(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) **N° de publication :** **2 807 525**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **00 04527**

(51) Int Cl[7] : **G 01 V 3/20,** E 21 B 49/00

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 07.04.00.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 12.10.01 Bulletin 01/41.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *SERVICES PETROLIERS SCHLUMBERGER* — FR.

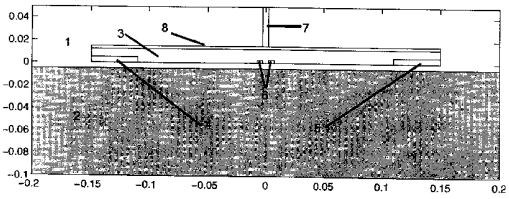
(72) **Inventeur(s) :** PITTMAN DENNIS, CHEUNG PHILIP et HAYMAN ANDREW.

(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire(s) :** ETUDES ET PRODUCTIONS SCHLUMBERGER.

(54) SONDE DE DIAGRAPHIE POUR L'EXPLORATION ELECTRIQUE DE FORMATIONS GEOLOGIQUES TRAVERSEES PAR UN SONDAGE.

(57) La présente invention a pour objet un dispositif destiné à un outil d'investigation de la paroi d'un trou de sondage d'une formation géologique comportant un patin non conducteur comportant une face intérieure et une face extérieure, destiné à être appliqué contre la paroi, un ensemble d'électrodes de mesure montées sur la face extérieure du patin et des moyens pour mesurer la différence de potentiel entre deux électrodes de mesure, une électrode source adaptée pour l'injection de courant dans la formation géologique et une électrode de retour, l'ensemble des électrodes de mesures étant situées entre l'électrode source et l'électrode de retour de courant, ce dispositif étant caractérisé en ce que le patin comprend une partie conductrice électrique s'étendant sur toute la longueur de l'ensemble d'électrodes de mesure et isolée électriquement des électrodes de mesure.



FR 2 807 525 - A1

SONDE DE DIAGRAPHIE POUR L'EXPLORATION ELECTRIQUE DE FORMATIONS GEOLOGIQUES TRAVERSEES PAR UN SONDAGE

La présente invention se rapporte de façon générale aux explorations électriques d'un sondage traversant une formation terrestre et plus précisément une sonde de diagraphie permettant la mise en images de données acquises par une investigation à haute résolution de la paroi d'un sondage.

D'une manière générale, pour l'exploration des gisements d'hydrocarbures, une connaissance précise des caractéristiques de la formation géologique aux différentes profondeurs du sondage est hautement souhaitable. Nombre de ces caractéristiques ont une structure très fine comme par exemple les stratifications, la détection des éléments non homogènes, des caractéristiques des pores, des cassures etc. L'orientation, la densité et la longueur des cassures, jouent par exemple un rôle majeur dans les caractéristiques dynamiques d'une roche réservoir.

Pendant de nombreuses années, de telles caractéristiques fines ne pouvaient être déterminées qu'à partir de l'analyse de carottes prélevées au moment du forage du sondage. Cependant, le carottage est une technique extrêmement coûteuse dont l'emploi reste relativement exceptionnel.

Le brevet EP-0 110 750 – ou son correspondant US-4,567,759 – a décrit une technique de production d'une image de la paroi d'un trou de sondage consistant à engendrer à intervalles de temps réguliers des signaux qui représentent une mesure à haute résolution spatiale d'une caractéristique de la paroi, mesurer la profondeur du trou à laquelle les signaux de caractéristique se rapportent avec une précision du même ordre que la résolution spatiale des signaux de caractéristique et à convertir les signaux représentant la caractéristique comme une fonction linéaire de la profondeur du trou de sondage, une échelle de couleur étant associée à la valeur des signaux convertis pour former une image visuelle.

Cette technique d'imagerie est plus particulièrement mise en oeuvre avec un outil d'investigation de la conductivité de la formation tel que décrit par exemple dans le

brevet EP-0 071 540 – ou son correspondant US-4,468,623 – capable de détecter des caractéristiques avec une résolution millimétrique. Ce type d'outil comporte une série d'électrodes de contrôle – encore appelées boutons – disposées sur un patin conducteur pressé contre la paroi de sondage. Une source de courant constant met sous tension chaque bouton et la surface conductrice du patin de sorte que des courants de mesure sont injectés dans la formation, perpendiculairement à la paroi. Un retour est prévu pour le courant avec une électrode située près de la surface ou éventuellement sur une autre partie de l'outil. Le patin est déplacé le long du sondage et les courants discrets provenant de chaque bouton sont proportionnels à la conductivité du matériau en face des boutons.

En application de l'enseignement du brevet US-4,567,759, les signaux sont modifiés en supprimant les effets tels que des variations de vitesse d'outil et des perturbations dues à des variations dans l'environnement de l'outil, amplifiés et affichés d'une manière qui s'approche du caractère d'une image visuelle de l'intérieur du trou.

Cette technique d'imagerie a connu un très grand succès ces dernières années en étant utilisée dans des trous de sondage forés avec une boue de forage conductrice comme une boue à l'eau ou du type émulsion huile dans eau. Avec les boues ayant une phase continue non conductrice, telle que les boues à l'huile ou les émulsions inverses, les images obtenues sont de très mauvaise qualité. Ces mauvais résultats sont généralement attribués aux interférences dues à la présence d'une couche de boue non conductrice – ou d'une couche de boue et d'un cake de boue - qui s'interpose entre les boutons et la formation testée. Comme l'épaisseur de cette couche de boue varie notamment en fonction de la rugosité de la paroi, les variations de courants qui en résultent peuvent totalement masquées les variations de courants dues à la formation mesurée.

Une nouvelle technique d'imagerie d'un trou de sondage foré avec une boue de forage non conductrice est décrite dans la demande de brevet internationale PCT/US99/14420. Cet outil d'investigation de la conductivité de la formation diffère de celui connu du brevet US-4,468,623 par l'emploi d'un patin non conducteur et de boutons formant des électrodes de tension et non des électrodes de courant. Les électrodes d'injection du courant sont situées en dehors du patin ou dans une variante préférée, directement aux extrémités de celui-ci. En tout état de cause, les deux injecteurs sont placés d'une manière telle que le courant passe dans la formation sensiblement parallèlement au

patin, et est ainsi de préférence sensiblement orthogonal aux limites des strates. Dans ces conditions, la différence de potentiel entre deux boutons est proportionnelle à la résistivité du matériau faisant face aux boutons.

La demande de brevet internationale précitée préconise l'emploi d'un courant continu – ou d'un courant alternatif à très basse fréquence – de sorte que la résistivité du patin est bien plus grande que la résistivité de la boue de forage. Mais en pratique, opérer avec du courant continu pose des problèmes de bruits dus notamment à la formation de potentiels spontanés dans la formation. De plus, la quantité de courant injectée est limitée par la résistance de la boue ; les différences de potentiel mesurées entre deux paires de boutons sont de ce fait très petites et donc difficilement mesurables.

Il serait donc souhaitable de pouvoir opérer avec un courant alternatif à relativement haute fréquence, par exemple de l'ordre de quelques milliers de Hertz. Or, à ces fréquences, le patin se comporte comme un diélectrique et la conductivité effective de la boue augmente également. Il en résulte une impédance électrique au travers du patin du même ordre que l'impédance au travers de la couche de boue. Dans ces conditions, les différences de potentiels entre les paires de boutons reflètent plus la différence de potentiel appliquée entre les électrodes de courant que la résistivité de la formation leur faisant face et l'outil devient de ce fait inutilisable

La présente invention a pour but un perfectionnement de la technique d'imagerie d'un trou de sondage foré avec une boue de forage non conductrice telle que décrite dans la demande de brevet internationale PCT/US99/14420 permettant d'opérer avec des courants alternatifs à des fréquences de plus de 1000 Hz.

L'invention a ainsi pour premier objet un dispositif destiné à un outil d'investigation de la paroi d'un trou de sondage d'une formation géologique comportant un patin non conducteur comportant une face intérieure et une face extérieure, destiné à être appliqué contre la paroi, un ensemble d'électrodes de mesure montées sur la face extérieure du patin et des moyens pour mesurer la différence de potentiel entre deux électrodes de mesure, une électrode source adaptée pour l'injection de courant dans la formation géologique et une électrode de retour, l'ensemble des électrodes de mesures étant situées entre l'électrode source et l'électrode de retour de courant, ce dispositif étant caractérisé en ce que le patin comprend une partie conductrice électrique à l'arrière de

l'ensemble d'électrodes, par exemple sur la face intérieure du patin, qui s'étend au moins sur toute la zone couvrant l'ensemble des électrodes de mesure et isolée électriquement des électrodes de mesure.

Pour une bonne couverture, la partie conductrice doit s'étendre largement au-delà de la zone des électrodes de mesure, la longueur minimale étant d'autant plus grande que la couche conductrice est mince et éloignée des électrodes de mesure. En utilisant une plaque métallique et une distance de l'ordre du centimètre, on a obtenu de bons résultants avec une plaque couvrant environ dix fois la longueur de la zone des électrodes de mesure. Lorsque les injecteurs sont situés sur la patin, la couche conductrice s'étend de préférence sur toute la zone entre ces injecteurs. .

Cette partie conductrice peut ainsi être constituée par une plaque métallique servant de support au patin non conducteur réalisé pour sa part par exemple dans une matière plastique isolant électrique. Dans ce cas, la partie conductrice du patin peut également venir couvrir les bords latéraux du patin. La partie conductrice du patin peut également faire partie intégrante du blindage du circuit électronique de traitement des signaux provenant des électrodes de mesure.

Avantageusement, la plaque métallique peut également comprendre des appendices conducteurs électriques s'étendant sur toute ou partie de l'épaisseur du patin isolant pour délimiter des sections séparées respectivement pour l'électrode source, les électrodes de mesure et l'électrode de retour. Une telle disposition permet de rapprocher les injecteurs et donc de réduire la longueur totale du patin.

Dans une variante de l'invention tout spécialement préférée, la partie conductrice électrique du patin est reliée à la terre ou plus précisément, est placée au potentiel électrique de la formation géologique. Dans ces conditions, les électrodes de mesure mesurent bien le potentiel de la formation leur faisant face même lorsque le patin est incliné c'est à dire lorsque la distance qui sépare la formation de l'électrode source diffère de la distance la séparant de l'électrode de retour.

D'autres détails et caractéristiques avantageuses de l'invention ressortent de la description faite ci-dessous en référence aux dessins annexés qui représentent :

Figure 1 : un schéma illustrant le principe de la mesure micro-électrique de la formation

Figure 2 : le modèle géométrique utilisé pour simuler les champs électriques dans la formation géologique.

Figure 3 : Les valeurs calculées en fonction du modèle de la figure 2 pour la différence de potentiel entre les électrodes de mesure dans le cas d'un patin parallèle à la paroi (figure 3A) ou légèrement incliné par rapport à celle-ci (figure 3B).

Figure 4 : une variante de l'invention avec une plaque conductrice compartimentant le patin

La figure 1 est un schéma de principe de la mesure électrique mise en oeuvre dans la technique d'imagerie dans la demande de brevet internationale PCT/US99/14420. Cet outil est tout particulièrement adapté pour l'investigation de la paroi 2 d'un trou foré avec une boue de forage non conductrice comme par exemple un fluide de forage dont la phase liquide est essentiellement par une huile (diesel, huile synthétique) ou une émulsion eau dans huile. Par la suite, ces types de fluides de forage seront regroupés sous la désignation commune de boue à l'huile. La boue de forage forme un cake de boue 1 le long de la paroi 2.

L'outil d'investigation de la paroi d'un trou de forage comporte un patin 3, réalisé dans un matériau isolant électrique tel une céramique ou des polymères ayant une haute résistance mécanique et une stabilité thermique et chimique élevée notamment du type cétones polyarylène éther (polyéther éther cétone PEEK).

Le patin sert de support aux deux injecteurs de courant : l'électrode source 4 et le retour 5. Ces deux électrodes sont situées aux deux extrémités du patin et occupent toute la largeur de celui-ci comme on peut le voir plus sur la vue de face du patin – ou du moins une large partie de celle-ci de façon à maximiser la surface de ces électrodes d'injection du courant. La partie centrale du patin comporte deux rangées d'électrodes de mesure 6, soit dans le cas ici représenté cinq paires d'électrodes de mesure. La géométrie du patin est telle que les électrodes de mesure 6 sont légèrement en retrait de sorte que les électrodes de mesure ne sont pas en contact direct avec la formation géologique lorsque le patin est appliqué le long de la paroi 2. A noter que cette géométrie préférée n'est pas indispensable dans le cas de roches poreuses car il se forme alors au cours du forage

avec une boue à l'huile un cake de boue d'une résistivité plus grande que celle de la formation géologique, s'intercalant toujours entre les électrodes de mesure et la formation géologique, et évitant ainsi que les boutons de mesure ne soient en court-circuit par suite d'un contact avec la roche.

Pour des courants continus, ou des courants alternatifs de fréquence inférieure à environ 100 kHz, la résistivité des formations géologiques est en général comprise entre 0,1 et 10000 Ωm alors qu'une boue à l'huile présente une résistivité effective de l'ordre de 0,1 à 10 MΩm. Dans ces conditions, lorsqu'un courant I est injecté dans la formation par les injecteurs 4 et 5, les électrodes de mesure étant isolées par le patin non conducteur, en appliquant la loi d'Ohm, on constate que la résistivité ρ de la formation située sous une paire d'électrodes de mesure est égale au rapport de la différence de potentiel δV entre les deux électrodes et de la densité de courant J. Autrement dit, la résistivité de la formation est obtenue par l'équation $\rho = \delta V/J = k.\delta V/I$ dans laquelle k est un facteur géométrique.

Si le courant injecté est un courant alternatif d'une fréquence assez élevée (supérieure à environ 1 KHz), le patin ne peut plus être considéré comme un isolant électrique parfait mais il faut au contraire le considérer comme un diélectrique, immergé dans un milieu diélectrique, la boue à l'huile. Avec une fréquence du courant de l'ordre de 10 kHz par exemple, une permittivité relative du patin supérieure à 2 est suffisante pour que l'impédance au travers du patin soit du même ordre de grandeur que l'impédance au travers de la boue. La permittivité relative de polymères du type cétones polyarylène éther est de l'ordre de 3, ce qui – comparé aux autres matériaux courants – est une valeur faible. Changer de matériau n'est donc pas une solution.

Pour mieux comprendre l'effet de ce comportement diélectrique, on a modélisé le patin en contact avec la formation. Le modèle utilisé est représenté figure 2. Il consiste en une épaisseur de boue de 5 mm, déposée sur une roche de 1 m d'épaisseur et de 2 m de long. Le patin, placé dans la partie centrale du modèle, est modélisé sous la forme d'un corps rectangulaire de 300 mm de long et 12,5 mm d'épaisseur, avec des injecteurs de courant de 40 mm de long et de 5 mm d'épaisseur et une paire d'électrodes de mesure, chacune de 5 mm de long et de 2,5 mm d'épaisseur. Le patin est relié au reste de l'outil par un

bras métallique. Ce modèle néglige notamment le réseau de fils électriques reliant le patin au boîtier électronique de traitement des signaux.

Le patin peut être de plus muni d'une plaque arrière conductrice métallique, ayant un potentiel électrique « flottant » ou identique à celui de la roche (mise à terre).

Pour un courant à 10 kHz, les conductivités des matériaux considérés sont les suivantes :

	Conductivité ($\sigma + j\,\omega\varepsilon$ Sm^{-1})		ε_r
	Réel	Imaginaire	
Boue	1×10^{-6}	$2{,}8 \times 10^{-6}$	5
Patin (PEEK)	0	$1{,}8 \times 10^{-6}$	3,2
Roche (ordre de grandeur)	10 - 0,0001	$\sim 2 \times 10^{-6}$	~ 3 - 15
Parties métalliques	1×10^{6}	0	-

La boue à l'huile considérée est une émulsion eau dans l'huile, dans un rapport 10:90, l'huile étant une huile synthétique du type n-oléfine.

On a reporté à la figure 3 les valeurs calculées à partir de ce modèle pour la différence de potentiel entre les deux électrodes de mesure en fonction de la résistivité Rt de la roche, dans l'hypothèse d'un patin parfaitement parallèle à la roche, distant uniformément de celle-ci de 5 mm (figure 3A) ou légèrement incliné, la distance entre le patin et la roche variant entre 2 et 5 mm (figure 3B).

En l'absence de plaque arrière (valeurs représentées par des triangles) le signal est pratiquement constant si la résistivité de la formation est inférieure à environ 100 Ωm, l'outil est donc inutilisable si la fréquence du courant aux injecteurs est de 10kHz.

Avec une plaque arrière dont le potentiel est laissé flottant (valeurs représentées par des carrés), la différence de potentiel entre les électrodes de mesure apparaît comme directement proportionnelle à la résistance de la roche lorsque le patin est parallèle à la roche. Par contre, comme dans le cas d'un patin sans plaque arrière, le signal est

pratiquement constant pour une résistance de la formation inférieure à 100 Ωm lorsque le patin est incliné par rapport à la roche. Avec une plaque arrière reliée à la terre (c'est à dire dont le potentiel est identique à celui de la roche), correspondant aux points représentés par des cercles, le signal est bien caractéristique de la résistivité de la formation, même si la plaque est légèrement inclinée, ce qui se produit fréquemment dans un sondage.

Différents moyens peuvent être utilisés afin d'assurer la mise à la terre de la plaque arrière. Le plus simple est par exemple de relier la plaque à l'outil de diagraphie qui est lui-même relié à la terre par toute la longueur du câble auquel il est suspendu, câble qui peut traverser plusieurs milliers de mètres de formation.

Une autre solution est d'estimer la valeur du potentiel de la formation en moyennant au moyen d'un circuit électronique les valeurs de potentiel mesurées par l'ensemble des paires d'électrodes de mesure.

On peut aussi mesurer directement ce potentiel par exemple au moyen des électrodes supplémentaires, de préférence assez large, encadrant l'ensemble des paires d'électrodes de mesure, et en maintenant la plaque arrière à ce potentiel au moyen d'un circuit électronique adapté.

Dans une variante de l'invention tout particulièrement préférée, schématisée figure 4, la plaque arrière conductrice comporte des appendices qui isolent la zone des électrodes de mesure des zones extrêmes des injecteurs. Avec un tel design, la distance minimum entre les deux injecteurs peut être réduite d'environ 20% tout en conservant un signal proportionnel à la résistivité de la formation géologique.

REVENDICATIONS

1. Dispositif destiné à un outil d'investigation de la paroi d'un trou de sondage d'une formation géologique comportant

   a) un patin non conducteur comportant une face intérieure et une face extérieure, destiné à être appliqué contre la paroi,

   b) un ensemble d'électrodes de mesure montées sur la face extérieure du patin et des moyens pour mesurer la différence de potentiel entre deux électrodes de mesure,

   c) une électrode source adaptée pour l'injection de courant dans la formation géologique et une électrode de retour, l'ensemble des électrodes de mesures étant situées entre l'électrode source et l'électrode de retour de courant,

   caractérisé en ce que le patin comprend une partie conductrice électrique couvrant l'ensemble de la zone des électrodes de mesure et isolée électriquement des électrodes de mesure.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'électrode source et l'électrode de retour de courant sont situées sur le patin.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite partie conductrice électrique s'étend sur toute la longueur du patin entre les l'électrode source et l'électrode de retour de courant

4. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite partie conductrice recouvre également les bords latéraux du patin

5. Dispositif selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que le patin est compartimenté le patin comporte une première section d'extrémité portant l'électrode source, une section médiane pour les électrodes de mesure et une seconde section d'extrémité pour l'électrode de retour, lesdites sections étant au moins partiellement séparées par des cloisons conductrices électriques.

6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite partie conductrice est constituée par le support métallique du patin.

7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes dans lequel le patin comporte de plus un circuit électronique de traitement des signaux provenant des électrodes de mesure, caractérisé en ce que ladite partie conductrice fait partie intégrante du blindage du circuit électronique.

8. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite partie conductrice du patin est placée au potentiel électrique de la formation géologique (mise à la terre).

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que la mise à la terre est obtenue en connectant électriquement ladite partie conductrice du patin au corps de l'outil d'investigation.

10. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que la mise à la terre est obtenue en maintenant la ladite partie conductrice du patin à un potentiel égal à la moyenne des potentiels mesurés par les électrodes de mesure.

11. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que la mise à la terre est obtenue en maintenant ladite partie conductrice du patin à un potentiel égal à celui mesuré dans la formation géologique entre l'électrode source et l'électrode de retour.

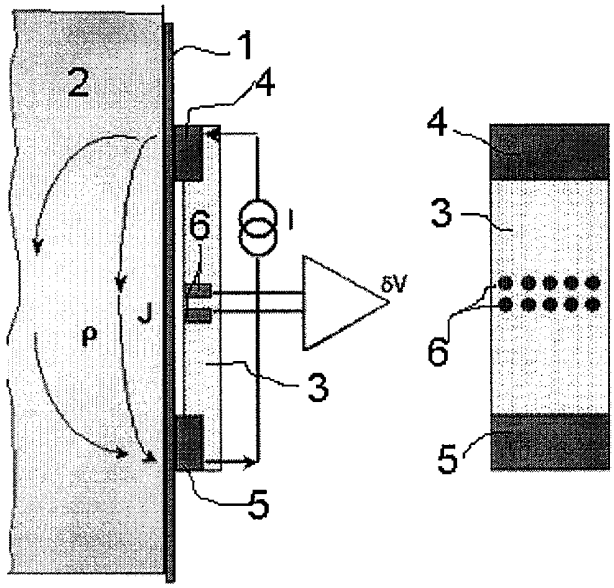


Figure 1

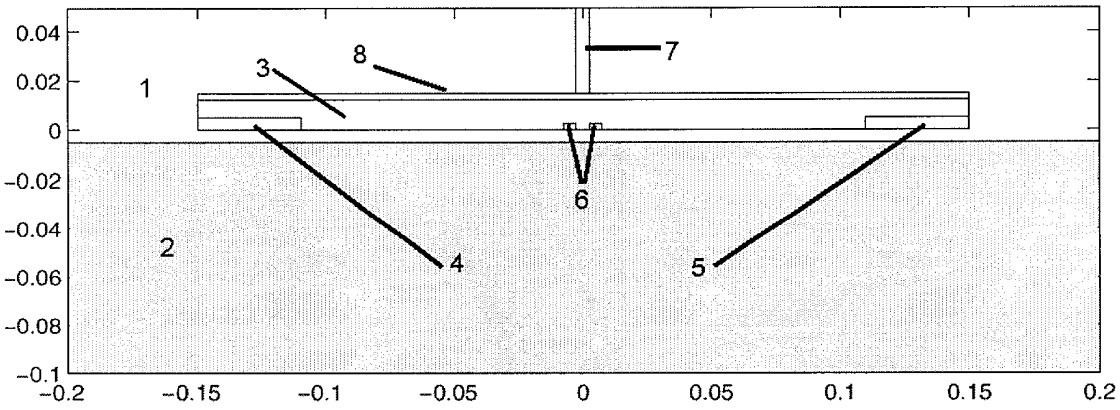


Figure 2

Figure 3A

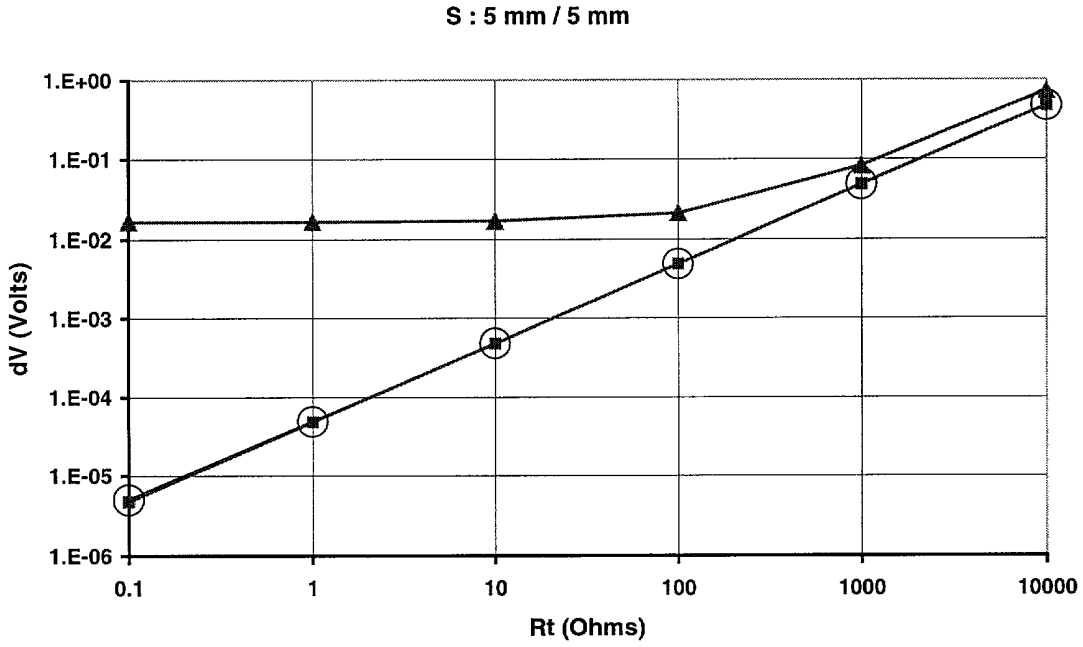


Figure 3B

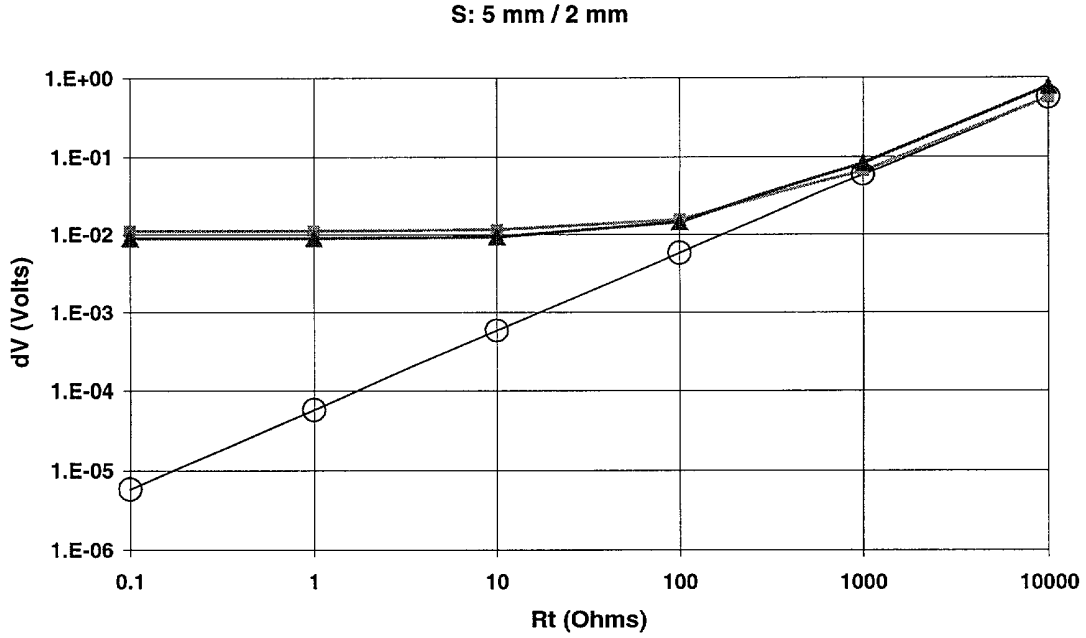
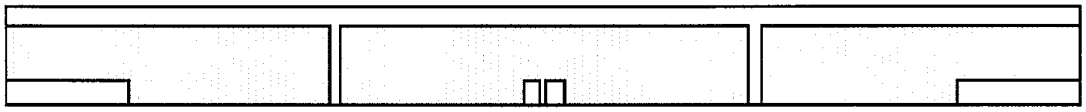


Figure 4



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INPI
INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE

2807525

N° d'enregistrement national

FA 585590
FR 0004527

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 3 462 678 A (EATON FRANCIS M) 19 août 1969 (1969-08-19)	1,2	G01V3/20 E21B49/00
A	* colonne 3, ligne 67 - colonne 5, ligne 16; figure 1 *	3,6	

D,A	WO 00 04405 A (SCHLUMBERGER HOLDINGS LIMITED;SCHLUMBERGER CA LTD ; SCHLUMBERGER S) 27 janvier 2000 (2000-01-27) * page 8; figure 3 *	1	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)

G01V

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
12 décembre 2000	Häusser, T

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)