

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 10.10.89.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : 12.04.91 Bulletin 91/15.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société Anonyme dite: TOTAL COMPAGNIE FRANCAISE DES PETROLES — FR et COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE CEA — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Augustin Antoine, Pocachard Jacques et Bouisset Patrick.

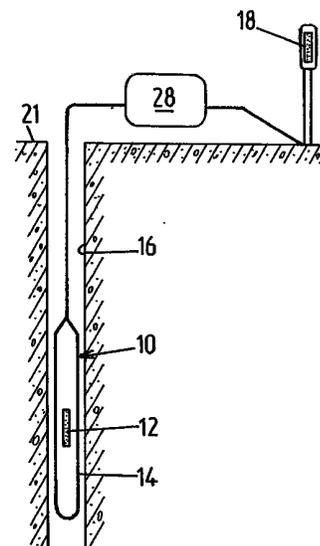
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : Cabinet Brot et Jolly.

⑤4 Procédé et dispositif de détection des inversions du champ magnétique terrestre par mesures dans un trou de forage.

⑤7 L'invention concerne un procédé et un dispositif de détection des inversions du champ magnétique terrestre dans un trou de forage.

Le dispositif comprend une première sonde (10) pour mesurer l'induction magnétique B_1 pendant son déplacement dans le trou (16), un capteur (18) pour mesurer l'induction magnétique B_2 à la surface du sol (21) en un point fixe de façon simultanée à la mesure de B_1 , une deuxième sonde pour mesurer la susceptibilité magnétique des roches pendant son déplacement dans ledit trou, et une unité d'enregistrement et de traitement de données (28) qui comprend des moyens permettant de calculer la grandeur $B_1 - B_2$, des moyens de filtrage de la grandeur $B_1 - B_2$ afin d'isoler la fraction d'induction B_1 qui ne contient que la composante B_1 due à l'aimantation induite et la composante B_R due à l'aimantation rémanente, et des moyens permettant de calculer l'induction B_1 à partir de l'induction B_1 dans le trou et de la susceptibilité magnétique X.



La présente invention concerne un procédé permettant de déterminer l'aimantation rémanente des roches traversées par un trou de forage afin de localiser les zones d'inversion du champ magnétique terrestre.

Le champ magnétique terrestre est actuellement orienté vers le nord, mais au cours des temps géologiques, il a basculé un grand nombre de fois entre le nord et le sud. Les roches possèdent une aimantation qui peut être décomposée en deux termes : une partie est induite par le champ magnétique terrestre et est appelée aimantation induite ; l'autre partie correspond à la mémorisation du champ magnétique terrestre au moment du dépôt et/ou de la formation des roches et est dans la direction et le sens de ce champ magnétique terrestre ; cette dernière fraction est appelée aimantation rémanente. On peut considérer que les inversions du sens de l'aimantation rémanente détectées au cours d'un forage dans les couches rocheuses successives, reflètent fidèlement les inversions de sens du champ magnétique terrestre qui se sont produites entre les époques où les couches se sont déposées.

La détection des inversions permet donc de dater les roches. Dans le domaine du forage de puits pétroliers, la connaissance de l'âge des roches est de la plus grande importance puisqu'elle permet d'établir une corrélation entre les couches.

On connaît déjà des procédés de détection des inversions du champ magnétique terrestre. Le procédé le plus commun consiste à prélever une multitude d'échantillons de roches le long du trou de forage, à les remonter à la surface et à en effectuer en laboratoire une analyse magnétique en vue de déterminer leur aimantation rémanente. Mais cette procédure est longue et coûteuse et de plus, les échantillons acquièrent, lorsqu'ils sont remontés à la surface, un magnétisme parasite influencé par le magnétisme terrestre et par le changement de température.

C'est pourquoi, on a créé par le passé toute une famille de sondes de mesures magnétiques appelées magnétomètres ou magnétogradiomètres qui permettent de déterminer in situ le magnétisme des roches à mesure que ladite sonde se déplace dans le trou de forage, celle-ci étant reliée à une unité de traitement de données disposée à la surface. Lorsqu'on opère sur des roches fortement aimantées, l'induction créée dans le puits par l'aimantation rémanente est suffisamment importante pour être détectée directement. Mais dans le domaine des sondages pétroliers, les roches en présence sont très faiblement aimantées, à de rares exceptions près. Or il est nécessaire de connaître la valeur de l'induction magnétique avec une grande précision. Les inductions en jeu étant de l'ordre de 1 à 10 nanoteslas (nT), il est souhaitable de les connaître avec une précision inférieure au nT.

Il existe des magnétomètres triaxiaux très précis qui permettent de déterminer l'induction magnétique par restitution à partir des trois composantes, mais le manque de précision de la technique rend difficile l'opération dans le domaine des forages pétroliers. Ce manque de précision n'est pas lié aux caractéristiques intrinsèques du magnétomètre, mais plutôt au procédé de détection.

Par le brevet US 4 071 815, on connaît un procédé de détection des inversions du champ magnétique qui consiste à effectuer deux mesures simultanées du champ magnétique total B_1 et B_2 dans le trou de forage en deux points distincts, et deux mesures de la susceptibilité magnétique terrestre X_1 et X_2 aux mêmes points, à calculer les différences $\text{dif } B = B_1 - B_2$ et $\text{dif } X = X_1 - X_2$ et à calculer enfin la quantité $R = \text{dif } B - \text{dif } X$ qui est représentative de la fraction d'aimantation rémanente présente dans la roche au niveau de ces deux points.

Ce procédé connu est valable, mais il souffre d'un manque d'optimisation qui permettrait d'exploiter la grandeur R qui, comme on l'a indiqué ci-dessus, ne contient qu'une fraction de l'information sur l'aimanta-

tion rémanente.

La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients des procédés de la technique antérieure exposée ci-dessus. Elle concerne un procédé de relevé de
5 mesures du champ magnétique dans un puits de forage, ainsi que le traitement de ces mesures en vue de déterminer de façon concrète les zones à polarités inverses et normales traversées par le trou de forage. Une zone à polarité normale est une zone où l'aimantation rémanente dans la
10 roche est orientée dans le même sens que le champ magnétique terrestre actuel et inversement dans une zone à polarité inverse, l'aimantation rémanente de la roche est déphasée de 180° par rapport au champ magnétique terrestre actuel.

15 Le procédé selon l'invention se caractérise en ce qu'il consiste :

- à mesurer les variations de l'induction magnétique terrestre B_1 en un grand nombre de points tout le long du trou de forage par remontée en continu d'un appareil de
20 mesure et simultanément les variations de l'induction magnétique B_2 en un point fixe situé à la surface du sol, ainsi que celles de la susceptibilité magnétique X des roches en un grand nombre de points tout le long du trou de forage par remontée en continu de l'appareil de mesure;

25 - à former la grandeur $B_1 - B_2$ afin d'éliminer les influences des variations temporelles du champ magnétique terrestre sur l'induction magnétique B_1 mesurée dans le trou ;

- à effectuer un filtrage de ladite grandeur afin
30 d'éliminer la fraction d'induction due aux sources magnétiques lointaines, et d'isoler ainsi la fraction restante d'induction B_L qui comprend une composante B_I due à l'aimantation induite et une composante B_R due à l'aimantation rémanente ;

35 - à déduire des mesures de l'induction B_1 et de la susceptibilité magnétique X , l'induction B_I ;

- et enfin à déduire des inductions B_L et B_I ainsi obtenues, l'influence des changements d'orientation de

l'aimantation rémanente.

L'invention concerne également un dispositif permettant d'effectuer le traitement des informations obtenues sur les inductions B_L et B_I en vue d'en déduire le sens de l'aimantation rémanente.

La méthode de détection des inversions de l'aimantation rémanente sera expliquée à présent plus en détail dans la description qui va suivre, faite en regard des dessins annexés dans lesquels :

La figure 1 représente sur le même schéma des exemples de courbes de variations de l'induction B_L et de l'induction B_I en fonction de la profondeur z ;

Les figures 2a, 2b et 2c illustrent un premier procédé de détection des inversions de l'induction rémanente par translation de chaque pic de la courbe de l'induction B_I de la figure 1 pour l'amener en superposition avec le pic correspondant de l'induction B_L ;

La figure 3 représente un exemple de diagramme résumant les résultats obtenus dans un trou de forage ;

La figure 4 illustre un second procédé de détection des inversions de l'induction rémanente par calcul de la dérivée des inductions B_L et B_I et comparaison des pentes moyennes des évolutions de B_I et de B_L sur des échelles de profondeur variables ;

Les figures 5a et 5b représentent schématiquement les appareils de mesure, et leur position.

Comme on l'a expliqué précédemment, on mesure d'une part l'induction magnétique terrestre B_1 et la susceptibilité magnétique X le long du trou de forage et d'autre part l'induction magnétique B_2 à la surface du sol.

On sait que l'induction B_1 est de la forme :

$$B_1 = B_0 + B_L + B_T$$

où B_0 est l'induction liée aux influences magnétiques lointaines,

B_L est l'induction liée aux influences magnétiques proches (aimantation induite et aimantation rémanente),

B_T est l'induction liée aux variations temporelles du champ magnétique terrestre.

Il va de soi que l'induction B_2 à la surface est de la forme $B_2 = B_T$, étant donné que l'influence des sources lointaines et des sources proches est négligeable.

La première opération de traitement en surface consiste à isoler le paramètre B_L . On calcule pour cela :

$$B_1 - B_2 = B_0 + B_L + (B_T - B_{T'})$$

Pour des roches faiblement conductrices, ce qui est le cas dans le domaine géologique pétrolier, on peut identifier B_T et $B_{T'}$, sans dégradation des résultats jusqu'à une profondeur de 2000 mètres. Au delà, il est nécessaire de considérer l'atténuation créée par les couches susjacentes.

En raison de ses origines, l'induction B_0 possède des variations de plus grande longueur d'onde que l'induction B_L . Grâce à un filtrage approprié, on peut donc séparer convenablement B_L et B_0 . On dispose donc ainsi de B_L et ceci avec une grande précision. On rappelle que l'information contenue dans la grandeur B_L concerne en partie l'aimantation induite B_I et pour une autre partie l'aimantation rémanente B_R .

D'autre part, de la mesure de B_L on peut déterminer avec une grande précision l'induction B_I créée par l'aimantation induite des roches traversées par le trou de forage par la formule :

$$B_I = X B_L k$$

où k est le facteur de couplage entre X et l'induction dans le puits, dépendant de la géométrie de la formation et du puits.

A partir de ce stade, deux techniques peuvent être mises en oeuvre pour détecter les inversions de l'aimantation rémanente, ces techniques s'appuyant sur des arguments théoriques et expérimentaux.

L'une de ces techniques consiste à tracer les diagraphies de B_L et B_I (en nT) en fonction de la profondeur z (en m). La figure 1 représente un exemple de ces diagraphies. Comme on le constate, les pics et les

creux de B_L et B_I ont une périodicité déterminée (de l'ordre du mètre par exemple). Un pic est déterminé comme correspondant à une augmentation de l'aimantation dans la formation.

5 Pour chacun des pics, on prend comme origine de la courbe B_L , le point A où l'induction est la plus faible, et comme origine de la courbe B_I , le point correspondant A' à la même profondeur. On fait subir à la période de courbe B_I une translation $\overrightarrow{AA'}$, ce qui amène donc le point
 10 A' en coïncidence avec A. Plusieurs configurations peuvent alors se présenter, dont on ne considérera ci-après que quelques exemples avec les interprétations qui en découlent pour une configuration des champs magnétiques identique à celle rencontrée dans le Bassin Parisien. Il
 15 est à noter que pour d'autres configurations des champs magnétiques, rencontrées dans d'autres parties du globe, les interprétations seront différentes mais basées sur le même principe d'analyse des courbes.

20 1- La courbe B_I se trouve au-dessus de la courbe B_L (figure 2a) : l'augmentation de B_I est atténuée par B_R . La partie rémanente B_R comprise dans B_L est donc antagoniste de B_I ; l'aimantation rémanente dans la formation est opposée à l'aimantation induite. On dit que l'aimantation rémanente est inverse.

25 2- La courbe B_I translatée est confondue avec la courbe B_L (figure 2b) : il y a indétermination sur la direction de B_R .

30 3- La courbe B_I translatée est en dessous de la courbe B_L (figure 2c), ce qui signifie que l'augmentation de B_I est renforcée par B_R . Il en résulte que l'aimantation rémanente dans la formation est dans le sens de l'aimantation induite. On dit que l'aimantation rémanente est normale.

35 On procède de la même façon pour chaque pic des diagraphies B_L et B_I . Tous les résultats obtenus peuvent être ensuite résumés dans le diagramme de la figure 3, portant la profondeur z en abscisses et le sens de B_R en ordonnées.

La seconde technique de détection des inversions de l'induction rémanente, consiste à partir des courbes d'induction B_L et B_I et à calculer les valeurs absolues des gradients ou des dérivées premières et pour une base dz appropriée. Ce calcul permet de s'affranchir des grandes variations générales de ces inductions dues à la lithologie des roches et de ne retenir que les variations locales. On obtient ainsi deux profils de courbes GB_L et GB_I représentées sur la figure 4.

Pour chacune des courbes GB_L et GB_I , on calcule ensuite des familles de courbes L_i et I_i paramétrées respectivement en fonction de la dérivée seconde de B_L et de B_I .

A titre d'exemple, la courbe extrême L_n passera par les valeurs maximales de GB_L ; la courbe I_n passera par les valeurs extrêmes de GB_I . On prend ensuite la valeur absolue des courbes L_i et I_i et on calcule le rapport :

$$K_i = \frac{L_i}{I_i}$$

A titre d'exemple, on calculera le rapport des valeurs des courbes extrêmes prises en valeur absolue :

$$K_n = \frac{L_n}{I_n}$$

La valeur de K_i sera supérieure à 1 ou inférieure à 1 suivant la position relative des courbes L_i et I_i .

Dans une configuration magnétique identique à celle rencontrée dans le Bassin Parisien, si $K_i > 1$, l'aimantation rémanente est du type normale (c'est-à-dire dans le sens de l'aimantation induite), si $K_i < 1$, l'aimantation rémanente est du type inverse (c'est-à-dire dans le sens opposé à l'aimantation induite). Dans d'autres configurations magnétiques rencontrées à la surface du globe, les conclusions pourraient être différentes.

On notera que la visualisation de K_i est meilleure en représentant son logarithme. La polarité de B_R est déterminée en fonction du signe du $\log(K_i)$.

Les mesures et calculs mentionnés précédemment sont exécutés par un dispositif de traitement illustré schématiquement par les figures 5a et 5b. Ce dispositif comprend une première sonde 10 comprenant un capteur 12 5 enfermé dans un conditionnement 14 pour mesurer l'induction magnétique B_1 dans le trou de forage 16, à mesure qu'il se déplace dans ledit trou, un capteur 18 pour mesurer l'induction magnétique B_2 à la surface du sol 21 en un point fixe de façon simultanée à la mesure de B_1 , 10 une deuxième sonde 20 comprenant un émetteur 22 et un capteur 24 enfermés dans une enveloppe protectrice 26, pour mesurer la susceptibilité magnétique des roches dans le trou de forage pendant son déplacement dans le trou, et une unité d'enregistrement et de traitement de données 28 15 qui comprend des moyens permettant de calculer la grandeur $B_1 - B_2$, des moyens de filtrage de la grandeur $B_1 - B_2$ afin d'isoler la fraction d'induction B_L qui ne contient que la composante B_I due à l'aimantation induite et la composante B_R due à l'aimantation rémanente, et des 20 moyens permettant de calculer l'induction B_I à partir de l'induction B_1 dans le trou et de la susceptibilité magnétique X . Sur la figure 5b, on a figuré en traits tiretés les lignes de champ magnétique 30.

Pour la mise en oeuvre de la première technique de 25 détection exposée précédemment, on peut utiliser un dispositif comprenant des moyens pour tracer les courbes B_L et B_I , des moyens pour faire subir à chaque pic de la courbe B_I une translation AA' qui fait coïncider le point A de la courbe B_I de plus faible valeur avec le point A' 30 correspondant de la courbe B_L , et des moyens pour comparer l'évolution relative des courbes B_L et B_I ainsi positionnées.

Pour la seconde technique de détection on peut 35 utiliser selon l'invention des moyens pour calculer les dérivées premières des inductions B_L et B_I , des moyens pour tracer les courbes dérivées en fonction de la profondeur (la base de profondeur pouvant être variable), des moyens pour calculer et tracer les familles de

courbes L_i et I_i paramétrées par la dérivée seconde des courbes B_L et B_I , des moyens pour prendre la valeur absolue de ces familles de courbes, et des moyens pour calculer le rapport

5

$$K_i = \frac{L_i}{I_i}$$

et pour étudier sa valeur en fonction de la profondeur.

REVENDEICATIONS

1- Procédé de détection des inversions du champ magnétique terrestre dans un trou de forage, caractérisé en ce qu'il consiste :

5 - à mesurer les variations de l'induction magnétique terrestre B_1 en un grand nombre de points tout le long du trou de forage, par remontée en continu d'un appareil de mesure et simultanément les variations de l'induction magnétique B_2 en un point fixe à la surface du sol (21),
10 ainsi que les variations de la susceptibilité magnétique X des roches en un grand nombre de points tout le long du trou de forage (16) par remontée en continu de l'appareil de mesure;

 - à former la grandeur $B_1 - B_2$ afin d'éliminer les
15 influences des variations temporelles de l'induction magnétique terrestre sur l'induction magnétique B_1 mesurée dans le trou ;

 - à effectuer un filtrage de ladite grandeur afin
d'éliminer la fraction d'induction due aux sources
20 magnétiques lointaines, et d'isoler ainsi la fraction restante d'induction B_L qui comprend une composante B_I due à l'aimantation induite et une composante B_R due à l'aimantation rémanente;

 - à déduire des mesures de l'induction B_1 et de la
25 susceptibilité magnétique X , l'induction B_I ;

 - et enfin à déduire des inductions B_L et B_I ainsi
obtenues, l'influence des changements d'orientation de
l'aimantation rémanente dans la roche.

2- Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon
30 la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend :

 - une première sonde (10) pour mesurer l'induction
magnétique B_1 dans le trou de forage (16) pendant son
déplacement dans ledit trou;

 - un capteur (18) pour mesurer l'induction magnétique
35 B_2 à la surface du sol (21) en un point fixe de façon
simultanée à la mesure de B_1 ;

 - une deuxième sonde (20) pour mesurer la
susceptibilité magnétique des roches dans le trou de

forage pendant son déplacement dans ledit trou;

- une unité d'enregistrement et de traitement de données (28) qui comprend des moyens permettant de calculer la grandeur B_1-B_2 , des moyens de filtrage de la grandeur B_1-B_2 afin d'isoler la fraction d'induction B_L qui ne contient que la composante B_I due à l'aimantation induite et la composante B_R due à l'aimantation rémanente, et des moyens permettant de calculer l'induction B_I à partir de l'induction B_1 dans le trou et de la susceptibilité magnétique X .

3- Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour tracer les courbes B_L et B_I , des moyens pour faire subir à chaque pic de la courbe B_I une translation $\overrightarrow{AA'}$ qui fait coïncider le point A de la courbe B_I de plus faible valeur au point A' correspondant de la courbe B_L et des moyens pour comparer les amplitudes relatives des pics correspondants des courbes B_L et B_I .

4- Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour calculer les dérivées premières des inductions B_L et B_I , des moyens pour tracer les courbes dérivées de ces inductions en fonction de la profondeur, la base de profondeur pouvant être variable, des moyens pour calculer et tracer les familles de courbes L_i et I_i paramétrées par la dérivée seconde des courbes B_L et B_I , des moyens pour prendre la valeur absolue de ces familles de courbes, et des moyens pour calculer le rapport $K_i = \frac{L_i}{I_i}$ et pour étudier sa valeur en fonction de la profondeur.

1/4

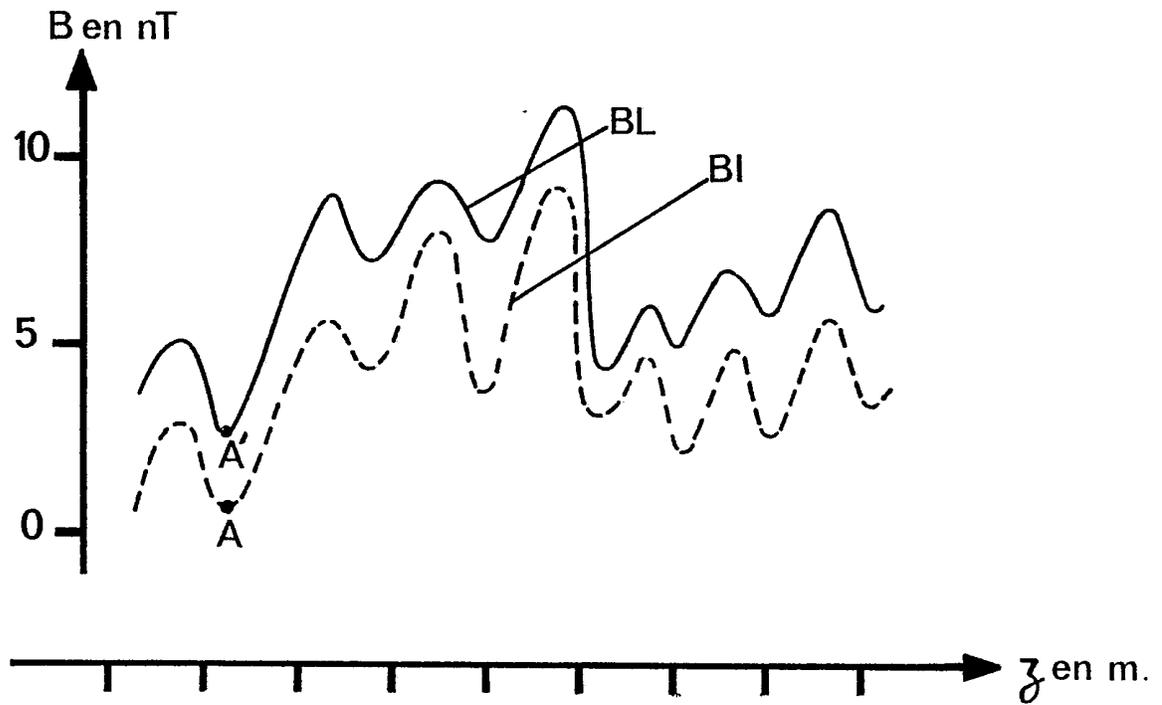


FIG. 1

2/4

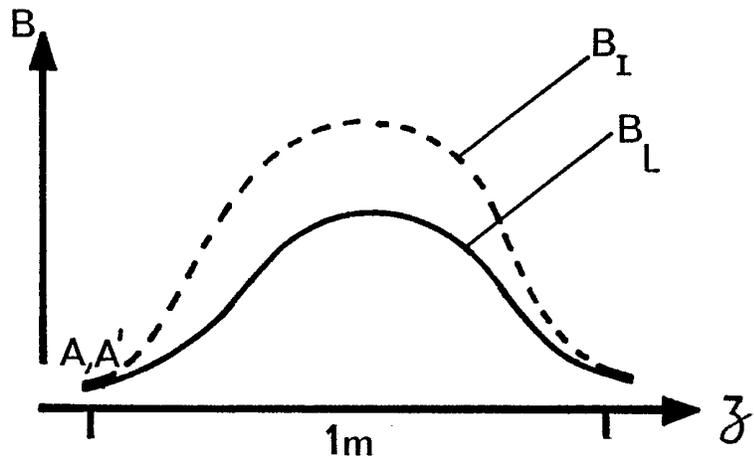


FIG.2a

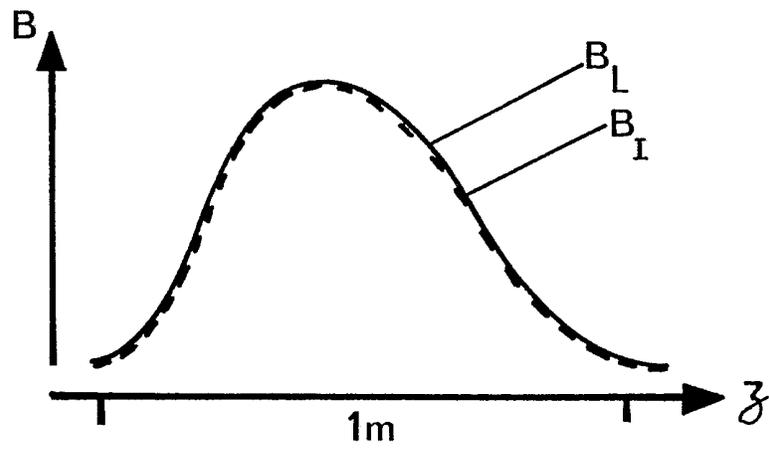


FIG.2b

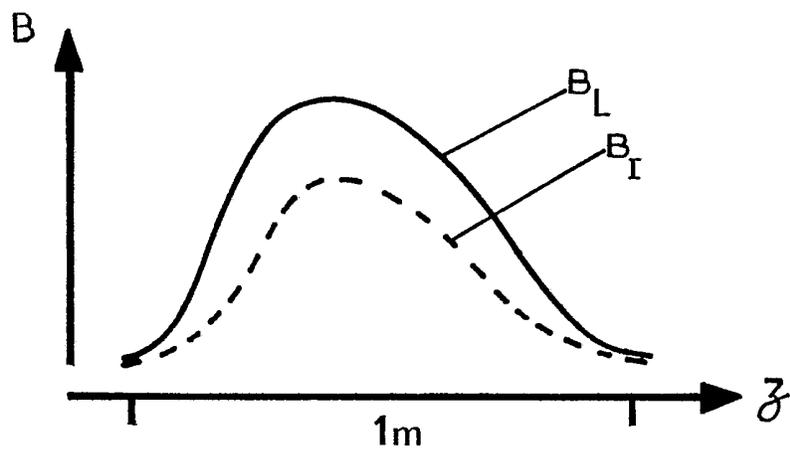
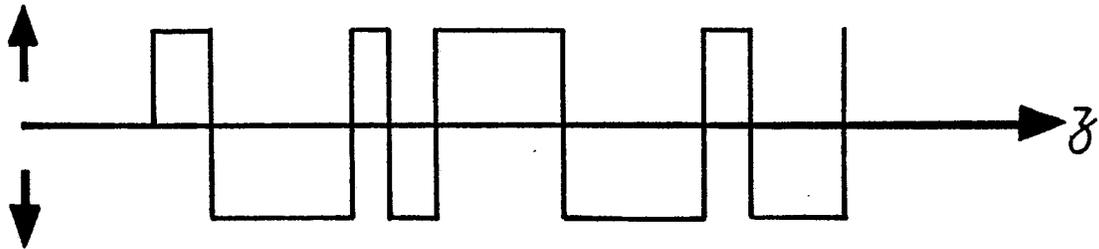


FIG.2c

3/4

Aimantation rémanente Normale



Aimantation rémanente Inverse

FIG. 3

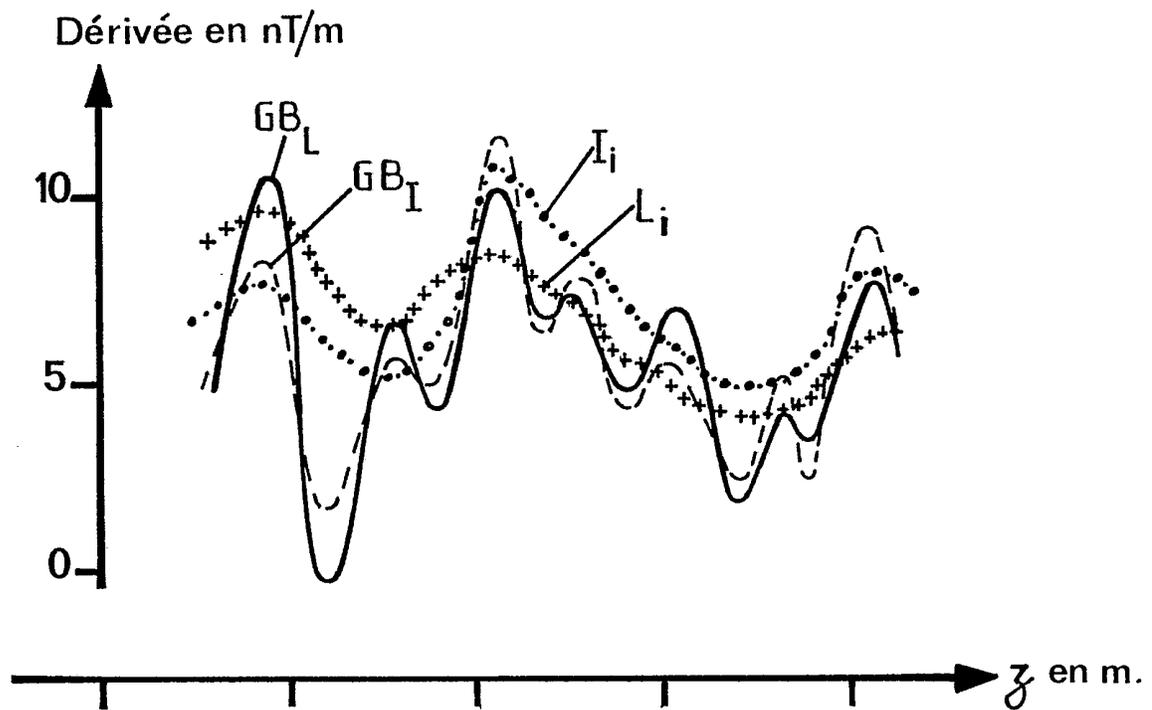


FIG. 4

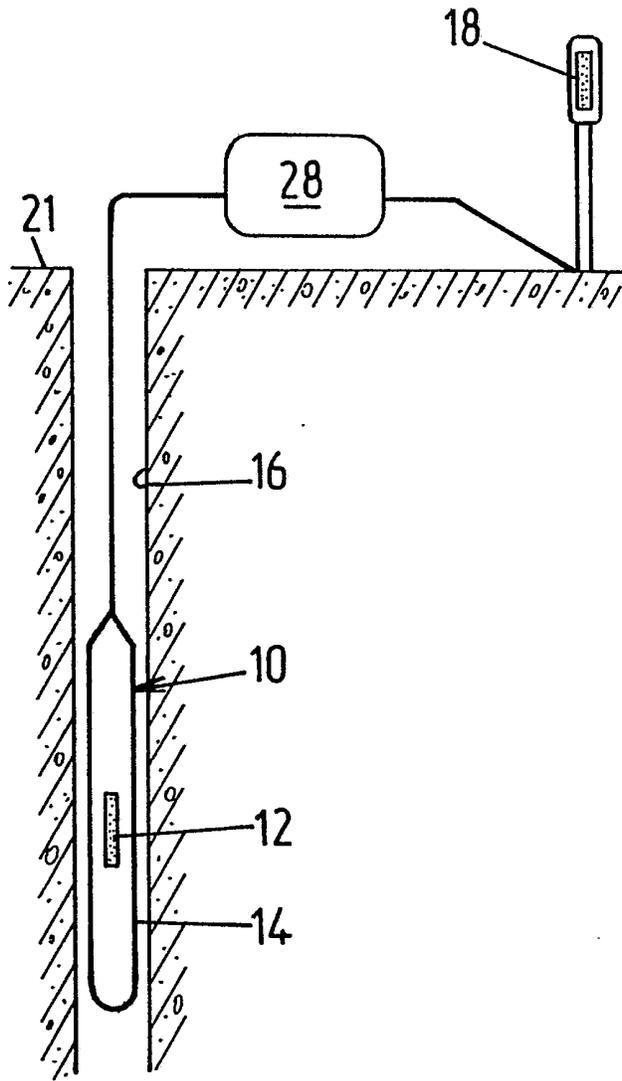


FIG. 5a

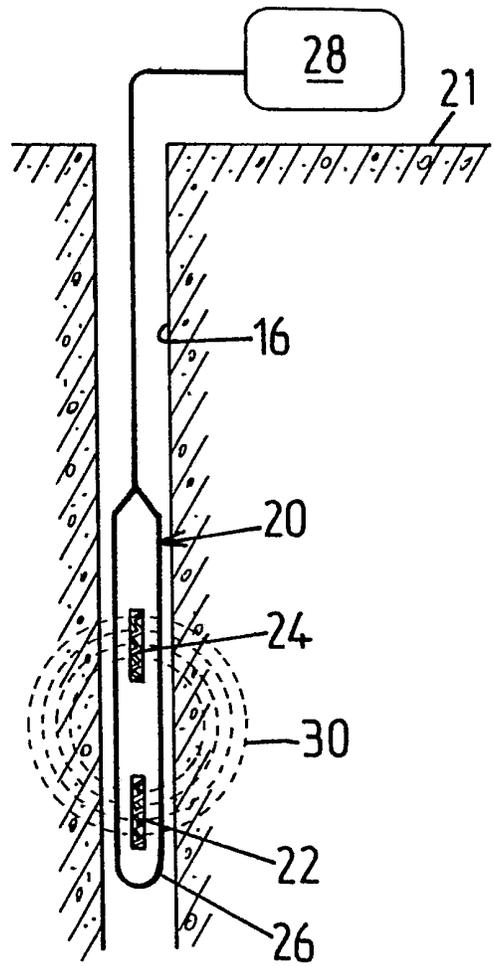


FIG. 5b

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

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

FR 8913199
FA 434677

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	GB-A-2158950 (COMPAGNIE FRANCAISE DES PETROLES) * page 6, lignes 17 - 49; revendication 1 * ---	1-3
A	US-A-3453531 (R.K.WARREN) * revendication 1 * ---	1
A	US-A-4071815 (J.ZEMANEK) * colonne 2, ligne 58 - colonne 3, ligne 5 * ---	1
A	US-A-3965412 (S.H.YUNGUL) * colonne 3, lignes 17 - 28 * -----	1
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		G01V G01R
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
18 JUIN 1990		SWARTJES H.M.
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>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 I : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		