

⑫

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑳ Numéro de dépôt: 85111200.3

⑤① Int. Cl.⁴: **E 21 B 47/022**

㉔ Date de dépôt: 05.09.85

③① Priorité: 07.09.84 FR 8413764

④③ Date de publication de la demande:
19.03.86 Bulletin 86/12

⑧④ Etats contractants désignés:
BE DE FR GB NL

⑦① Demandeur: **ALSTHOM**
38, avenue Kléber
F-75784 Paris Cédex 16(FR)

⑦② Inventeur: **Obrecht, Georges**
14 rue des Mûriers
F-38170 Seyssins(FR)

⑦② Inventeur: **Dreuilhe, Claude**
Chemin de Genissieux Cldex 387
F-38330 Saint Ismier(FR)

⑦④ Mandataire: **Weinmiller, Jürgen et al,**
Zeppelinstrasse 63
D-8000 München 80(DE)

⑤④ **Méthode de mesure d'azimut pour forage incliné.**

⑤⑦ **Méthode de mesure d'azimut pour forage incliné.**

Pendant la rotation de la garniture de forage on mesure en permanence deux composantes du champ magnétique à l'intérieur d'un tronçon cylindrique de révolution de la garniture, ce tronçon étant constitué de l'acier ferromagnétique habituellement utilisé pour la réalisation de la garniture.

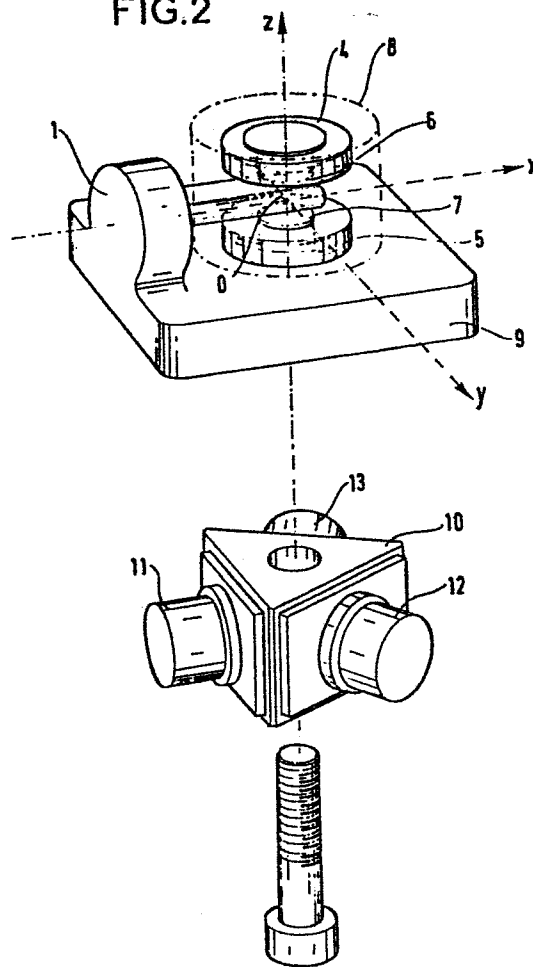
Ces composantes sont mesurées par un magnétomètre 1 selon deux axes Ox et Oy perpendiculaires à l'axe Oz de ce tronçon et tournant avec ce dernier.

A l'instant où la composante de l'accélération de la pesanteur est maximale selon Ox, un dispositif accélérométrique 11, 12, 13 commande le calcul et l'enregistrement du rapport des deux composantes mesurées du champ magnétique. A partir de la valeur ainsi enregistrée, de l'inclinaison de la garniture mesurée par ailleurs, et de l'inclinaison locale du champ magnétique, on calcule l'azimut de la garniture par rapport au nord magnétique.

L'invention permet notamment la détermination permanente de la position d'un outil de forage au cours de la progression d'un forage incurvé.

./...

FIG.2



Méthode de mesure d'azimut pour forage incliné

La présente invention s'applique notamment à la mesure de l'azimut de la partie profonde d'un puits de forage, lorsque le forage a été volontairement ou involontairement incurvé. Cette mesure a notamment pour but la connaissance de la position de l'outil de forage et de sa direction de progression.

Le trajet d'un forage est géométriquement déterminé par deux paramètres qui sont en principe définis en chaque point de l'axe (curviligne) du trou, qui évoluent sur la longueur du puits et dont l'intégration sur cette longueur à partir de l'entrée du puits jusqu'à un point de l'axe du trou donne les coordonnées de ce point. Le premier de ces paramètres est l'inclinaison de l'axe au point considéré par rapport à la verticale. Le second n'est défini que si l'inclinaison n'est pas nulle. C'est l'azimut de cet axe c'est-à-dire l'orientation du plan vertical de l'axe de ce tronçon par rapport à une direction horizontale de référence qui est en général soit le nord magnétique soit le nord géographique. Sa mesure apparaît plus difficile que celle de l'inclinaison.

Les méthodes de mesure de l'azimut par rapport au nord géographique utilisent des dispositifs de référence gyroscopiques qui présentent l'inconvénient d'être très sensibles aux vibrations qui apparaissent en cours de forage, ce qui oblige à ne les mettre en place qu'après un arrêt du forage, et à les récupérer avant la reprise du forage.

C'est pourquoi la présente invention concerne une méthode de mesure d'azimut par rapport au nord magnétique, car les méthodes connues de ce genre permettent de laisser les dispositifs de mesure en place pendant la progression du forage. Mais les capteurs magnétiques de ces dispositifs sont sensibles non seulement au champ magnétique terrestre local qui doit leur servir de référence, mais aussi à des champs parasites tels que ceux créés par des masses ferromagnétique proches. Or ces dispositifs doivent être logés dans la partie inférieure de la garniture de forage. Cette garniture relie l'outil ou le moteur de forage à la surface et est formée d'un train de tubes, qui sont généralement appelés "tiges" (en anglais drill pipe). Ces tiges présentent normalement une longueur individuelle de l'ordre de neuf mètres, et sont constituées

d'un acier choisi pour ses qualités mécaniques et son prix. Cet acier est ferromagnétique et crée de tels champs parasites.

Plus précisément, en l'absence de précautions particulières, le champ magnétique au voisinage de l'extrémité inférieure du train de tiges de forage peut être défini comme étant la somme de trois champs :

5 - le champ terrestre local résultant du magnétisme terrestre et de l'influence du terrain,

- un champ parasite induit par le précédent dans des tiges de forage présentant une symétrie de révolution autour de l'axe de ces tiges,

10 - et un champ parasite supplémentaire éventuel lié à ces tiges et pouvant correspondre à une dissymétrie magnétique fixe de la garniture, ou à la présence d'une particule aimantée par exemple destinée à définir la position angulaire du plan dans lequel le moteur de déviation tend à incurver le forage. Cette position angulaire est appelée en anglais

15 "tool face".

Les méthodes connues de mesure d'azimut magnétique évitent l'influence perturbatrice de tels champs parasites en remplaçant deux ou trois des tiges de forages terminales (masses-tiges) de type usuel, c'est-à-dire ferromagnétiques, par des masses tiges spéciales amagnétiques (en anglais monel collars) dans l'une desquelles sont logés les

20 capteurs magnétiques. Ces derniers sont ainsi écartés des sources de champs parasites. Mais, compte tenu des efforts mécaniques que doivent transmettre les tiges de forage, le coût de ces masses tiges spéciales est élevé.

25 Par ailleurs, certaines méthodes connues comportent une mesure des trois composantes du champ magnétique selon trois axes perpendiculaires deux à deux et impliquent pour cela une immobilisation temporaire c'est-à-dire un arrêt temporaire de la rotation de la garniture. Cette rotation étant généralement nécessaire à la progression du forage, ceci

30 entraîne un arrêt de cette progression.

Une autre méthode connue s'affranchit d'une telle triple mesure selon trois axes fixes. Elle va être sommairement décrite ci-après en tenant compte du fait que certaines opérations apparaissent, de manière générale, comme communes à cette méthode connue et à la présente invention. Ces opérations communes sont les suivantes :

35

- élaboration d'un signal de référence de phase gravitaire à l'aide d'un élément affecté par la pesanteur et d'un système tournant qui sont disposés dans un tronçon tubulaire de ladite garniture, ce tronçon constituant un tronçon de mesure et présentant un axe qui coïncide localement avec celui du forage, ce signal étant synchronisé sur la position angulaire de ce système par rapport au plan vertical de cet axe,

- élaboration, par un élément solidaire de ce système tournant et sensible au champ magnétique ambiant dans ce tronçon, d'un signal magnétométrique synchronisé sur la position angulaire de ce système par rapport à ce champ magnétique, ce tronçon étant constitué d'un matériau amagnétique pour que ce champ ambiant ne soit pas trop différent du champ terrestre local,

- mesure de la phase de ce signal magnétométrique par rapport à ce signal de référence de phase gravitaire,

- et utilisation du résultat de cette mesure pour déterminer l'azimut de l'axe du tronçon de mesure par rapport au nord magnétique.

Cette méthode connue est décrite dans le document de brevet FR-A-2.068.829 (SAGEM).

Plus particulièrement, selon cette méthode, la rotation de la garniture et la progression du forage sont arrêtés avant les opérations de mesure. Un système tournant complexe (14, 15, 16, 17, 18) est entraîné en rotation autour de deux axes par un moteur 12. Un dispositif pendulaire 7 est muni d'une masse pesante 8, qui amène l'un de ces axes de rotation en position verticale, et qui constitue ici ledit élément affecté par la pesanteur. Un élément 16 fait partie du système tournant et est sensible au champ magnétique local. Il présente un axe de sensibilité et fournit une impulsion électrique lorsque la composante de ce champ selon cet axe passe par une valeur maximale au cours de la rotation. Cette impulsion constitue un signal magnétométrique tel que précédemment mentionné. Un organe tournant 23 solidaire de cet élément 16 coopère avec un organe non tournant 24 solidaire de la masse 8 pour fournir une autre impulsion électrique, qui constitue un signal de référence de phase gravitaire tel que précédemment mentionné.

Outre l'arrêt de la progression du forage, cette méthode connue présente les inconvénients d'utiliser un système tournant mécaniquement

complexe, et de nécessiter la mise en place de tiges de forage amagnétiques.

La présente invention a pour but de permettre de mesurer, par rapport au nord magnétique, l'azimut d'un forage incliné sur la verticale, de manière précise et continue pendant la progression du forage, sans utilisation de tubes ou tiges de forage amagnétiques couteux ni systèmes mécaniques spéciaux complexes.

Elle a également pour but de permettre de connaître la position d'un outil de forage d'une manière précise, peu couteuse et continue pendant la progression du forage.

La méthode de mesure d'azimut selon l'invention comporte les opérations communes précédemment mentionnées, et elle est caractérisée par le fait que lesdites élaborations d'un signal de référence de phase gravitaire et d'un signal magnétométrique sont effectuées pendant la rotation de la garniture de manière à ne pas arrêter la progression du forage, cette rotation entraînant celle dudit tronçon de mesure qui tourne autour de son axe et constitue ledit système tournant utilisé pour ces élaborations,

- que les tiges de la garniture de forage sont constituées d'acier ferromagnétique de part et d'autre de ce tronçon de mesure de manière à être à la fois peu coûteuses et mécaniquement résistantes, tout en s'aimantant sous l'action du champ terrestre local et en créant un champ induit dans ce tronçon de mesure, ce tronçon pouvant de plus présenter une dissymétrie magnétique par rapport à son axe, et pouvant comporter des éléments à aimantation permanente de sorte que le champ ambiant dans le tronçon de mesure est constitué par la somme du champ terrestre local, du champ parasite éventuel de ces éléments, et dudit champ induit par les tiges de garniture proches de ce tronçon, ce champ induit étant parallèle à l'axe de ce tronçon en raison de la forme tubulaire de la garniture,

- ladite opération d'élaboration du signal magnétométrique comportant une mesure d'au moins une composante dudit champ magnétique ambiant selon un axe magnétométrique lié à ce tronçon et perpendiculaire à l'axe de celui-ci et cette mesure portant sur les variations de ladite composante pour fournir au moins un signal magnétométrique qui soit indépendant desdits champs induit et parasite et qui soit alternatif à la

période de la rotation de la garniture,

- ladite mesure de la phase dudit signal magnétométrique par rapport au signal de référence de phase gravitaire fournissant une information de phase,

5 - cette méthode comportant en outre les opérations suivantes :

- mesure de l'angle d'inclinaison de l'axe du tronçon de mesure par rapport à la verticale pour fournir une information d'inclinaison de garniture représentative de cet angle,

10 - et combinaison de l'information de phase, de l'information d'inclinaison de garniture et d'une information d'inclinaison de champ préétablie représentative de l'inclinaison du champ magnétique terrestre au lieu du forage, pour élaborer une information d'azimut représentative de l'angle entre le plan vertical de l'axe du tronçon de mesure et le plan vertical du champ magnétique terrestre.

15 Il doit être compris que le mot signal est pris ici dans un sens général : Un signal peut être constitué non seulement par un potentiel ou une intensité électrique dans un conducteur, ou par une pression dans un tuyau etc, mais aussi par la fréquence d'un système oscillant électrique, hydraulique ou mécanique, ou par la différence entre les positions
20 de deux pièces mécaniques etc... Il s'agit de toute grandeur physique variant dans le temps selon les variations de la grandeur représentée, et susceptible d'être utilisée comme information sur cette grandeur. Cependant, en pratique, les signaux des types les plus habituels, c'est-à-dire électriques, et transportés par des conducteurs semblent
25 les plus simples à utiliser à l'heure actuelle.

Pour l'élaboration des signaux magnétométrique et de référence de phase, l'utilisation d'un système tournant constitué simplement par un tronçon de la garniture de forage évite tout recours à un dispositif mécanique spécial de rotation, plus ou moins complexe et fragile,
30 puisque cette garniture doit être par ailleurs entraînée en rotation pour permettre une progression convenable du forage. Mais cette utilisation présente l'inconvénient apparent que la vitesse de rotation d'un tel système tournant est imposée et ne peut plus être choisie de façon à permettre une bonne mesure d'azimut. On sait en particulier que la
35 vitesse de rotation de la garniture subit fréquemment des variations

liées à la progression du forage et évidemment susceptibles de perturber la mesure d'une phase angulaire relative au cours de la rotation. Il est apparu aux présents inventeurs que cet inconvénient pouvait être sur-
monté par des dispositions suffisamment simples pour ne pas augmenter
5 sensiblement le coût de la mesure d'azimut. De telles dispositions seront décrites ci-après.

La mesure de l'inclinaison de l'axe du tronçon de mesure par rapport à la verticale peut être faite de diverses manières connues ou non de l'homme du métier. L'une de ces manières sera décrite ci-après.

10 La combinaison des informations de phase d'inclinaison de garniture et d'inclinaison de champ peut être faite à la surface du sol à partir des mesures de phase et d'inclinaison. Les résultats de ces mesures peuvent être transmis à partir du fond, par exemple par le procédé connu appelé MUD-PULSE. Cette combinaison peut aussi être faite
15 au fond à l'aide d'un calculateur convenablement programmé disposé dans le tronçon de mesure et dans un registre duquel l'information d'inclinaison de champ a été inscrite à la surface du sol avant le commencement du forage. Cette combinaison se fait conformément à des calculs trigonométriques à la portée des spécialistes. Le résultat d'un tel calcul sera
20 donné ci-après.

La longueur de la partie amagnétique de la garniture, c'est-à-dire du tronçon de mesure proprement dit et de zones éventuelles de raccordement permettant le montage, peut être celles d'une tige normale, de l'ordre de 9 m, alors que dans les méthodes antérieures elle était de
25 plusieurs dizaines de mètres. Mais cette longueur peut être avantageusement abaissée selon l'invention à des valeurs plus basses, de l'ordre par exemple de 2 m, qui permettent encore un montage facile. Elle peut être encore réduite. Mais elle ne doit pas descendre beaucoup au-dessous du diamètre de la garniture. Si elle le faisait l'influence directe du
30 champ terrestre local sur les magnétomètres dans le tronçon de mesure deviendrait trop petite par rapport à celle du champ induit par les parties de la garniture ferromagnétique les plus proches.

Dans le cadre de l'invention on peut de plus adopter avec avantage les dispositions suivantes :

35 Ladite mesure d'au moins une composante du champ magnétique est une

mesure d'une première et d'une deuxième composantes H_x et H_y selon un premier et un deuxième axes magnétométriques O_x et O_y perpendiculaires à l'axe O_z du tronçon de mesure, et de préférence entre eux. Cette mesure comportent la détermination d'une valeur moyenne ($\bar{H}_x = (H_{xm} + H_{xM})/2$ et $\bar{H}_y = (H_{ym} + H_{yM})/2$ de chacune de ces composantes, les symboles H_{xM} et H_{xm} désignant respectivement les valeurs maximale et minimale de la composante H_x , une symbolisation analogue étant utilisée pour la composante H_y . Un premier et un deuxième signaux magnétométriques alternatifs sont constitués respectivement par la différence $H_x - \bar{H}_x$ entre cette première composante et sa valeur moyenne et par la différence $H_y - \bar{H}_y$ entre cette deuxième composante et sa valeur moyenne, et ledit signal de référence de phase gravitaire est élaboré de manière à marquer directement un instant déterminé. (Un tel signal peut être constitué par exemple par une impulsion brève, ou par une impulsion rectangulaire, l'instant marqué étant celui de son front de montée ou de son front de descente, ou par l'ensemble de deux signaux marquant l'instant où ils passent par des valeurs égales etc... Ceci s'oppose, par exemple, à un signal sinusoïdal qui comporterait une composante continue inconnue, et sur lequel il serait certes possible de se synchroniser pour définir à l'aide d'un circuit auxiliaire un instant déterminé, mais qui ne marquerait pas directement cet instant).

Ladite mesure de phase est alors une mesure du rapport $(H_{y_0} - \bar{H}_y)/(H_{x_0} - \bar{H}_x)$ de la valeur instantanée du deuxième dit signal magnétométrique alternatif à celle du premier à l'instant t_0 marqué par le signal de référence de phase gravitaire et ladite information de phase est représentée par un angle a_1 défini par ce rapport du deuxième au premier signal magnétométrique. Cet angle est celui dont la tangente $\text{tg } a_1$ est égale à ce rapport si les deux axes magnétométriques sont perpendiculaires l'un à l'autre. Cet angle défini par ce rapport est diminué de l'angle prédéterminé d'avance éventuelle du premier axe magnétométrique autour de l'axe du tronçon de mesure par rapport à un plan qui est lié à ce tronçon et qui est celui qui passe par l'axe de celui-ci, et par la verticale à l'instant marqué par le signal de référence de phase. L'information de phase n'est alors pas affectée par des variations éventuelles de la vitesse de rotation de la garniture.

L'angle a_1 est donc défini à 180° près par l'égalité

$$\operatorname{tga}_1 = (H_{y_0} - \bar{H}_y) / (H_{x_0} - \bar{H}_x)$$

5 Quoique cette manière de calculer l'angle a_1 semble préférable dans le but d'éviter que des variations de la vitesse de rotation de la garniture n'entraînent des erreurs de mesure, il doit être compris que l'essentiel selon la présente invention est que l'angle a_1 soit défini par la mesure d'un rapport de grandeurs magnétiques, et non par la mesure d'un temps ou même d'un rapport de temps.

10 Il serait notamment éventuellement possible, si on disposait par ailleurs d'informations complémentaires imprécises sur l'angle a_1 , de le mesurer précisément par l'intermédiaire de son cosinus à l'aide de la mesure de la seule composante H_x et du calcul de l'expression :

$$15 \quad 2(H_{x_0} - \bar{H}_x) / (H_{xM} - H_{xm}).$$

Par ailleurs ledit angle prédéterminé d'avance éventuelle est de préférence nul, c'est-à-dire que le signal de référence de phase gravitaire marque l'instant où le premier axe magnétométrique passe dans le plan vertical de l'axe du tronçon de mesure.

20 Ladite opération d'élaboration d'un signal de référence de phase gravitaire comporte de préférence une mesure de l'accélération totale en un point intérieur au tronçon de mesure et lié à celui-ci, selon au moins un axe accélérométrique également lié à celui-ci et incliné sur l'axe de celui-ci, de sorte que cette accélération totale est la somme de l'accélération de la pesanteur et d'une accélération centrifuge éventuelle due à la rotation de la garniture et que l'accélération mesurée comporte une composante accélérométrique alternative à la période de cette rotation. Le signal de référence de phase gravitaire est alors synchronisé sur cette composante accélérométrique alternative, ladite information de phase étant représentative d'un angle d'avance du signal magnétométrique alternatif par rapport à ce signal de référence. Cet angle d'avance doit être bien entendu diminué de l'angle d'avance éventuel de l'axe magnétométrique par rapport à l'axe accélérométrique autour de l'axe du tronçon de mesure, et diminué de l'angle de retard éventuel du signal de référence de phase gravitaire par rapport à un instant où ladite composante

25

30

35

accélérométrique alternative atteint une valeur extrême.

Le signal de référence de phase gravitaire marque de préférence l'instant où la composante mesurée de l'accélération totale passe par une valeur extrême, par exemple par un maximum, de manière à rendre nul
5 ledit angle de retard éventuel du signal de référence de phase gravitaire.

Ledit axe accélérométrique est de préférence perpendiculaire à l'axe du tronçon de mesure. Dans ce cas, après ladite mesure des variations d'une composante de l'accélération selon cet axe, on peut calculer
10 le rapport d'une valeur accélérométrique définie ci-après à l'intensité locale prédéterminée de la pesanteur. Cette valeur accélérométrique est la demie amplitude des variations d'une composante de l'accélération connue par cette mesure. Il en résulte que ce rapport est égal au sinus de l'angle d'inclinaison de l'axe du tronçon de mesure à partir de la
15 verticale et que cette mesure complétée par ce calcul constitue en même temps ladite mesure de l'inclinaison de l'axe du tronçon de mesure.

Ladite mesure des variations d'au moins une composante de l'accélération totale est de préférence une mesure d'une première, d'une deuxième et d'une troisième composantes de cette accélération en trois
20 points équidistants de l'axe de la garniture selon un premier, un deuxième et un troisième axes accélérométriques perpendiculaires à l'axe du tronçon de mesure, partant de cet axe et décalés angulairement de 120° les uns par rapport aux autres. On forme ainsi un premier, un deuxième et un troisième signaux accélérométriques représentant respec-
25 tivement ces composantes. On calcule alors un signal accélérométrique total égal au premier signal accélérométrique diminué de la demi-somme des deux autres, de manière que ce signal soit indépendant de l'accélération centrifuge et soit alternatif et périodique avec la période de rotation de la garniture. Le tiers de l'amplitude de ce signal total
30 constitue ladite valeur accélérométrique utilisée pour élaborer ladite information d'inclinaison de garniture. Le signal de référence de phase gravitaire est alors de préférence élaboré à partir des deuxième et troisième signaux accélérométriques et marque l'un des quatre instants dans chaque période de rotation où la différence entre les valeurs
35 absolues de ces signaux s'annule.

Pour l'élaboration du signal de référence de phase gravitaire il serait bien entendu possible de mesurer un nombre différent de trois de composantes de l'accélération.

5 Dans le cas où ce nombre est égal à trois il serait possible d'utiliser les résultats de ces mesures d'une façon différente de celle qui est indiquée ci-dessus. Si on les utilise de cette façon le signal de référence de phase marque par exemple, à chaque tour du tronçon de mesure, l'instant t_0 où à la fois la différence $F_2 - F_3$ s'annule (cela se produit deux fois par tour) et le premier signal accélérométrique F_1 est
10 positif (et donc maximal). Ledit angle de retard éventuel du signal de référence de phase est alors nul.

Quant à l'angle d'avance éventuel de l'axe magnétométrique utilisé pour élaborer ladite information de phase c'est un angle d'avance par rapport au premier axe accélérométrique et il est nul si ce dernier axe
15 est parallèle à l'axe magnétométrique et de même sens.

Dans le cas où ladite mesure d'une composante du champ magnétique est effectuée par un magnétomètre présentant une sensibilité parasite aux composantes de champ perpendiculaires audit axe magnétométrique, on dispose de part et d'autre du point de mesure deux bobines de compensation alimentées électriquement pour y créer un champ magnétique de
20 compensation sensiblement homogène parallèle à l'axe du tronçon de mesure,

- on mesure en ce point la composante du champ magnétique résultant selon cet axe,
25 - et on fait commander le courant électrique à travers ces bobines par le résultat de cette mesure de manière à créer un champ de compensation proportionnel et très supérieur à cette composante et de sens opposé, et à asservir ainsi cette composante à une valeur sensiblement nulle.

Une autre possibilité consiste simplement à ramener le champ axial
30 à une valeur suffisamment basse pour le fonctionnement correct des magnétomètres suivant O_x et O_y , par exemple en générant un champ fixe prédéterminé.

La présente invention a également pour objet une méthode de mesure en continu de la position d'un outil de forage travaillant à l'extrémité
35 inférieure d'une garniture de forage flexible tournante. Cette méthode

est caractérisé par le fait que

- on mesure en continu pendant la progression du forage l'inclinaison de l'axe d'un tronçon de mesure faisant partie de la garniture de forage et situé au voisinage de l'outil

- 5 - on mesure en continu l'azimut de cet axe par la méthode de mesure d'azimut ci-dessus à l'aide d'un calculateur automatique,
- et on calcule en continu dans un calculateur automatique la position de l'outil à l'aide des résultats passés et présents de ces mesures.

10 Le calcul de la position de l'outil est généralement constitué par une intégration numérique des trois composantes des déplacements selon trois axes perpendiculaires deux à deux et ayant pour origine le haut du trou de forage, l'un étant vertical et un autre dirigé vers le nord magnétique.

15 A l'aide des figures schématiques 1 et 2 ci-jointes on va décrire ci-après, à titre d'exemple non limitatif, comment l'invention peut être mise en oeuvre.

La figure 1 représente une vue en coupe d'un puits qui est en cours de forage et auquel la méthode selon l'invention est appliquée.

20 La figure 2 représente une vue en perspective éclatée d'un ensemble magnétométrique et accélérométrique susceptible d'être disposé dans une masse tige de la figure 1 pour la mise en oeuvre de la méthode de mesure d'azimut selon l'invention.

Conformément à la figure 1 le forage d'un puits est effectué par un outil 100 tournant à grande vitesse. Celui-ci est disposé à l'extrémité inférieure d'une garniture de forage. Celle-ci est classiquement constituée d'un train de tubes ou "tiges" tels que 102 constituées d'acier, vissées à la suite les unes des autres et entraînées en rotation à petite vitesse à partir d'une installation 106 à la surface du sol. Ces tiges transmettent des efforts de torsion et de poussée axiale importants. Une boue de forage est en même temps injectée sous pression dans un conduit axial de cette garniture. Elle fournit la puissance motrice à un moteur souterrain 104 qui entraîne l'outil 100. Elle remonte jusqu'au sol dans la partie du puits extérieure à la garniture. Elle constitue en même temps un milieu continu assurant la transmission d'impulsions de pression émises par un émetteur non représenté situé au voisinage de l'ou-

35

til 100. Ces impulsions sont représentatives des résultats de mesures effectuées au fond, qui sont ainsi transmis selon le procédé connu sous le nom MUD-PULSE. Elle assure enfin les autres fonctions classiques des boues de forage.

5 Le forage est vertical dans sa partie supérieure 108, mais a été incliné dans sa partie inférieure 110 par des moyens connus indépendamment de la présente invention, ceci étant autorisé par une certaine flexibilité élastique des tiges. Cette partie inférieure est, par exemple, rectiligne et il importe de connaître son inclinaison par rapport à la
10 verticale et son azimut, pour les raisons précédemment indiquées. On dispose pour cela, au voisinage de l'outil 100, des dispositifs de mesure sensibles à la gravité et au champ magnétique. Ces dispositifs sont placés à l'intérieur d'une tige de forage qui constitue un tronçon de la longueur de la garniture et peut être appelé "tronçon de mesure". Conformément à la présente invention seule la tige constituant ce tronçon est
15 constituée d'un acier amagnétique. Conformément à la présente invention cette tige 112 peut être séparée du moteur 104 par une tige d'éloignement 114. Grâce à la forme cylindrique de révolution des tiges ceci permet d'obtenir que l'aimantation induite dans ces tiges ne crée, à
20 l'intérieur du tronçon de mesure 112, qu'un champ parasite induit parallèle à l'axe de ce tronçon, tout au moins lorsque l'ensemble du tronçon de mesure et de deux tiges 114 et 116 qui l'entourent n'est pas déformé par la courbure du forage.

 Dans le canal axial du tronçon de mesure 112 sont fixés un ensemble
25 de mesure représenté sur la figure 2, un calculateur non représenté, et un émetteur non représenté propre à transmettre vers la surface du sol, par exemple par le procédé mud-pulse, des signaux fournis par ce calculateur et représentant l'azimut et l'inclinaison de l'axe du tronçon de mesure, et éventuellement la position de l'outil calculée par intégration.
30 tion.

 Cet ensemble de mesure va être décrit maintenant. Il comporte un magnétomètre 1 à trois têtes de mesure capable de mesurer sensiblement en un même point O les composantes du champ magnétique selon trois axes Ox, Oy, Oz perpendiculaires deux à deux. L'axe Oz est celui du
35 tronçon de mesure 112, qui tourne autour de lui, et le point de mesure O

est situé sur cet axe.

Deux bobines de compensation 4 et 5 d'axe Oz sont disposées de part et d'autre du point de mesure 0 pour annuler à peu près la composante Hz du champ selon l'axe Oz. Cette composante serait en effet, en l'absence de ces bobines, beaucoup plus grande que celles Hx et Hy selon les axes Ox et Oy et perturberait la mesure de ces dernières. Le dispositif d'alimentation non représenté de ces bobines est commandé, comme précédemment mentionné, par le résultat de la mesure de Hz, de manière à constituer une boucle d'asservissement.

Coaxiaux à ces bobines et de section très large, deux noyaux 6 et 7 en fer doux ou en ferrite délimitent entre leurs deux extrémités antagonistes un volume cylindrique où le champ magnétique suivant Oz est en tous points équipotent, parallèle à l'axe Oz et, grâce à la boucle d'asservissement, de valeur très petite ou nulle.

Les deux autres têtes de mesure sont très proches de l'axe Oz et en tous cas nettement à l'intérieur de l'aire circulaire entre les noyaux 6 et 7 où le champ suivant Oz est presque nul.

L'ensemble bobines, noyaux et têtes de mesure est immobilisé dans une résine 8 amagnétique et résistant à la température, puis orienté et fixé sur une platine amagnétique 9.

Sur l'autre face de cette platine, est fixé un support 10 où viennent se fixer trois accéléromètres 11, 12 et 13. Les trois axes de mesure accélérométrique sont coplanaires et perpendiculaires à l'axe Oz. L'un des accéléromètres 11 est calé parallèle à l'axe Ox précédent, les deux autres 12 et 13 étant à 120° du précédent 11.

Une centrale accélérométrique à trois axes du commerce peut être utilisée, à condition bien entendu de la caler et de l'orienter correctement et de modifier les programmes de calcul.

En pratique les points de mesure des trois accéléromètres peuvent être considérés comme confondus au point 0, l'axe Ox constituant alors à la fois le premier axe magnétométrique et le premier axe accélérométrique précédemment mentionnés.

La combinaison d'informations précédemment mentionnée, c'est-à-dire le calcul de l'azimut a_0 , peut être fait de diverses manières à la portée du spécialiste à partir de l'angle de phase a_1 , de

l'axe d'inclinaison i de l'axe Oz par rapport à la verticale, et de l'angle d'inclinaison b du champ terrestre vers le bas à partir d'un plan horizontal. On peut notamment calculer

5 $\cos a_1 = 2(Hx_0 - \bar{H}x)/(HxM - Hxm)$
et utiliser la formule

$$\operatorname{tg} a_0 = \frac{\operatorname{tg} a_1 \cos i (1 - \operatorname{tg}^2 b \operatorname{tg}^2 i)}{1 + j \operatorname{tg} i \operatorname{tg} b \left[1 + \operatorname{tg}^2 a_1 \cos^2 i (1 - \operatorname{tg}^2 b \operatorname{tg}^2 i) \right]^{1/2}}$$

10 dans laquelle j vaut $+1$ ou -1 selon que le produit $\operatorname{tg} b \cos a_1$ est positif ou négatif. La valeur de a_0 n'est définie qu'à 180° près par cette formule, mais on sait que a_0 est intérieur à l'intervalle -90° , $+90^\circ$ si $\cos a_1$ est positif, et extérieur à cet intervalle si $\cos a_1$ est négatif.

REVENDECATIONS

- 1/ Méthode de mesure d'azimut pour forage incliné, ce forage étant effectué par un outil (100) disposé à l'extrémité inférieure d'une garniture de forage qui est constituée d'une succession de tiges de garniture et
- 5 qui transmet des efforts et tourne pendant la progression du forage, cette méthode comportant les opérations suivantes :
- élaboration d'un signal de référence de phase gravitaire à l'aide d'un élément affecté par la pesanteur et d'un système tournant qui sont disposés dans un tronçon tubulaire de ladite garniture, ce tronçon constituant un tronçon de mesure et présentant un axe qui coïncide localement
 - 10 avec celui du forage, ce signal étant synchronisé sur la position angulaire de ce système par rapport au plan vertical de cet axe,
 - élaboration, par un élément solidaire de ce système tournant et sensible au champ magnétique ambiant dans ce tronçon, d'un signal magnétométrique synchronisé sur la position angulaire de ce système par rapport à
 - 15 ce champ magnétique, ce tronçon étant constitué d'un matériau amagnétique pour que ce champ ambiant ne soit pas trop différent du champ terrestre local,
 - mesure de la phase de ce signal magnétométrique par rapport à ce signal
 - 20 de référence de phase gravitaire,
 - et utilisation du résultat de cette mesure pour déterminer l'azimut de l'axe du tronçon de mesure par rapport au nord magnétique,
 - cette méthode étant caractérisée par le fait que lesdites élaborations d'un signal de référence de phase gravitaire et d'un signal magnétométrique sont effectuées pendant la rotation de la garniture de manière à
 - 25 ne pas arrêter la progression du forage, cette rotation entraînant celle dudit tronçon de mesure (112) qui tourne autour de son axe (Oz) et constitue ledit système tournant utilisé pour ces élaborations,
 - que les tiges de la garniture de forage sont constituées d'acier
 - 30 ferromagnétique de part et d'autre de ce tronçon de mesure de manière à être à la fois peu coûteuses et mécaniquement résistantes, tout en s'aimantant sous l'action du champ terrestre local et en créant un champ induit dans ce tronçon de mesure, ce tronçon pouvant de plus présenter une dissymétrie magnétique par rapport à son axe, et pouvant comporter
 - 35 des éléments à aimantation permanente de sorte que le champ ambiant dans

- le tronçon de mesure est constitué par la somme du champ terrestre local, du champ parasite éventuel de ces éléments, et dudit champ induit par les tiges de garniture proches de ce tronçon, ce champ induit étant parallèle à l'axe de ce tronçon en raison de la forme tubulaire de la garniture,
- 5 - ladite opération d'élaboration du signal magnétométrique comportant une mesure d'au moins une composante (H_x) dudit champ magnétique ambiant selon un axe magnétométrique (Ox) lié à ce tronçon et perpendiculaire à l'axe (Oz) de celui-ci et cette mesure portant sur les variations de ladite composante pour fournir au moins un signal magnétométrique qui
- 10 soit indépendant desdits champs induit et parasite et qui soit alternatif à la période de la rotation de la garniture,
- ladite mesure de la phase dudit signal magnétométrique par rapport au signal de référence de phase gravitaire fournissant une information de phase (a_1),
- 15 - cette méthode comportant en outre les opérations suivantes :
- mesure de l'angle d'inclinaison (i) de l'axe (Oz) du tronçon de mesure par rapport à la verticale pour fournir une information d'inclinaison de garniture représentative de cet angle,
- et combinaison de l'information de phase, de l'information d'inclinaison de garniture et d'une information d'inclinaison de champ préétablie représentative de l'inclinaison du champ magnétique terrestre au
- 20 lieu du forage, pour élaborer une information d'azimut représentative de l'angle entre le plan vertical de l'axe de la garniture et le plan vertical du champ magnétique terrestre.
- 25 2/ Méthode selon la revendication 1, caractérisé par le fait que ladite mesure de la phase du signal magnétométrique est une mesure du rapport de deux grandeurs équivalant chacune à un champ magnétique, de manière que le résultat de cette mesure ne soit pas affecté par une variation de la vitesse de rotation de la garniture.
- 30 3/ Méthode selon la revendication 2, caractérisée par le fait que ladite mesure d'au moins une composante du champ magnétique est une mesure d'une première (H_x) et d'une deuxième (H_y) composantes selon un premier (Ox) et un deuxième (Oy) axes magnétométriques perpendiculaires à l'axe (Oz) du tronçon de mesure, et de préférence entre eux, cette mesure comportant
- 35 la détermination d'une valeur moyenne ($\bar{H}_x = (H_{xm} + H_{xM})/2$) et

$\bar{H}_y = (H_{ym} + H_{yM})/2$ de chacune de ces composantes, un premier et un deuxième signaux magnétométriques alternatifs étant constitués respectivement par la différence $(H_x - \bar{H}_x)$ entre cette première composante et sa valeur moyenne et par la différence $(H_y - \bar{H}_y)$ entre cette deuxième

5 composante et sa valeur moyenne,

- ledit signal de référence de phase gravitaire marquant un instant (t_0) ,

- ladite mesure de phase étant une mesure du rapport $((H_{y_0} - \bar{H}_y)/(H_{x_0} - \bar{H}_x))$ de la valeur instantanée du deuxième dit
10 signal magnétométrique alternatif à celle du premier à l'instant (t_0) marqué par le signal de référence de phase gravitaire, ladite information de phase étant représentée par un angle (a_1) défini par ce rapport du deuxième au premier signal magnétométrique, cet angle étant celui dont la tangente $(\text{tg } a_1)$ est égale à ce rapport si les deux axes magnéto-
15 métriques sont perpendiculaires l'un à l'autre, cet angle défini par ce rapport étant diminué de l'angle prédéterminé d'avance éventuelle du premier axe magnétométrique autour de l'axe du tronçon de mesure par rapport à un plan qui est lié à ce tronçon et qui est celui qui passe par l'axe de celui-ci, et par la verticale à l'instant marqué par le signal
20 de référence de phase.

4/ Méthode selon la revendication 1, caractérisée par le fait que ladite opération d'élaboration d'un signal de référence de phase gravitaire comporte une mesure de l'accélération totale en un point intérieur au tronçon de mesure et lié à celui-ci, selon au moins un axe accéléromé-
25 trique également lié à celui-ci et incliné sur l'axe de celui-ci, de sorte que cette accélération totale est la somme de l'accélération de la pesanteur et d'une accélération centrifuge éventuelle due à la rotation de la garniture et que l'accélération mesurée comporte une composante accélérométrique alternative à la période de cette rotation,

30 - le signal de référence de phase gravitaire étant synchronisé sur cette composante accélérométrique alternative,

- ladite information de phase étant représentative d'un angle d'avance du signal magnétométrique alternatif par rapport au signal de référence gravitaire, cet angle d'avance étant diminué de l'angle d'avance éven-
35 tuel de l'axe magnétométrique par rapport à l'axe accélérométrique

autour de l'axe du tronçon de mesure, et diminué de l'angle de retard éventuel du signal de référence de phase gravitaire par rapport à un instant où ladite composante accélérométrique alternative atteint une valeur extrême.

5 5/ Méthode selon la revendication 4, caractérisée par le fait que ledit signal de référence de phase gravitaire marque l'instant où la composante mesurée de l'accélération totale passe par une valeur extrême, de manière à rendre nul ledit angle de retard éventuel du signal de référence de phase gravitaire.

10 6/ Méthode selon la revendication 4, caractérisé par le fait que ledit axe accélérométrique est perpendiculaire à l'axe du tronçon de mesure, et que, après ladite mesure des variations d'au moins une composante de l'accélération, on calcule le rapport d'une valeur accélérométrique à l'intensité locale prédéterminée (g) de la pesanteur, cette valeur accélérométrique étant la demie amplitude ($g \sin i$) des variations d'une
15 composante de l'accélération connue par cette mesure, de manière que ce rapport soit égal au sinus ($\sin i$) de l'angle d'inclinaison (i) de l'axe (Oz) du tronçon de mesure à partir de la verticale et que cette mesure complétée par ce calcul constitue en même temps ladite mesure de
20 l'inclinaison de l'axe du tronçon de mesure.

7/ Méthode selon la revendication 6, caractérisée par le fait que ladite mesure des variations d'au moins une composante de l'accélération totale est une mesure d'une première (F_1), d'une deuxième (F_2) et d'une troisième (F_3) composantes de cette accélération en trois points équidistants de l'axe de la garniture selon un premier, un deuxième et un
25 troisième axes accélérométriques perpendiculaires à l'axe (Oz) du tronçon de mesure, partant de cet axe et décalés angulairement de 120° les uns par rapport aux autres, pour former un premier, un deuxième et un troisième signaux accélérométriques représentant respectivement ces
30 composantes,

- et par le fait qu'on calcule un signal accélérométrique total ($F_1 - 1/2 (F_2 + F_3)$) égal au premier signal accélérométrique diminué de la demi-somme des deux autres, de manière que ce signal soit indépendant de l'accélération centrifuge et soit alternatif et périodique avec
35 la période de rotation de la garniture, le tiers de l'amplitude de ce

signal total constituant ladite valeur accélérométrique utilisée pour élaborer ladite information d'inclinaison de garniture,

- ledit signal de référence de phase gravitaire étant élaboré à partir des deuxième (F_2) et troisième (F_3) signaux accélérométriques et marquant l'un des quatre instants dans chaque période de rotation où la différence entre les valeurs absolues de ces signaux s'annule.

8/ Méthode selon la revendication 1, dans laquelle ladite mesure d'une composante du champ magnétique est effectuée par un magnétomètre (1) présentant une sensibilité parasite aux composantes de champ parasites perpendiculaires audit axe magnétométrique (Ox), cette méthode étant caractérisée par le fait que l'on dispose de part et d'autre du point de mesure (0) deux bobines de compensation (4, 5) alimentées électriquement pour y créer un champ magnétique de compensation sensiblement homogène parallèle à l'axe (Oz) du tronçon de mesure.

9/ Méthode selon la revendication 4, caractérisée par le fait que le point où est effectuée ladite mesure de l'accélération totale est choisi sensiblement sur l'axe (Oz) du tronçon de mesure (112) pour que l'accélération centrifuge y soit sensiblement nulle.

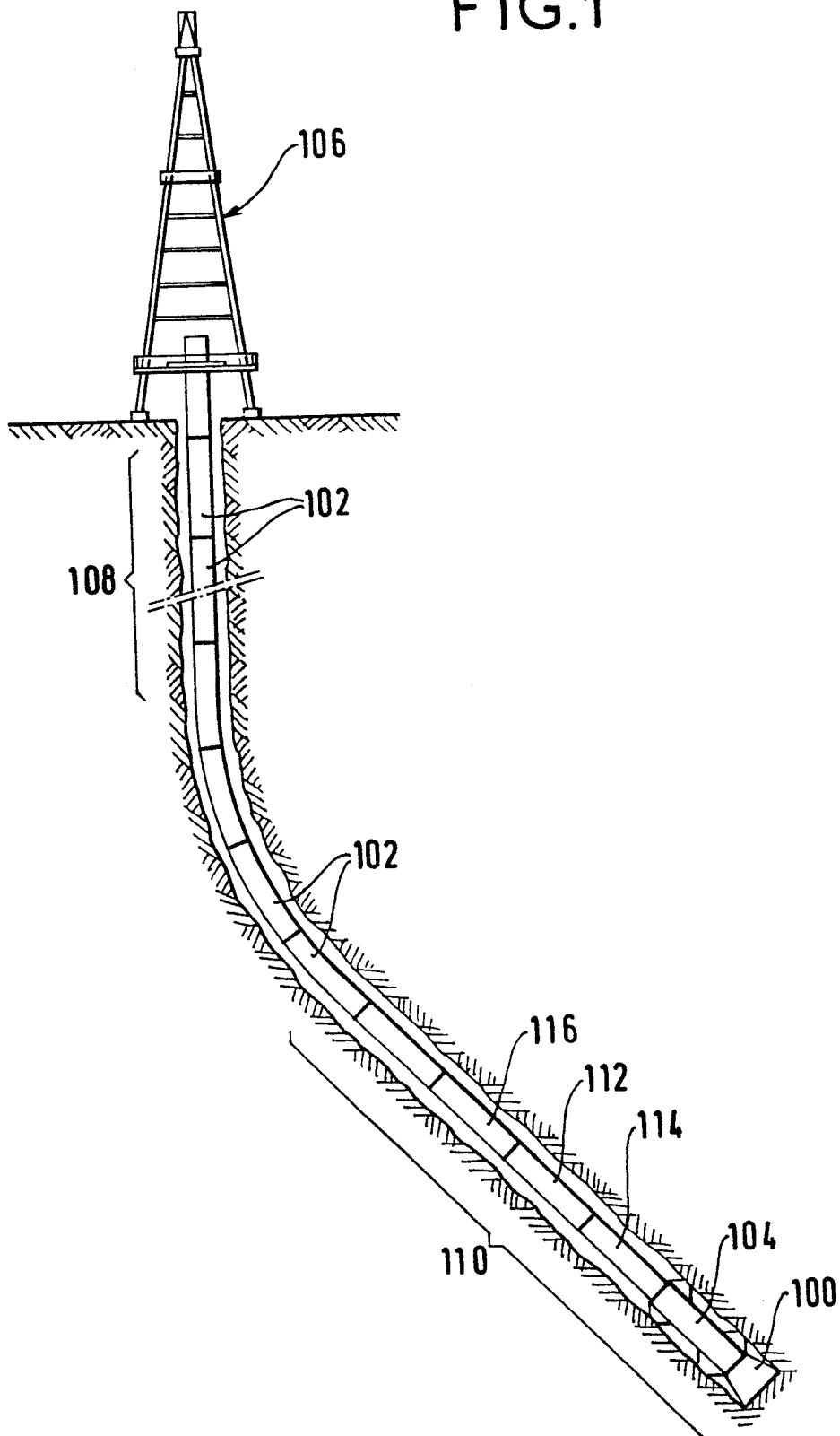
10/ Méthode de mesure en continu de la position d'un outil de forage travaillant à l'extrémité inférieure d'une garniture de forage flexible tournante cette méthode étant caractérisé par le fait que

- on mesure en continu pendant la progression du forage l'inclinaison de l'axe d'un tronçon de mesure faisant partie de la garniture de forage et situé au voisinage de l'outil,

- on mesure en continu l'azimut de cet axe par la méthode selon la revendication 1 ci-dessus à l'aide d'un calculateur automatique,

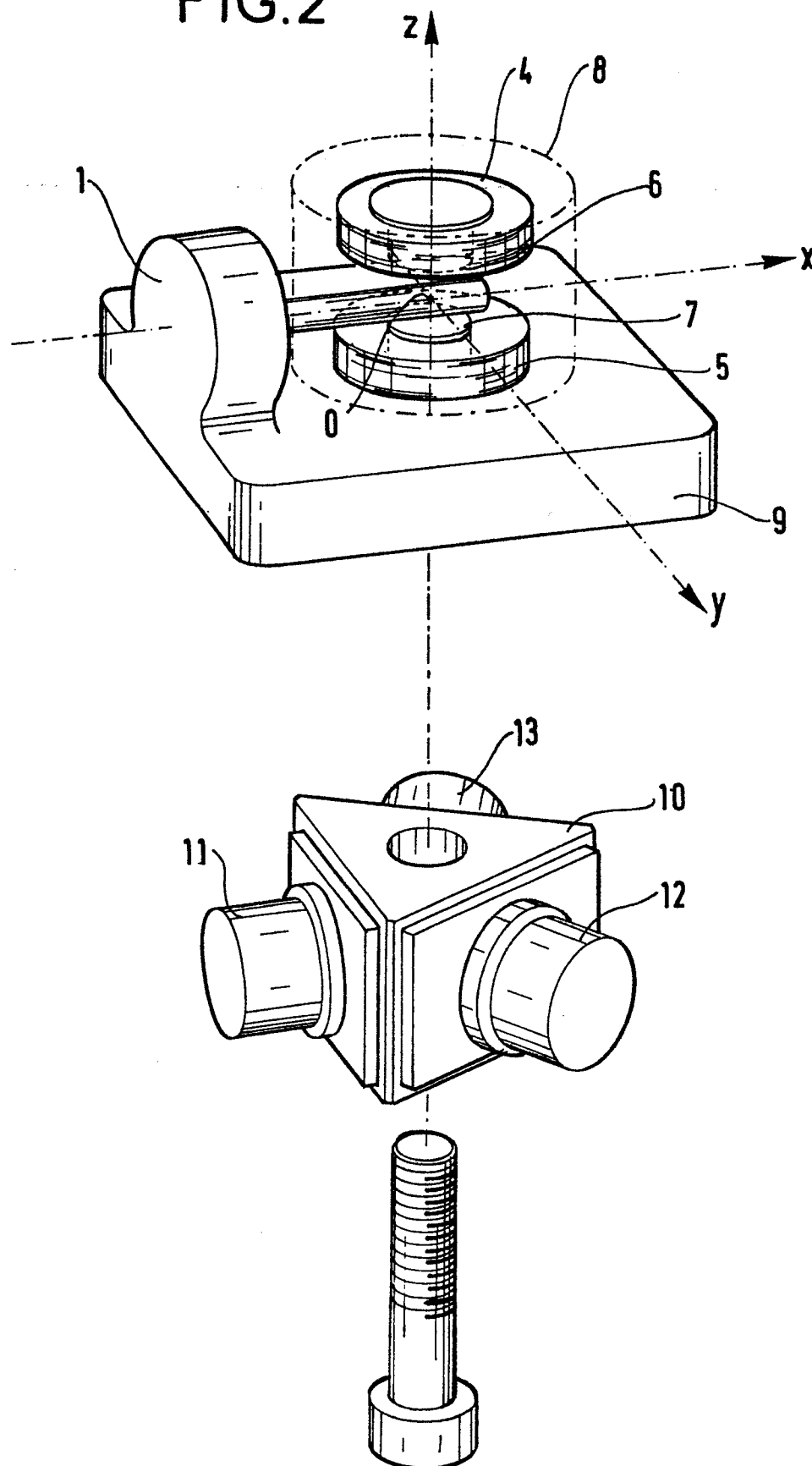
- et on calcule en continu dans un calculateur automatique la position de l'outil à l'aide des résultats passés et présents de ces mesures.

FIG. 1



2/2

FIG.2





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0174603

Numéro de la demande

EP 85 11 1200

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
D, A	FR-A-2 068 829 (SAGEM) * Page 1, ligne 40 - page 3, ligne 15 * -----	1	E 21 B 47/022
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
			E 21 B
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 13-12-1985	Examineur DE BUYZER H. J.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
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 antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	