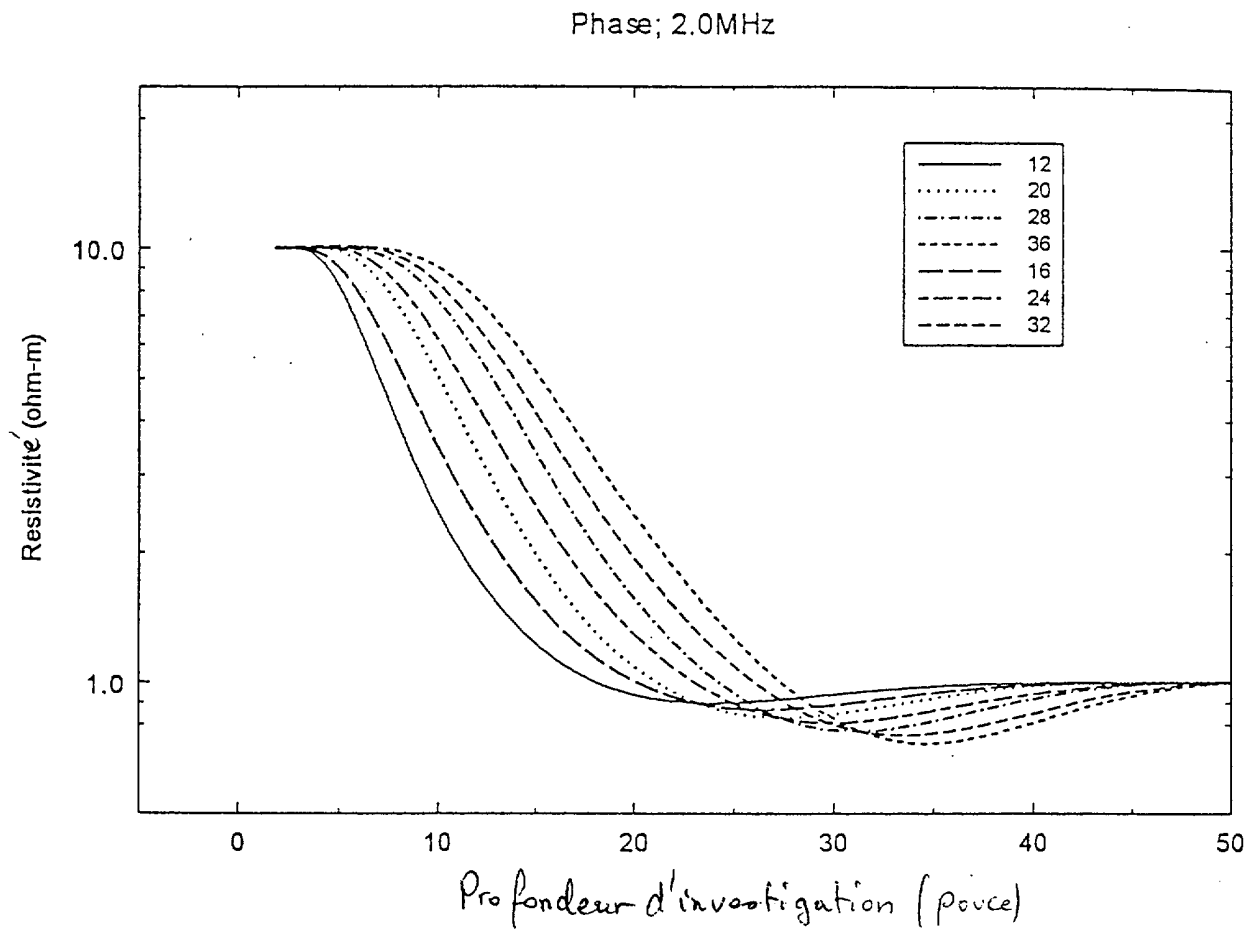


fig 11





Réponse radiale des intervalles 12, 20, 28 et 36
et des intervalles supplémentaires (6, 24 et 32)

fig 13

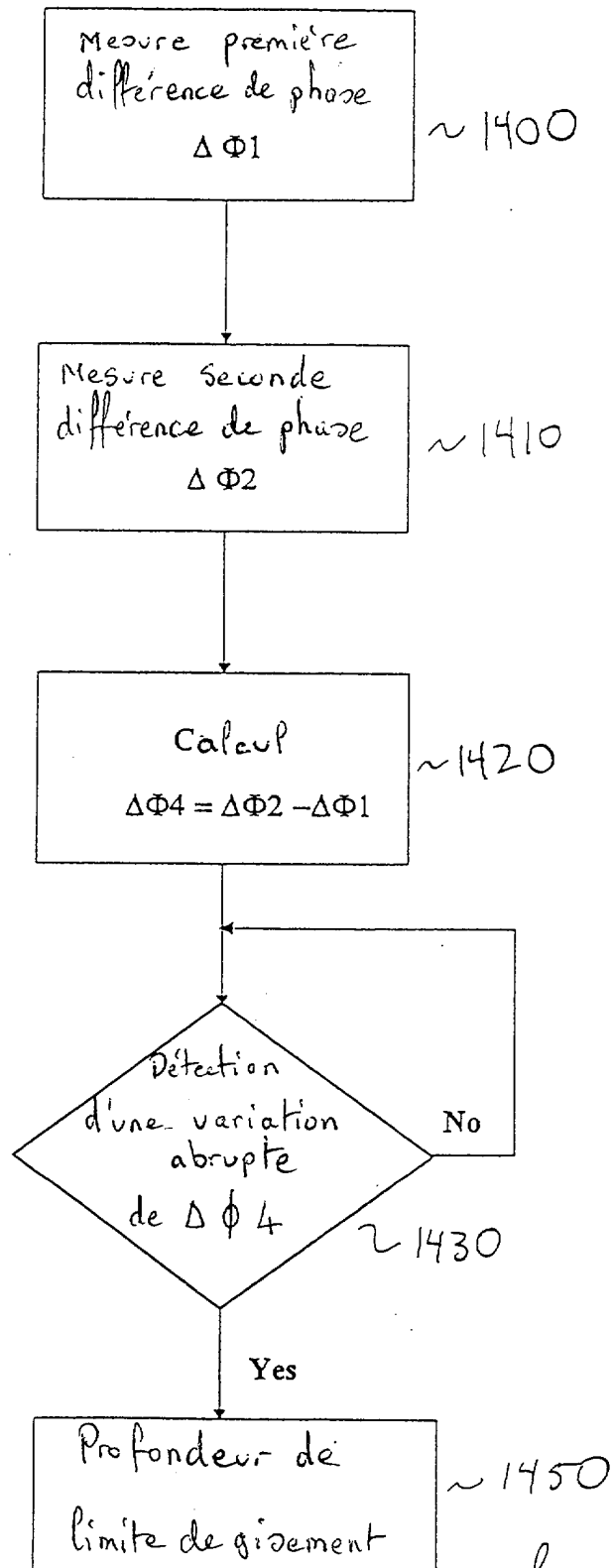


fig 14