

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: 80401361.3

51 Int. Cl.³: **E 21 B 47/022**

22 Date de dépôt: 25.09.80

30 Priorité: 27.09.79 FR 7924029

43 Date de publication de la demande:
08.04.81 Bulletin 81/14

84 Etats Contractants Désignés:
DE FR GB IT NL

71 Demandeur: **SOCIETE DE PROSPECTION ELECTRIQUE
SCHLUMBERGER**
42,rue Saint-Dominique
F-75340 Paris Cedex 07(FR)

84 Etats Contractants Désignés:
FR IT

71 Demandeur: **Schlumberger Limited**
277 Park Avenue
New York, N.Y. 10017(US)

84 Etats Contractants Désignés:
DE GB NL

72 Inventeur: **Ringot, Jean**
78, rue Gustave Vatonne
F-91190 Gif sur Yvette(FR)

74 Mandataire: **LeCren, Roger et al,**
Etudes et Productions Schlumberger B.P. 202 26, rue de
la Cavée
92142 Clamart, Cédex(FR)

54 Procédé et appareil pour la détermination de paramètres de direction d'un puits exploré en continu.

57 Ce procédé et cet appareil utilisent les signaux de mesure d'un accéléromètre et d'un magnétomètre à trois axes sensibles logés dans une sonde explorant le puits.

La sonde est continûment déplacée dans le puits pendant la mesure. Dans le cas le plus courant, le signal de l'accéléromètre est préfiltré, puis combiné au signal du magnétomètre pour le débarrasser de l'altération qu'il subit en raison du déplacement de la sonde dans le puits, puis soumis à un filtrage passe-bas très sélectif, et enfin à nouveau combiné au signal du magnétomètre pour la détermination de paramètres de direction du puits.

Ce procédé et cet appareil permettent une exploration rapide du puits et améliorent la qualité des mesures.

EP 0 026 706 A1

./...

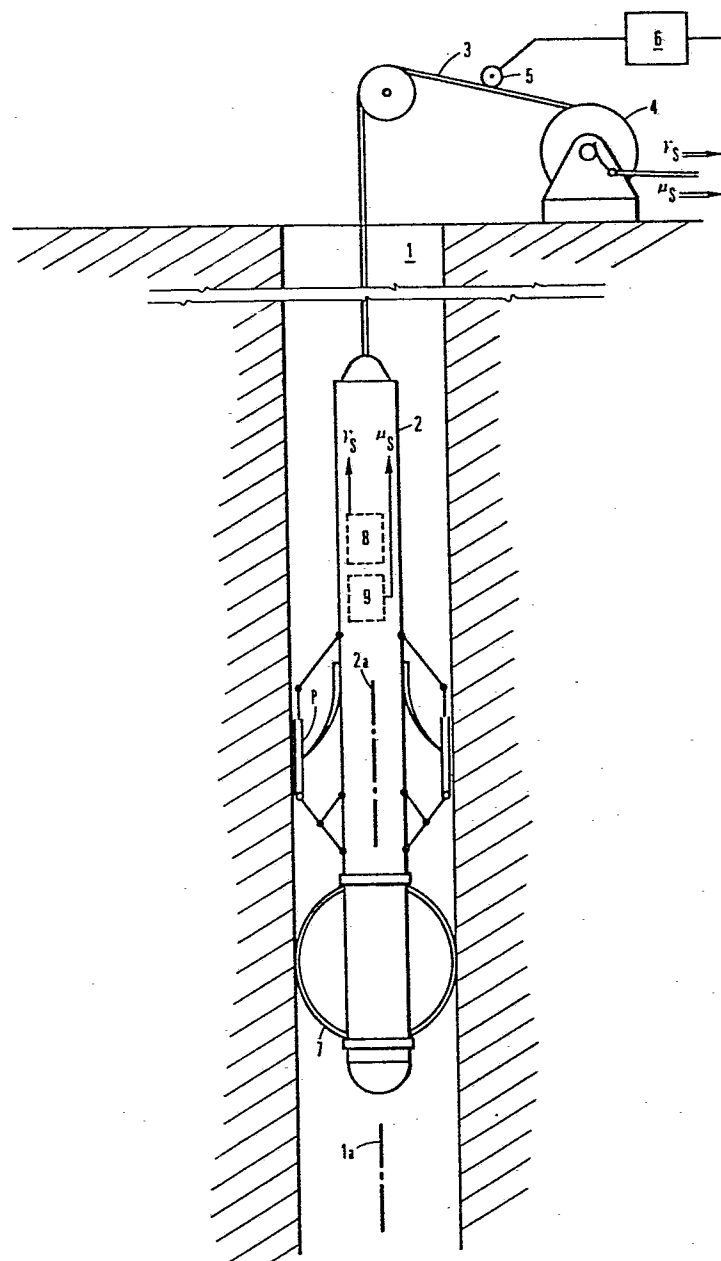


Fig.1

La présente invention concerne un procédé et un appareil pour la détermination de paramètres de direction d'un puits en fonction de la profondeur, et plus particulièrement un procédé et un appareil qui utilisent les signaux de mesure d'un accéléromètre et d'un magnétomètre à trois axes sensibles logés dans une sonde explorant le puits. La sonde est continûment déplacée dans le puits pendant la mesure. Dans le cas le plus courant, le signal de l'accéléromètre est préfiltré, puis combiné au signal du magnétomètre pour le débarrasser de l'altération qu'il subit en raison du déplacement de la sonde dans le puits, puis soumis à un filtrage passe-bas très sélectif, et enfin à nouveau combiné au signal du magnétomètre pour la détermination de paramètres de direction du puits.

L'écorce terrestre est constituée de couches de natures, d'épaisseurs et d'inclinaisons diverses, et il est depuis longtemps apparu que toute information concernant les couches successives, et en particulier leur inclinaison, présentait un intérêt certain dans des domaines tels que celui de la recherche pétrolière. Cependant, de telles informations sur l'inclinaison des couches n'étant pas directement accessibles dans l'état actuel de la technique, on a classiquement recours à des sondes, que l'on déplace dans un puits traversant ces couches, et qui fournissent des informations sur leur orientation par rapport aux couches traversées par le puits.

On comprend aisément que ces informations représentatives d'une orientation de nature relative soient insuffisantes et qu'il soit par conséquent nécessaire, pour connaître l'orientation des couches, de déterminer l'orientation topographique tridimensionnelle du puits et la position prise par la sonde dans le puits à la profondeur d'investigation.

Il est aussi bien connu, dans les techniques d'aviation, que l'orientation topographique tridimensionnelle d'un avion ou d'une fusée peut être déterminée en utilisant les signaux de mesure d'un accéléromètre et d'un magnétomètre à trois axes sensibles. Ces signaux sont immédiatement utilisables quand l'avion vole à une vitesse constante et qu'il a une trajectoire

régulière. Quand il y a des perturbations ou des accélérations soudaines, les signaux de l'accéléromètre et du magnétomètre perdent généralement leur intérêt dans cette détermination d'orientation.

C'est dans ce cadre très général que s'inscrivent le procédé décrit dans le brevet des Etats Unis n° 3 862 499 délivré à C.E. Isham et al, ainsi que celui de la présente invention, qui vise à la détermination de paramètres représentatifs de l'orientation topographique du puits et, bien que de façon facultative, à la détermination de la position prise par la sonde dans le puits.

Selon le procédé connu, la sonde est descendue dans le puits et stabilisée à une certaine profondeur. Les signaux d'un accéléromètre et d'un magnétomètre montés dans la sonde sont relevés alors que la sonde est fixe dans le puits en l'absence de toute perturbation. Ces signaux à composantes stationnaires sont combinés pour obtenir deux paramètres de direction du puits, à savoir l'angle de déviation, défini comme l'angle formé entre l'axe longitudinal du puits et la verticale, et l'azimut, défini comme l'angle formé entre deux plans verticaux dont l'un contient l'axe longitudinal du puits et l'autre la direction du nord. Puis la sonde est déplacée dans le puits et stabilisée à une autre profondeur. De nouveaux signaux sont produits lorsque la sonde est fixe, et sont combinés pour obtenir de nouvelles valeurs de l'angle de déviation et de l'azimut.

Ce procédé, en dépit de ce qu'il permet d'obtenir une précision satisfaisante sur les paramètres mesurés à chaque station de la sonde, présente plusieurs limitations, et notamment les deux inconvénients importants ci-dessous.

Le premier, immédiat, est que la nécessité de stabiliser la sonde pour chaque mesure occasionne une augmentation préjudiciable de la durée de l'exploration du puits.

Le second est que l'orientation du puits entre deux mesures étant physiquement inobservable, toute variation de l'orientation, qui apparaît et disparaît entre deux mesures successives, augmente de façon critique l'erreur sur la localisation des points du puits situés au-dessous de cette variation d'orientation.

Dans ce contexte, la présente invention a pour but de proposer un procédé de détermination de paramètres d'un puits qui soit plus rapide que le procédé connu précédemment décrit.

La présente invention a également pour but de proposer un procédé permettant de déterminer physiquement des variations de l'orientation du puits en tout point d'une portion longitudinale explorée de ce puits.

Le procédé de l'invention est essentiellement caractérisé en ce que les phases consistant à produire lesdits signaux d'accélération et de repérage et à déplacer la sonde sont simultanées et sensiblement continues, en ce que ladite phase de détermination des paramètres de direction est scindée en une étape de stabilisation virtuelle par laquelle on élimine les effets du déplacement de la sonde, dans les composantes de l'un des signaux, constituant un signal à stabiliser, au moyen des composantes de l'autre signal, constituant un signal stabilisateur, et en une étape finale de combinaison des composantes desdits signaux, ladite phase de détermination des paramètres comprenant une opération intermédiaire de filtrage passe-bas portant au moins sur des composantes stabilisées dudit signal à stabiliser et par laquelle on élimine de ces composantes les variations de fréquence supérieure à la fréquence maximale des variations imputables à l'accélération de la pesanteur.

De préférence, ladite phase de détermination des paramètres de direction comprend en outre une étape préliminaire à ladite étape de stabilisation virtuelle, comportant une opération de préfiltrage des composantes du signal d'accélération, par laquelle on atténue sensiblement, dans ces composantes, les variations de signal présentant une fréquence supérieure à la plus grande fréquence possible du mouvement de rotation de la sonde autour de son axe longitudinal.

De façon simple, on utilise respectivement, pour produire lesdits signaux d'accélération et de repérage, un accéléromètre et un indicateur de direction, cet accéléromètre et cet indicateur de direction ayant chacun un premier et un second axe sensibles transversaux, perpendiculaires entre eux et à l'axe longitudinal de la sonde, et un troisième axe sensible, de direction longitudinale et confondu avec l'axe de la sonde, lesdits signaux comprenant chacun deux composantes axiales transversales et une composante axiale longitudinale et ledit indicateur de direction étant par exemple un magnétomètre donnant dans le repère de ses trois axes sensibles la direction du vecteur de champ magnétique terrestre.

L'étape préliminaire de la phase de détermination des paramètres de direction comprend la détermination d'une composante diagonale transversale du signal stabilisateur à partir des composantes axiales transversales de ce signal et l'élimination des effets de rotation, au moyen des composantes axiales et diagonale transversales de ce même signal, dans les composantes axiales transversales du signal à stabiliser pour en obtenir

des composantes stabilisées en rotation, correspondant à une position de référence de la sonde autour de son axe longitudinal.

L'étape préliminaire comprend les opérations consistant à :
déterminer une composante diagonale transversale du signal de repérage
5 à partir des composantes axiales transversales de ce signal ; déterminer à
partir de cette composantes diagonale transversale et de la composante axiale
longitudinale de ce même signal de repérage le signe de la différence entre
un premier angle, formé entre ledit vecteur de direction fixe et l'axe lon-
gitudinal de la sonde, et un angle limite de valeur prédéterminée ; définir
10 les signaux stabilisateur et à stabiliser, respectivement par les signaux de
repérage et d'accélération lorsque le signe de ladite différence est positif,
et par les signaux d'accélération et de repérage lorsque ce signe est négatif;
et déterminer une composante diagonale transversale du signal stabilisa-
teur à partir de ses composantes axiales transversales lorsque ce signal
15 stabilisateur est défini par ledit signal d'accélération.

L'étape finale de combinaison des composantes desdits signaux
comprend une opération préliminaire de normation consistant à déterminer
au moins une norme, une composante longitudinale normée, et une compo-
sante diagonale transversale normée du signal d'accélération.

L'étape finale de combinaison des composantes des signaux
comprend une opération de détermination d'un premier desdits paramètres
de direction, cette opération impliquant la combinaison de composantes
diagonale transversale et axiale longitudinale, filtrées et normées,
dudit signal d'accélération, ce premier paramètre représentant l'angle
25 formé entre la verticale et l'axe longitudinal de la sonde.

Cette étape finale de combinaison de composantes des signaux
comprend aussi une opération de détermination d'un second desdits paramètres
de direction, cette opération impliquant la combinaison des trois composantes
axiales normées et stabilisées dudit signal à stabiliser, et des composantes
30 longitudinale et diagonale transversale normées dudit signal stabilisateur,
ce second paramètre représentant l'angle formé entre la trace horizontale du
plan vertical passant par l'axe longitudinal de la sonde et la projec-
tion horizontale dudit vecteur de direction fixe différente de la verticale.

Lorsque le signe de la différence déterminé au cours de ladite
35 étape préliminaire est positif, ladite étape finale comprend une opération
de réintroduction des effets de rotation de la sonde, fournissant à partir des
deux composantes axiales transversales stabilisées du signal d'accéléra-
tion et des composantes transversales diagonale et axiales du signal de repé-

rage, deux composantes axiales transversales du signal d'accélération qui ne sont à nouveau plus stabilisées par rapport à ladite position de référence de la sonde autour de son axe longitudinal.

L'étape finale de combinaison des composantes des signaux comprend
5 avantageusement une opération de détermination d'un troisième desdits paramètres de direction, cette opération impliquant la combinaison des trois composantes axiales non stabilisées dudit signal d'accélération et des trois composantes axiales non stabilisées dudit signal de repérage, ce troisième paramètre représentant l'angle formé entre la projection horizontale dudit vecteur de direction fixe
10 différente de la verticale et la projection horizontale d'un vecteur perpendiculaire à l'axe longitudinal et joignant cet axe à un point fixe de la sonde.

En outre cette étape finale de combinaison des composantes des signaux peut aussi comprendre une opération de détermination d'un quatrième desdits paramètres de direction, cette opération impliquant la combinaison des deux compo-
15 santes axiales transversales non stabilisées du signal d'accélération, ce quatrième paramètre représentant l'angle dièdre formé entre un plan vertical contenant l'axe longitudinal de la sonde et un plan contenant l'axe de la sonde et passant par ledit point fixe de la sonde.

De préférence l'étape finale de combinaison des composantes des
20 signaux comprend, après l'opération de détermination du premier paramètre de direction, une opération de comparaison de ce paramètre à une valeur minimale prédéterminée et, lorsque le premier paramètre est inférieur à cette valeur minimale, une opération consistant à forcer à la valeur zéro les seconds et/ou quatrième paramètres.

25 Dans des conditions courantes d'exploration du puits, il est avantageux que le filtrage passe-bas élimine, par une atténuation croissant rapidement à partir de 3 dB, les variations de signal présentant une fréquence supérieure à 8.10^{-2} Hz et que le préfiltrage consiste en une atténuation, croissante à partir de 3 dB, des variations de signal présentant une fréquence supérieure à 2,5 Hz.

30 Un mode particulier de réalisation de l'invention sera décrit ci-après, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence au dessin annexé, sur lequel :

- La figure 1 est une vue schématique représentant, en coupe, un puits exploré par une sonde ;

35 - La figure 2 est un diagramme fonctionnel (flow-chart) représentant les principales opérations de la phase de détermination de valeurs de paramètres dans le procédé de l'invention ;

- Les figures 3a et 3b sont des représentations schématiques de circuits multifilaires pour la circulation et le traitement des composantes des signaux d'accélération et de repérage dans la phase de détermination des paramètres, et sur lesquelles chaque conducteur est assigné à une seule composante d'un des deux signaux; ces figures sont raccordées par les faisceaux de conducteurs Φ_1 et Φ_2 ;

- La figure 4 est un diagramme représentant les caractéristiques du filtre de préfiltrage ;

- La figure 5 est un diagramme représentant les caractéristiques du filtre passe-bas.

Comme il a précédemment été indiqué, le procédé de l'invention vise à la détermination de différents paramètres, liés à l'orientation topographique prise par un puits 1 à une profondeur donnée.

A cette fin, on dispose d'une sonde allongée 2 que l'on descend initialement dans le puits 1 au moyen d'un câble 3 solidaire la sonde et enroulé sur un treuil 4.

Entre le treuil et le bord supérieur du puits, le câble passe sur une roue de mesure 5 reliée à un compteur 6 enregistrant les rotations de la roue 5. La profondeur à laquelle la sonde se trouve dans le puits, qui est évidemment fonction de la longueur du câble déroulée du treuil, peut, de façon connue, être déduite de l'indication du compteur 6.

La sonde 2 comporte des arceaux de centrage 7 lui permettant de toujours adopter dans le puits une position dans laquelle son axe longitudinal 2 a est, sur la longueur de cette sonde au moins, sensiblement confondu avec l'axe longitudinal 1 a du puits, l'orientation de l'axe de la sonde s'assimilant ainsi à l'orientation du puits à la profondeur d'exploration.

A l'intérieur de la sonde sont logés un accéléromètre 8 et un magnétomètre 9 fermement solidaires de la sonde.

L'accéléromètre fournit un signal à trois composantes axiales dont les amplitudes représentent les longueurs des projections, sur trois axes sensibles respectifs, du vecteur associé à l'ensemble des accélérations que subit la sonde, et le magnétomètre fournit un signal à trois composantes axiales dont les amplitudes représentent les longueurs des projections, sur trois axes sensibles respectifs, du vecteur associé au champ magnétique traversant la sonde, c'est-à-dire en pratique au champ magnétique terrestre.

Toutefois, le magnétomètre 9 pourrait être remplacé par un gyroscope délivrant un signal à trois composantes constituant une information de repérage de la sonde par rapport à la direction caractéristique du gyroscope, ou par tout autre indicateur de direction, pourvu
 5 d'une part que la direction du vecteur représentée par le signal que fournirait cet indicateur soit fixe et connue et d'autre part qu'elle soit différente de la verticale.

Les axes sensibles de l'accéléromètre et du magnétomètre forment un trièdre rectangle fixe par rapport à la sonde, l'accéléromètre
 10 et le magnétomètre ayant un premier axe sensible dans la direction longitudinale de la sonde et deux axes sensibles transversaux.

La sonde ayant été descendue dans le puits à une profondeur connue est remontée à l'aide du treuil et du câble à une vitesse sensiblement constante tandis que l'accéléromètre et le magnétomètre produisent leurs signaux respectifs, qui sont transmis vers la surface par
 15 le câble 3, et récupérés en surface en corrélation avec le signal du compteur 6.

En raison notamment des irrégularités de la paroi du puits et de l'élasticité du câble 3, la sonde 2 est soumise à des accélérations
 20 qui, outre l'accélération de la pesanteur, comprennent l'accélération due au mouvement de la sonde 2 dans le puits. En effet, d'une part la sonde subit des mouvements transversaux et des chocs contre la paroi et d'autre part, en dépit du fait que le câble est réenroulé à vitesse sensiblement constante, la sonde avance dans la direction longitudinale par progressions saccadées en un mouvement dit de "yo-yo". En outre, la sonde
 25 subit généralement un mouvement supplémentaire de rotation autour de son axe longitudinal.

Si l'on peut considérer les composantes du signal de repérage, issu du magnétomètre, comme sensiblement indépendantes des mouvements brusques de la sonde, par contre les composantes du signal d'accélération, issu de l'accéléromètre, sont, dans une très large mesure, représentatives de ces mouvements parasites d'amplitude limitée, qui le perturbent de façon critique.

Aussi la phase de détermination des paramètres de direction du puits à partir des signaux de l'accéléromètre et du magnétomètre suppose-t-elle différentes étapes et opérations visant notamment à récupérer
 35 de ces signaux les informations qu'ils auraient directement fournies s'ils avaient été produits alors que la sonde était au repos et n'avait subi aucune rotation autour de son axe longitudinal.

Dans la description qui est faite ci-dessous de ces différentes étapes et opérations, les définitions suivantes seront utilisées :

- S désigne un signal quelconque de nature vectorielle, de composantes axiales S_x , S_y et S_z ;
- 5 - S_{xy} désigne la norme partielle ou composante diagonale de ce signal ;

$$S_{xy} = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$$
 ;
- S_{xyz} désigne la norme : $S_{xyz} = \sqrt{S_x^2 + S_y^2 + S_z^2}$ du signal S ;
- S_{ξ_0} et S_ξ désignent une même composante axiale du signal S, respectivement avant et après une opération modifiant cette composante ; ξ_0 et ξ
- 10 peuvent respectivement adopter les significations suivantes : x_0 et x ;
 y_0 et y ; z_0 et z ; $x_0 y_0$ et xy ;
- S_ξ désigne une composante normée si $S_\xi = \frac{S_{\xi_0}}{S_{x_0 y_0 z_0}}$
- $^Y S$ et $^H S$ désignent respectivement les signaux d'accélération et de repérage, de nature vectorielle, respectivement issus de l'accéléromètre
- 15 et du magnétomètre et ayant les composantes axiales respectives $^Y S_x$, $^Y S_y$, $^Y S_z$ et $^H S_x$, $^H S_y$ et $^H S_z$;
- $^a S$ et $^p S$ (a = actif ; p = passif) désignent respectivement un signal stabilisateur et un signal à stabiliser, la nature de la stabilisation étant expliquée en détail ultérieurement.

20 En se référant à la figure 2, qui représente la phase de détermination des valeurs des paramètres, on voit que cette phase comprend une étape préliminaire ETO, une étape de stabilisation virtuelle ET1, comportant elle-même une opération D_1 ou D_2 d'élimination des effets de rotation, et une étape finale ET2 de combinaison des composantes traitées des signaux $^Y S$ et $^H S$, l'étape ET1 et l'étape finale ET2 étant séparées par

25 une opération intermédiaire OIF de filtrage passe-bas F_2 13 ou F_2 47.

L'étape préliminaire ETO comprend, outre d'éventuelles opérations I 13 et I 46 d'inversion du signe des composantes des signaux $^Y S$ et $^H S$, des opérations de préfiltrage F_1 du signal $^Y S$, de retard R_1

30 du signal $^H S$, de normation N_1 du signal $^H S$, de choix avec test " $T = 0$?" et, éventuellement de normation N_3 du signal $^Y S$.

Les opérations I 13 et I 46 consistent à changer le signe des composantes des signaux $^Y S$ et $^H S$ et ne sont nécessaires que lorsque l'étape ETO porte sur les signaux directement fournis par l'accéléromètre

35 et le magnétomètre comme représentatifs de vecteurs de directions opposées à celles des vecteurs d'accélération d'une part et de champ magnétique terrestre d'autre part.

Les opérations de préfiltrage F_1 et de retard R_1 seront expliquées en détail ultérieurement.

Outre l'obtention de composantes préfiltrées du signal d'accélération, l'étape préliminaire ETO a deux finalités essentielles. En effet, comme cela a été précédemment mentionné, les composantes des signaux d'accélération et de repérage sont généralement porteuses d'une information provenant d'un phénomène parasite, à savoir la rotation de la sonde autour de son axe. Pour éliminer les effets de cette rotation sur les valeurs des composantes axiales transversales de l'un des signaux ci-après dénommé "signal à stabiliser", on a recours, dans l'étape ultérieure de stabilisation virtuelle ET1, à l'utilisation des composantes axiales transversales et d'une composante transversale, dite diagonale, de l'autre signal, ci-après dénommé "signal stabilisateur". Or, suivant l'orientation topographique de l'axe longitudinal de la sonde, il peut être préférable, soit d'utiliser les composantes du signal du magnétomètre pour corriger les composantes du signal de l'accéléromètre, soit, inversement, d'utiliser les composantes du signal de l'accéléromètre pour corriger les composantes du signal du magnétomètre. L'étape préliminaire ETO apparaît donc avoir notamment pour fonction d'une part de permettre de déterminer lequel des deux signaux $^Y S$ et $^M S$ doit jouer le rôle de signal à stabiliser $^P S$, l'autre signal devant évidemment jouer le rôle de signal stabilisateur $^a S$, et d'autre part de fournir, pour les besoins de l'étape de stabilisation virtuelle ET1, la composante transversale diagonale du signal stabilisateur, c'est-à-dire $^a S_{xy}$ selon la notation précédemment introduite.

L'opération de détermination de $^a S_{xy}$ est incluse dans le bloc N_3 ou dans le bloc N_1 selon, respectivement, que le rôle de $^a S$ est tenu par le signal $^Y S$ ou par le signal $^M S$. Cependant, comme le choix avec test " $T_1 = 0 ?$ " suppose, ainsi qu'il apparaîtra ci-dessous, l'utilisation de la composante diagonale de l'un des deux signaux, et très préfé-
 30 rablement de $^M S$, on détermine d'abord $^M S_{xy}$ au cours de l'opération N_1 , on utilise ensuite $^M S_{xy}$ pour conduire le test " $T_1 = 0 ?$ " qui permet de décider lequel des deux signaux doit jouer le rôle de signal stabilisateur $^a S$ et on détermine $^a S_{xy} = ^Y S_{xy}$ au cours de l'opération N_3 si le
 35 test " $T_1 = 0 ?$ " a conduit à assigner à $^Y S$ le rôle de signal stabilisateur $^a S$.

La description détaillée des différentes opérations de toute la phase de détermination des paramètres se réfère généralement ci-après aux figures 3a et 3b sur lesquelles sont représentées des lignes de circulation matérielle ou virtuelle d'information, affectées chacune, contrairement au cas de la figure 2, à une seule composante ou norme de signal.

Aux blocs I 13, I 46 ; F_1 ; R_1 , $R_2.14$, $R_2.59$; $F_2.13$ et $F_2.47$ de la figure 2 correspondent respectivement les inverseurs I_1 à I_{13} et I_4 à I_6 , les filtres de préfiltrage $F_1.1$ à $F_1.3$, les cellules-tampons $R_1.1$ à $R_1.5$, $R_2.1$ à $R_2.4$ et $R_2.5$ à $R_2.9$ et les filtres $F_2.1$ à $F_2.3$ et $F_2.4$ à $F_2.7$ des figures 3a et 3b.

Les blocs N_1 à N_4 , D_1 et D_2 , E_1 , DEV 1, DEV 2, RB 1 et RB 3 AZI1.1 et AZI1.2, AZIM1 et AZIM3 sont à considérer comme des opérations sur la figure 2, et comme des générateurs de fonctions, propres à effectuer ces opérations, sur les figures 3a et 3b.

Sur les figures 3a et 3b, les notations des composantes des signaux ne tiennent pas compte, pour des raisons de simplification, de ce que ces composantes gardent évidemment, à tous les niveaux, la mémoire des traitements qui leur ont été appliqués dans les blocs qu'elles ont traversés. antérieurement.

Les composantes axiales $Y_{S_{x_0}}$, $Y_{S_{y_0}}$, $Y_{S_{z_0}}$ et $\mu_{S_{x_0}}$, $\mu_{S_{y_0}}$, et $\mu_{S_{z_0}}$ de sortie de l'accéléromètre et du magnétomètre, disponibles au début de la phase de détermination des valeurs de paramètres, peuvent être considérées comme ayant chacune sur chacun des intervalles de temps élémentaires Δt , une amplitude constante.

Les composantes axiales du magnétomètre, de signe éventuellement corrigé par les inverseurs I_4 , I_5 et I_6 , sont appliquées au générateur de fonction N_1 , qui délivre à sa sortie la norme $\mu_{S_{xyz}}$, les composantes axiales normées $\mu_{S_x} = \mu_{S_{x_0}} / \mu_{S_{xyz}}$, $\mu_{S_y} = \mu_{S_{y_0}} / \mu_{S_{xyz}}$, $\mu_{S_z} = \mu_{S_{z_0}} / \mu_{S_{xyz}}$ et la composante diagonale transversale normée $\mu_{S_{xy}} = \sqrt{(\mu_{S_{x_0}})^2 + (\mu_{S_{y_0}})^2} / \mu_{S_{xyz}}$.

Les composantes axiales de l'accéléromètre, de signe éventuellement corrigé par les inverseurs I_1 , I_2 et I_3 , sont appliquées aux filtres de préfiltrage identiques $F_1.1$ à $F_1.3$.

Si ξ_0 représente x_0 , y_0 ou z_0 pour une composante avant filtrage, si ξ représente x , y , z pour une composante après filtrage, si k et ℓ représentent des nombres entiers et si $Y_{S_{\xi, \ell \Delta t}}$ représente l'amplitude de la composante ξ du signal Y_S au cours du ℓ ème intervalle de

temps Δt , la caractéristique des filtres $F_1.1$ à $F_1.3$ est de délivrer pour tout ℓ , un signal de sortie tel que :

$$Y_{S_{\xi}, (15.5)\Delta t} = \frac{1}{16,82} \sum_{k=0}^{15} a_k \left[Y_{S_{\xi_0}, [(15.5)(\ell-1)+k]\Delta t} + Y_{S_{\xi_0}, [(15.5)(\ell+1)-k]\Delta t} \right]$$

avec $a_k = 0,54 - 0,46 \cos \frac{2k\pi}{31}$

- 5 La caractéristique de ces filtres F_1 est représentée sur la figure 4 qui porte, en abscisse, la fréquence et, en ordonnée, l'atténuation, dans le cas où la valeur de chaque composante du signal Y_S de l'accéléromètre est échantillonnée toutes les 8,3 millisecondes ($\Delta t = 8,3$ ms). De nouvelles composantes filtrées apparaissent donc tous
- 10 les $15.5 \Delta t$, soit environ toutes les $1/7,5$ secondes. Le rôle des filtres F_1 est d'atténuer très sensiblement, dans les composantes filtrées, les variations de signal présentant une fréquence supérieure à la fréquence maximale possible du mouvement de rotation de la sonde autour de son axe. On voit sur la figure 4 que les fréquences supérieures à 2,5 Hz subissent une atténuation supérieure à 3 dB.
- 15

- Comme l'apparition de la composante filtrée $Y_{S_{\xi}, 15.5\Delta t}$ suppose l'apparition antérieure de la composante non filtrée $Y_{S_{\xi_0}, (15.5)(\ell+1)\Delta t}$ le signal de sortie du filtre F_1 présente un certain retard par rapport au signal d'entrée. Comme il convient évidemment d'utiliser ensemble les
- 20 composantes des signaux de l'accéléromètre et du magnétomètre relatives à une même profondeur instantanée de la sonde dans le puits, les composantes μ_{S_x} , μ_{S_y} , μ_{S_z} , $\mu_{S_{xy}}$ et la norme $\mu_{S_{xyz}}$ du signal de repérage, issu du magnétomètre, subissent dans les cellules $R_1.1$ à $R_1.5$ un retard équivalent à celui que provoque le filtrage F_1 sur les composantes du signal
- 25 d'accélération.

- Le diviseur DV_1 auquel sont appliquées ensuite les composantes μ_{S_z} et $\mu_{S_{xy}}$, effectue le rapport $\mu_{S_{xy}} / \mu_{S_z}$, qui représente la tangente de l'angle α formé entre la direction du vecteur de champ magnétique terrestre et celle de l'axe de la sonde. L'information $\mu_{S_{xy}} / \mu_{S_z}$ est ensuite appliquée au comparateur COMP 1 qui la compare à une limite de valeur prédéterminée L_1 . Si la quantité $u = \frac{\mu_{S_{xy}}}{\mu_{S_z}} - L_1$ est positive ou nulle, la sortie du comparateur COMP 1 se met dans l'état $T_1 = 0$ (cas général), et, si u est négatif, dans l'état $T_1 = 1$ (cas particulier, le moins fréquent), T_1 étant par exemple défini par la fonction explicite
- 35 $T_1 = 1 - \text{INT } 2^{-|u|}$ où "INT" désigne la fonction "partie entière de". Ainsi, pour la valeur, généralement appropriée, de $5 \cdot 10^{-2}$ pour L_1 , la sortie T_1 du comparateur COMP 1 sera désactivée si l'angle α ($\alpha = \text{Arctg } \frac{\mu_{S_{xy}}}{\mu_{S_z}}$) est supérieur ou égal à 3° (cas général).

L'état T_1 de la sortie du comparateur COMP 1 permet d'opérer un aiguillage, symboliquement réalisé par deux relais $\overline{MT}_1$ et MT_1 . Le relais $\overline{MT}_1$ ferme ses contacts lorsque $\overline{T}_1 = 1 - T_1$ est égal à 1 et le relais MT_1 ferme ses contacts lorsque T_1 est égal à 1. Lorsque T_1 est nul, (cas général), c'est-à-dire lorsque $\overline{T}_1$ est égal à 1 (fig. 3a) le signal $^{\mu}S$ du magnétomètre est utilisé comme signal stabilisateur aS et le signal $^{\gamma}S$ de l'accéléromètre comme signal à stabiliser pS , ce qui signifie que le signal du magnétomètre est utilisé pour corriger le signal de l'accéléromètre des effets de rotation de la sonde. Inversement lorsque T_1 est égal à 1 (cas particulier), c'est-à-dire lorsque $\overline{T}_1$ est nul, le signal stabilisateur aS est le signal $^{\gamma}S$ de l'accéléromètre, qui sert à corriger le signal $^{\mu}S$ du magnétomètre, constituant le signal à stabiliser pS .

De façon plus concise, les relais $\overline{MT}_1$ et MT_1 réalisent la définition :

$$\begin{cases} ^pS = \overline{T}_1 \cdot ^{\gamma}S + T_1 \cdot ^{\mu}S \\ ^aS = T_1 \cdot ^{\gamma}S + \overline{T}_1 \cdot ^{\mu}S \end{cases} \text{ pour les deux valeurs de } T_1.$$

Dans le cas $T_1 = 1$ (cas particulier), les composantes $^{\gamma}S_{xo}$ et $^{\gamma}S_{yo}$ provenant de $F_{1.1}$ et $F_{1.2}$ sont combinées en N_3 pour obtenir la composante transversale diagonale $^{\gamma}S_{xy} = \sqrt{(^{\gamma}S_{xo})^2 + (^{\gamma}S_{yo})^2}$

L'étape ET1 de stabilisation virtuelle consiste essentiellement à corriger les composantes axiales transversales du signal à stabiliser, en éliminant dans ces composantes les effets de la rotation de la sonde, au moyen des composantes transversales diagonale et axiales du signal stabilisateur, dans les blocs D_1 ou D_2 ; pour des composantes $^pS_{xo}$, $^pS_{yo}$, aS_x , aS_y , $^aS_{xy}$ d'entrée, D_1 et D_2 fournissent en sortie les nouvelles composantes pS_x et pS_y telles que :

$$^pS_x = \frac{^pS_{xo} \cdot ^aS_x + ^pS_{yo} \cdot ^aS_y}{^aS_{xy}}$$

$$^pS_y = \frac{^pS_{xo} \cdot ^aS_y - ^pS_{yo} \cdot ^aS_x}{^aS_{xy}}$$

$^pS_{xo}$ et $^pS_{yo}$ proviennent de $F_{1.1}$ et $F_{1.2}$ si $T_1 = 0$ (cas général) et de $R_{1.1}$ et $R_{1.2}$ si $T_1 = 1$ (cas particulier); aS_x et aS_y proviennent de

$R_{1.1}$ et $R_{1.2}$ si $T_1 = 0$ (cas général) et de $F_{1.1}$ et $F_{1.2}$ si $T_1 = 1$ (cas particulier) ; et $^a S_{xy}$ provient de N_1 par $R_{1.4}$ lorsque $T_1 = 0$ (cas général), et de N_3 lorsque $T_1 = 1$ (cas particulier). Les composantes $^P S_x$ et $^P S_y$ stabilisées sont sensiblement celles qui auraient été obtenues en

5 absence de rotation de la sonde autour de son axe longitudinal. Les composantes $^P S_x$ et $^P S_y$ provenant des blocs D_1 ou D_2 , la composante axiale longitudinale $^Y S_z$ du signal de l'accéléromètre (définissant $^P S_z$ si $T_1 = 0$ et $^a S_z$ si $T_1 = 1$), et, si $T_1 = 1$ (cas particulier), la composante diagonale $^Y S_{xy} = ^a S_{xy}$ du signal stabilisateur, subissent ensuite, dans les

10 blocs $F_{2.1}$ à $F_{2.7}$ un filtrage passe-bas dont la caractéristique est donnée par :

$$S_{\xi, (31.5)\Delta t} = \frac{1}{34.1} \sum_{k=0}^{31} b_k \left[S_{\xi 0, [(31.5)(\ell-1)+k]\Delta t} + S_{\xi 0, [(31.5)(\ell+1)-k]\Delta t} \right]$$

avec $b_k = 0,54 - 0,46 \cos \frac{2k\pi}{63}$

La caractéristique de ces filtres F_2 est représentée sur la

15 figure 5 qui porte, en abscisse, la fréquence et en ordonnée, l'amplitude transmise, dans le cas où la valeur de chaque composante devant être filtrée est échantillonnée toutes les $1/7,5$ secondes ($\Delta t = 1/7,5$ s). De nouvelles composantes filtrées apparaissent donc tous les $31.5\Delta t$, soit environ toutes les 4.2 secondes.

20 Le rôle des filtres F_2 est d'éliminer, des composantes filtrées, les variations de l'amplitude présentant une fréquence supérieure à la fréquence maximale des variations d'amplitude qui sont imputables à l'accélération de la pesanteur et qui dérivent essentiellement des variations de l'angle formé entre la verticale et l'axe longitudinal de

25 la sonde. On voit sur la figure 5 que les fréquences supérieures à 8.10^{-2} Hz subissent une atténuation supérieure à 3 dB et très rapidement croissante.

Comme l'apparition d'une composante filtrée $S_{\xi, (31.5)\ell\Delta t}$ suppose l'apparition antérieure de la composante non filtrée $S_{\xi 0, (31.5)(\ell+1)\Delta t}$

30 les composantes à la sortie des filtres $F_{2.1}$ à $F_{2.7}$ subissent un retard de $31.5 \Delta t$. Pour éliminer les incidences de ce retard, les composantes non filtrées subissent des retards équivalents dans les cellules tampons $R_{2.1}$ à $R_{2.9}$.

Après le filtrage passe-bas, les composantes du signal de l'accéléromètre sont normées. Lorsque $T_1 = 0$ (cas général), les composantes

35 de $^Y S = ^P S$ sont normées en N_2 , qui fournit la norme $^Y S_{xyz} = ^P S_{xyz}$ et les

composantes normées diagonale $Y_{S_{xy}} = P_{S_{xy}}$ et axiales $Y_{S_x} = P_{S_x}$, $Y_{S_y} = P_{S_y}$ et $Y_{S_z} = P_{S_z}$. Lorsque $T_1 = 1$ (cas particulier), les composantes de $Y_S = {}^a S$ sont normées en N_4 , qui fournit la norme $Y_{S_{xyz}} = {}^a S_{xyz}$ et les composantes normées longitudinale $Y_{S_z} = {}^a S_z$ et diagonale $Y_{S_{xy}} = {}^a S_{xy}$.

5 En outre, lorsque $T_1 = 0$ (cas général), de nouvelles composantes transversales $Y_{S_x} = P_{S_x}$ et $Y_{S_y} = P_{S_y}$ du signal de l'accéléromètre sont obtenues dans E_1 , à la sortie de N_2 , en utilisant les composantes transversales ${}^a S_x = {}^\mu S_x$, ${}^a S_y = {}^\mu S_y$ et ${}^a S_{xy} = {}^\mu S_{xy}$ du signal de repérage issu du magnétomètre. Cette opération E_1 constitue l'opération inverse de l'opération D_1 précédemment mentionnée et a pour effet de réintroduire, dans les composantes du signal de l'accéléromètre, l'information relative à la rotation de la sonde autour de son axe longitudinal.

10 Si $Y_{S_{x0}}$ et $Y_{S_{y0}}$ sont les composantes de Y_S à la sortie de N_2 et ${}^\mu S_x$, ${}^\mu S_y$, ${}^\mu S_{xy}$ les composantes transversales de ${}^\mu S$ à la sortie de $R_{2.1}$, $R_{2.2}$ et $R_{2.4}$, les nouvelles composantes de Y_S à la sortie de E_1 sont :

$$Y_{S_x} = \frac{Y_{S_{x0}} \cdot {}^\mu S_x + Y_{S_{y0}} \cdot {}^\mu S_y}{{}^\mu S_{xy}}$$

$$Y_{S_y} = \frac{Y_{S_{x0}} \cdot {}^\mu S_y - Y_{S_{y0}} \cdot {}^\mu S_x}{{}^\mu S_{xy}}$$

20 Il convient ici de faire remarquer que ces composantes Y_{S_x} et Y_{S_y} ne sont pas du tout identiques ni proportionnelles aux composantes du signal de sortie de l'accéléromètre. Si, en effet, ces nouvelles composantes Y_{S_x} et Y_{S_y} contiennent à nouveau l'information relative à la rotation de la sonde autour de son axe longitudinal par rapport à une position de référence, par contre elles sont débarrassées des informations perturbatrices provenant des chocs de la sonde contre la paroi du puits.

25 L'étape finale ET2 de combinaison des composantes des signaux d'accélération et de repérage aboutit, par différentes opérations décrites ci-après, à la détermination de différents paramètres représentatifs de l'orientation topographique du puits et de la position de la sonde dans le puits par rapport à une position de référence correspondant à un calage de la sonde pour les mouvements de rotation autour de son axe longitudinal.

Les composantes transversale diagonale $Y_{S_{xy}}$ et longitudinale Y_{S_z} du signal de l'accéléromètre, normées en N_2 ou en N_4 , sont combinées pour obtenir la valeur d'un premier paramètre, DEV, représentant l'angle β formé entre la verticale et l'axe longitudinal de la sonde.

5 Si $T_1 = 0$ (cas général), le paramètre DEV est obtenu en DEV 1 qui fournit l'information de même nom DEV 1, et si $T_1 = 1$, DEV est obtenu en DEV 2, fournissant l'information DEV 2. Les générateurs de fonctions DEV 1 et DEV 2 sont identiques et fournissent l'information définie par $\text{Arctg} \frac{Y_{S_{xy}}}{Y_{S_z}}$.

10 Dans le cas $T_1 = 0$ (cas général), l'information DEV 1 est, dans le comparateur COMP 2, comparée à un angle L2 de valeur prédéterminée, par exemple égale à 0.5° ; en fonction du résultat de cette comparaison, on multiplie par 0 ou 1 la valeur de deux autres informations RBL et AZIM 1, qui seront définies ultérieurement. Ceci est, de façon schématique, re-

15 présenté par la possibilité, pour le comparateur COMP 2, de commander deux relais $MT_{2.1}$ et $MT_{2.2}$ fermés ou commutés à la masse. Le comparateur COMP 2 et les relais $MT_{2.1}$ et $MT_{2.2}$ sont équivalents à un test " $T_2 = 0$?" dans lequel T_2 est une fonction à valeur 1 si l'angle v défini par $v = \text{DEV 1} - L2$ est positif ou nul et à valeur nulle si v est négatif.

20 La fonction T_2 peut par exemple prendre la forme explicite : $T_2 = \text{INT } 2^{v-|v|}$ où INT désigne la fonction "partie entière de". Pour définir les informations RBL et AZIM 1, précédemment évoquées, il est avantageux de définir deux fonctions, H et J, de deux variables N et D, telles que :

$$H(N, D) = \text{Arctg} \frac{N}{D} + \pi \cdot \text{INT } 2^{-D - |D|}$$

25 et $J = H + 2\pi (1 - \text{INT } 2^{H - |H|})$

Autrement dit, $J(N, D)$ est égal à : $\text{Arctg} \frac{N}{D} + \pi$ si D est négatif, et à $\text{Arctg} \frac{N}{D}$ si D est positif, 2π étant ajoutés si $\text{Arctg} \frac{N}{D}$ est négatif.

Les deux composantes transversales axiales du signal à stabiliser P_{S_x} , P_{S_y} , débarrassées des effets de rotation de la sonde et filtrées, provenant de N_2 lorsque $T_1 = 0$ (cas général) et de $F_{2.6}$ et $F_{2.7}$ lorsque $T_1 = 1$, la composante longitudinale normée P_{S_z} de ce même signal, provenant de N_2 lorsque $T_1 = 0$ (cas général) et de $R_{2.9}$ lorsque $T_1 = 1$, et les composantes diagonale et longitudinale $^a S_{xy}$ et $^a S_z$ du vecteur stabilisateur, provenant de $R_{2.4}$ et $R_{2.3}$ lorsque $T_1 = 0$ (cas général) et de

35 N_4 lorsque $T_1 = 1$, sont combinées pour obtenir la valeur d'un second paramètre, AZIM, représentant l'angle ζ formé entre la trace horizontale du plan vertical passant par l'axe longitudinal de la sonde et la projection horizontale du vecteur de champ magnétique terrestre.

Pour $T_1 = 0$ (cas général), le bloc AZIM 1 réalise la fonction élaborant l'information de même nom, AZIM 1, précédemment évoquée et définie par :

AZIM 1 = J(N,D) avec

$$5 \quad N = Y_{S_y} \cdot \mu_{S_{xy}} \quad \text{et} \quad D = \mu_{S_z} \left[\left(Y_{S_x} \right)^2 + \left(Y_{S_y} \right)^2 \right] - Y_{S_z} \cdot Y_{S_x} \cdot \mu_{S_{xy}}$$

Après le test " $T_2 = 0$?", l'information AZIM 1 devient AZIM 2 telle que $AZIM 2 = T_2 \cdot AZIM 1$.

Pour $T_1 = 1$, le bloc AZIM 3 réalise la fonction élaborant l'information AZIM 3, définie par :

10 AZIM 3 = J(N,D) avec

$$N = - \mu_{S_y} \quad \text{et} \quad D = \mu_{S_z} \cdot Y_{S_{xy}} - Y_{S_z} \cdot \mu_{S_x}$$

Le paramètre AZIM est donc égal à AZIM 2 si $T_1 = 0$ (cas général) et à AZIM 3 si $T_1 = 1$.

Les trois composantes axiales Y_{S_x} , Y_{S_y} et Y_{S_z} du signal de
 15 l'accéléromètre, contenant les effets de rotation de la sonde, c'est-à-dire provenant, lorsque $T_1 = 0$ (cas général) de F_1 en ce qui concerne Y_{S_x} et Y_{S_y} et de N_2 pour Y_{S_z} , et, lorsque $T_1 = 1$, de $R_{2.5}$ et $R_{2.6}$ en ce qui concerne Y_{S_x} et Y_{S_y} , et de N_4 pour Y_{S_z} , et les trois composantes axiales μ_{S_x} , μ_{S_y} et μ_{S_z} du signal du magnétomètre, contenant également
 20 les effets de rotation de la sonde, c'est-à-dire provenant, lorsque $T_1 = 0$ (cas général), de $R_{2.1}$, $R_{2.2}$ et $R_{2.3}$ et, lorsque $T_1 = 1$, de $R_{2.7}$, $R_{2.8}$ et $R_{2.9}$, sont combinées pour obtenir la valeur d'un troisième paramètre, AZI 1, représentant l'angle δ formé entre la projection horizontale du vecteur de champ magnétique terrestre et la projection horizontale
 25 d'un vecteur perpendiculaire à l'axe longitudinal de la sonde et joignant cet axe à un point fixe P de la sonde, distant de ce même axe. Cette combinaison est faite, lorsque $T_1 = 0$ (cas général) par AZI1.1 qui fournit l'information AZI1.1 telle que $AZI1.1 = J(N,D)$ avec

$$30 \quad N = Y_{S_y} \cdot \mu_{S_z} - Y_{S_z} \cdot \mu_{S_y} \quad \text{et} \\ D = \mu_{S_x} \left[\left(Y_{S_y} \right)^2 + \left(Y_{S_z} \right)^2 \right] - Y_{S_x} \left(\mu_{S_z} \cdot Y_{S_z} + \mu_{S_y} \cdot Y_{S_y} \right)$$

Lorsque $T_1 = 1$, la combinaison des six composantes axiales des signaux est réalisée par AZI1.2, de la même façon, c'est-à-dire avec les mêmes expressions pour N et D. Le paramètre AZI 1 est donc égal à AZI1.1 si $T_1 = 0$ et à AZI1.2 si $T_1 = 1$.

Les deux composantes axiales transversales Y_{S_x} et Y_{S_y} du signal de l'accéléromètre, contenant les effets de rotation de la sonde, c'est-à-dire provenant de E_1 lorsque $T_1 = 0$ (cas général) et de $R_{2.5}$ et $R_{2.6}$ lorsque $T_1 = 1$, sont combinées respectivement en $RB1$ et $RB3$

- 5 pour obtenir la valeur d'un quatrième paramètre, RB , représentant l'angle maximal θ , ou angle dièdre, formé entre un plan vertical contenant l'axe longitudinal de la sonde et un plan contenant l'axe de la sonde et passant par le point fixe P de celle-ci. Les informations $RB1$ et $RB3$ s'expriment par la même combinaison de composantes, à savoir $J(N,D)$ avec
- 10 $N = Y_{S_y}$ et $D = -Y_{S_x}$. Après le test " $T_2 = 0 ?$ ", l'information $RB1$ devient $RB2$ telle que $RB2 = T_2 \cdot RB1$. Le paramètre RB est donc égal à $RB2$ si $T_1 = 0$ et à $RB3$ si $T_1 = 1$.

Sur la figure 3b, le relais à doubles contacts $\bar{T}_1 T_1$, commandé par le comparateur $COMP 1$, représente de façon schématique le raccordement de la phase de détermination de la valeur des paramètres à une opération d'affichage AFF de ces paramètres. Ainsi ce relais $\bar{T}_1 T_1$ permet d'obtenir, à la fin de la phase de détermination, les paramètres DEV , $AZIM$, $AZIM1$ et RB qui, sous une forme explicite, s'expriment par :

$$\begin{aligned} DEV &= \bar{T}_1 \cdot DEV 1 + T_1 \cdot DEV 2 \\ 20 \quad AZIM &= \bar{T}_1 \cdot T_2 \cdot AZIM 1 + T_1 \cdot AZIM 3 \\ AZIM1 &= \bar{T}_1 \cdot AZIM1.1 + T_1 \cdot AZIM1.2 \\ RB &= \bar{T}_1 \cdot T_2 \cdot RB1 + T_1 \cdot RB3 \end{aligned}$$

Il est toutefois possible, et éventuellement avantageux, de déterminer au cours de l'étape finale $ET2$, la valeur d'autres paramètres

25 tels que $\sin i$, i étant l'angle d'inclinaison du vecteur de champ magnétique terrestre. Cette possibilité est illustrée sur la figure 3b (cas $T_1 = 1$). Le paramètre $\sin i$ est donné par :

$$\sin i = P_{S_x} \cdot a_{S_{xy}} + P_{S_z} \cdot a_{S_z}$$

D'autre part, l'affichage de grandeurs telles que la norme

30 $\mu_{S_{xyz}}$ du signal du magnétomètre, et la norme $Y_{S_{xyz}}$ du signal de l'accéléromètre, après filtrage passe-bas, permet d'exercer un contrôle sur la signification réelle des valeurs obtenues pour les différents paramètres.

Comme il est dit précédemment, la valeur de $L1$ doit être choisie assez faible, de préférence inférieure ou égale à $5 \cdot 10^{-2}$ ($5 \cdot 10^{-2} =$

35 $\tan 3^\circ$). En effet, le signal Y_S de l'accéléromètre étant très perturbé

par les accélérations subies par la sonde en raison de son mouvement,
il est avantageux de restreindre au maximum l'utilisation du signal S
de l'accéléromètre en tant que signal stabilisateur ^aS pour débarasser
le signal de magnétomètre des effets de rotation de la sonde, donc de
5 restreindre au maximum les cas $T_1 = 1$.

Bien que, dans le procédé de l'invention, la phase de détermination de la valeur des paramètres puisse, en utilisant les indications précédentes, être mise en oeuvre selon des modalités diverses, et par exemple au moyen d'un dispositif matériel conçu spécialement à cette
10 fin et répondant au schéma des figures 3a et 3b, il est apparu que la voie la plus adaptée consistait à recourir à un traitement automatique de données au moyen d'un ordinateur. Dans une telle composante, les blocs des figures 2, 3a et 3b représentent des sous-programmes, à l'exception des comparateurs de la figure 3a qui représentent des tests,
15 et des relais des figures 3a et 3b, qui représentent des branchements conditionnels.

REVENDICATIONS

1. Procédé de détermination d'au moins deux paramètres de direction d'un puits en fonction de la profondeur, comprenant les phases consistant à : produire un signal d'accélération à trois composantes représentant un ensemble d'accélération subies par une sonde qui
5 est déplacée dans le puits et détectées suivant trois axes de référence liés à cette sonde ; produire un signal de repérage à trois composantes représentant un vecteur de direction fixe différente de la verticale, rapporté auxdits trois axes de référence ; déterminer lesdits paramètres de direction par une combinaison des composantes desdits signaux,
10 caractérisé en ce que les phases consistant à produire lesdits signaux d'accélération et de repérage et le déplacement de la sonde sont simultanées et sensiblement continues, en ce que ladite phase de détermination des paramètres de direction est scindée en une étape de stabilisation virtuelle par laquelle on élimine les effets du déplacement de la sonde dans les composantes de l'un desdits signaux, consti-
15 tuant un signal à stabiliser, au moyen des composantes de l'autre signal, constituant un signal stabilisateur.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que ladite phase de détermination des paramètres comprend en outre une
20 opération intermédiaire de filtrage passe-bas, portant au moins sur des composantes stabilisées dudit signal à stabiliser et par laquelle on élimine de ces composantes les variations de fréquence supérieure à la fréquence maximale des variations imputables à l'accélération de la pesanteur.

25 3. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que ladite phase de détermination des paramètres de direction comprend en outre une étape préliminaire à ladite étape de stabilisation virtuelle, comportant une opération de préfiltrage des composantes du signal d'accélération, par laquelle on atténue sensiblement, dans ces
30 composantes, les variations de signal présentant une fréquence supérieure à la plus grande fréquence possible du mouvement de rotation de la sonde autour de son axe longitudinal.

4. Procédé suivant la revendication 1 ou 3, caractérisé en ce que lesdits signaux d'accélération et de repérage sont rapportés à un premier et un second axe sensibles transversaux, perpendiculaires entre eux et à l'axe longitudinal de la sonde, et à un troisième axe sensible, de direction longitudinale et confondu avec l'axe de la sonde, lesdits signaux comprenant chacun deux composantes axiales transversales et une composante axiale longitudinale.

5. Procédé suivant la revendication 4, dans lequel la phase de détermination desdits paramètres de direction comprend une étape préliminaire à l'étape de stabilisation virtuelle, caractérisé en ce qu'on détermine, dans cette étape préliminaire, une composante diagonale transversale du signal stabilisateur à partir des composantes axiales transversales de ce signal, et en ce qu'on élimine lesdits effets de rotation, au moyen des composantes axiales et diagonale transversales de ce même signal, dans les composantes axiales transversales du signal à stabiliser, pour en obtenir des composantes stabilisées en rotation, correspondant à une position de référence de la sonde autour de son axe longitudinal.

6. Procédé suivant la revendication 5, caractérisé en ce que l'étape préliminaire comprend les opérations consistant à : déterminer une composante diagonale transversale du signal de repérage à partir des composantes axiales transversales de ce signal ; déterminer à partir de cette composante diagonale transversale et de la composante axiale longitudinale de ce même signal de repérage le signe de la différence entre un premier angle, formé entre ledit vecteur de direction fixe et l'axe longitudinal de la sonde, et un angle limite de valeur prédéterminée ; définir les signaux stabilisateur et à stabiliser, respectivement par les signaux de repérage et d'accélération lorsque le signe de ladite différence est positif, et par les signaux d'accélération et de repérage lorsque ce signe est négatif ; et déterminer une composante diagonale transversale du signal stabilisateur à partir de ses composantes axiales transversales lorsque ce signal stabilisateur est défini par ledit signal d'accélération.

7. Procédé suivant la revendication 6, caractérisé en ce que ladite étape finale de combinaison des composantes des signaux comprend une opération de détermination d'un premier desdits paramètres de direction, cette opération impliquant la combinaison de composantes diagonale transversale et axiale longitudinale, filtrées et normées, dudit signal d'accélération, ce premier paramètre représentant l'angle formé entre la verticale et l'axe longitudinal de la sonde.

8. Procédé suivant la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que ladite étape finale de combinaison de composantes des signaux comprend une opération de détermination d'un second desdits paramètres de direction, cette opération impliquant la combinaison des trois composantes axiales normées et stabilisées dudit signal à stabiliser et des composantes longitudinales et diagonale transversale normées dudit signal stabilisateur, ce second paramètre représentant l'angle formé entre la trace horizontale du plan vertical passant par l'axe longitudinal de la sonde et la projection horizontale dudit vecteur de direction fixe différente de la verticale.

9. Procédé suivant la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que, lorsque le signe de la différence déterminé au cours de ladite étape préliminaire est positif, ladite étape finale comprend une opération de réintroduction des effets du déplacement de la sonde, fournissant, à partir des deux composantes axiales transversales stabilisées du signal d'accélération et des composantes transversales diagonale et axiales du signal de repérage, deux composantes axiales transversales du signal d'accélération qui ne sont à nouveau plus stabilisées par rapport à ladite position de référence de la sonde.

10. Procédé suivant la revendication 7, caractérisé en ce que ladite étape finale de combinaison comprend, après l'opération de détermination du premier paramètre de direction, une opération de comparaison de ce paramètre à une valeur minimale prédéterminée et, lorsque le premier paramètre est inférieur à cette valeur minimale, une opération consistant à forcer à la valeur zéro un second paramètre de direction, représentant l'angle formé entre la trace horizontale du plan vertical passant par l'axe longitudinal de la sonde, et la projection horizontale dudit vecteur de direction fixe différente de la verticale.

11. Appareil pour la détermination de paramètres de direction d'un puits, comprenant :

- une sonde,
- des moyens pour centraliser la sonde dans un puits,
- 5 - des premiers moyens, compris dans la sonde, pour produire des signaux représentant les accélérations subies par la sonde quand la sonde est déplacée dans le puits,
- des seconds moyens, compris dans la sonde, pour produire des signaux représentant un vecteur de direction fixe différente de la
- 10 verticale, et
- des moyens pour déterminer lesdits paramètres de direction par un traitement et une combinaison desdits signaux,
- caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement et de
- combinaison comprennent en outre des moyens additionnels pour le traite-
- 15 ment et la combinaison des signaux afin de déterminer les paramètres de direction, représentant la position de la sonde dans le puits à chaque profondeur, de façon que lesdits paramètres soient débarrassés des effets du déplacement de la sonde dans le puits.

12. Appareil suivant la revendication 11, caractérisé en ce que lesdits moyens additionnels de traitement et de combinaison comprennent en outre :

- des moyens pour débarrasser les signaux produits par lesdits premiers moyens des effets du déplacement de la sonde, par une combinaison des composantes des signaux produits par lesdits premiers
- 25 et seconds moyens, et
- des moyens pour déterminer lesdits paramètres de direction par une combinaison des composantes desdits signaux débarrassés des effets du déplacement de la sonde et des signaux produits par lesdits seconds moyens.

13. Appareil suivant la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

- des moyens pour effectuer le déplacement de la sonde dans le puits, et

- des moyens pour produire des mesures représentant le déplacement de la sonde dans le puits.

14. Appareil suivant la revendication 13, caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

- des moyens pour coordonner lesdites mesures de déplacement avec lesdits paramètres de direction.

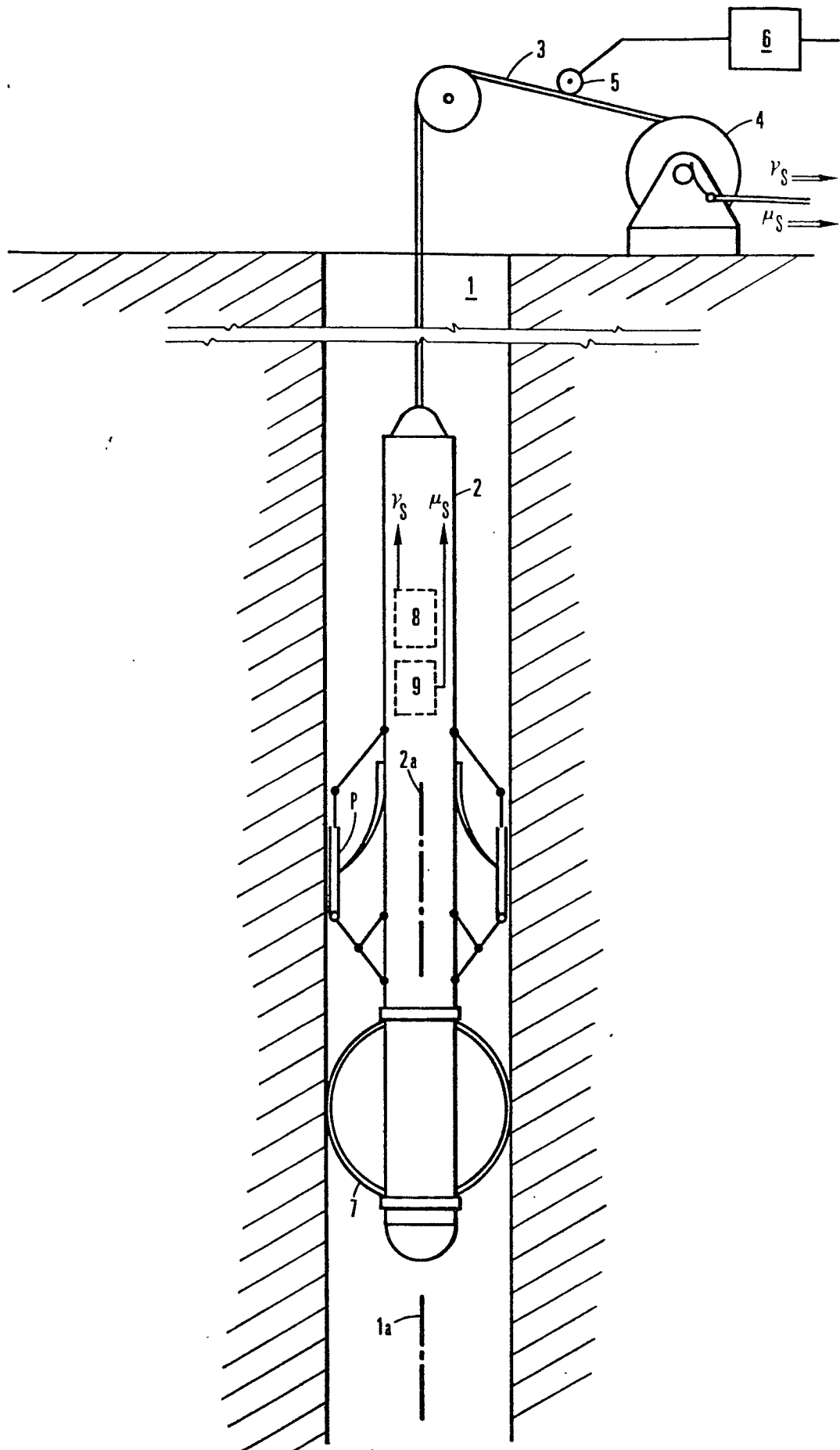


Fig.1

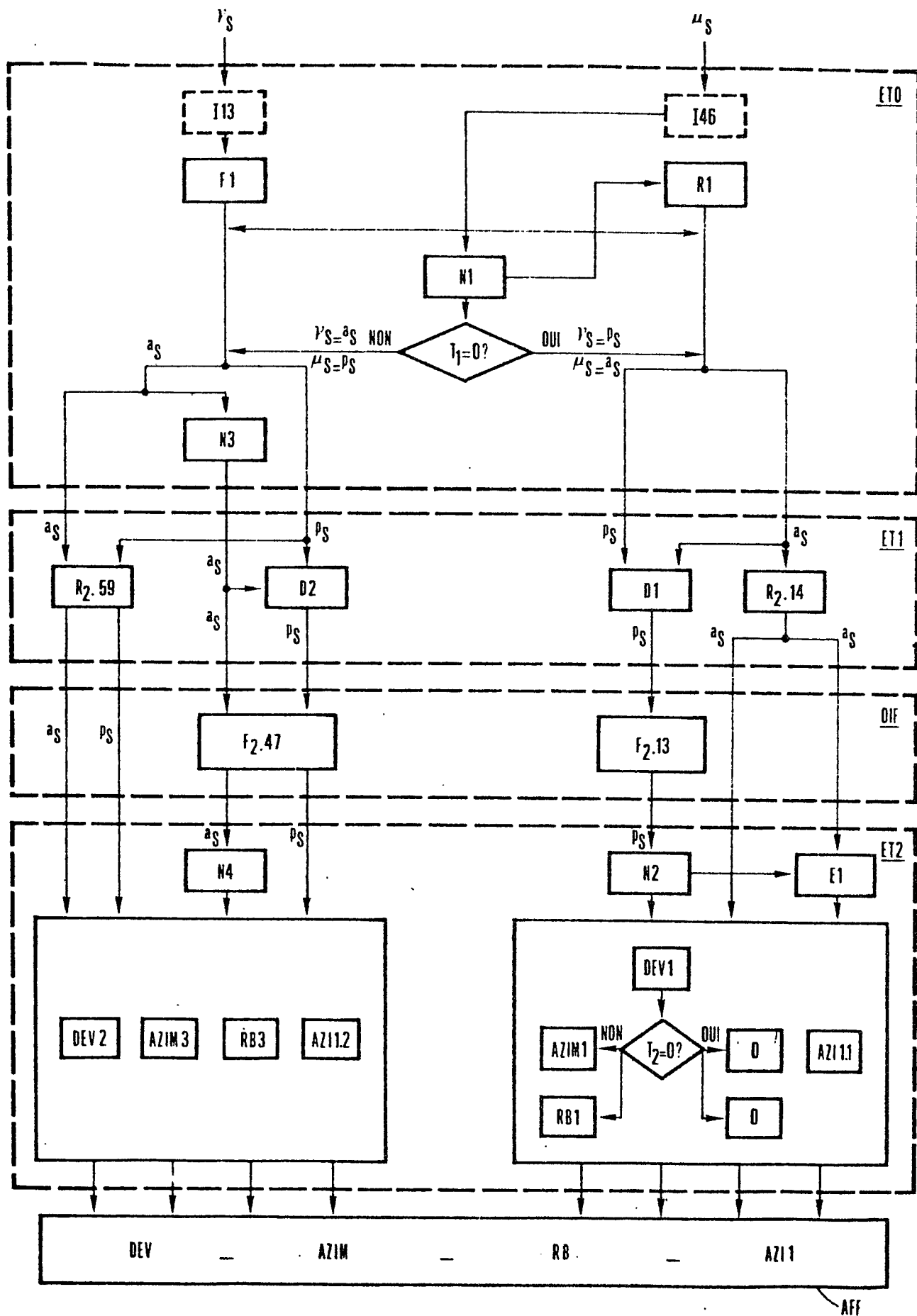


Fig. 2

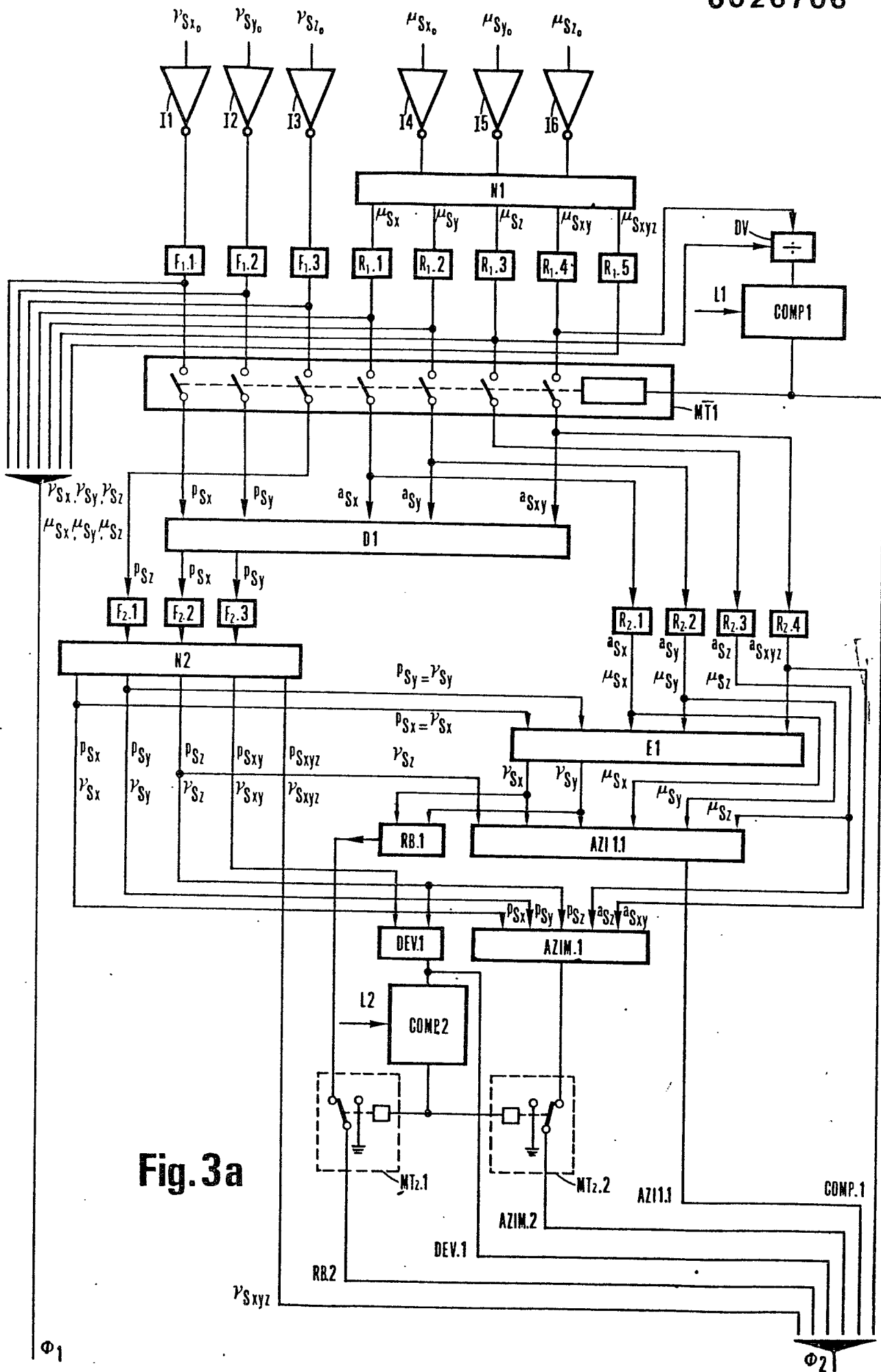
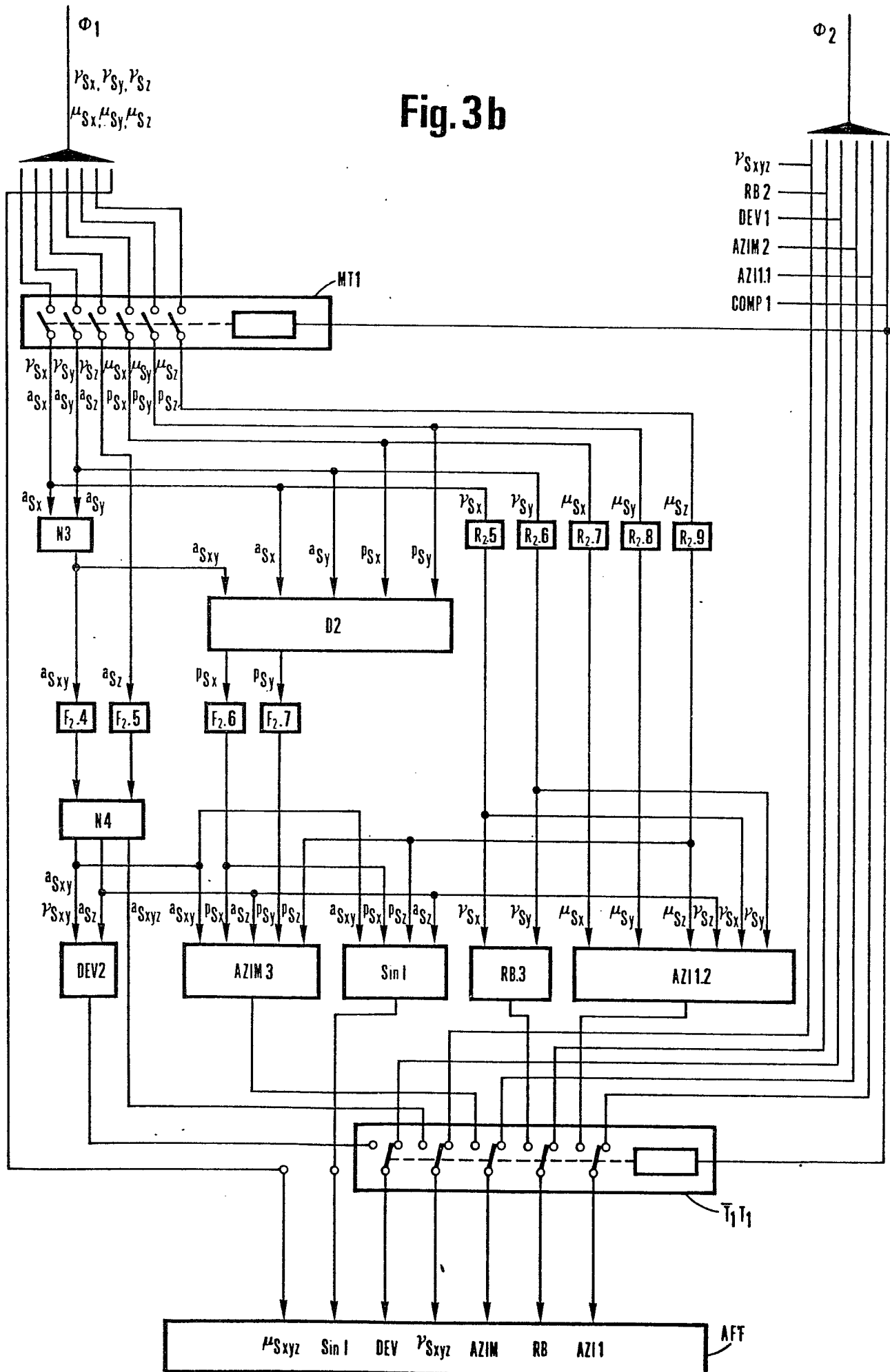


Fig. 3b



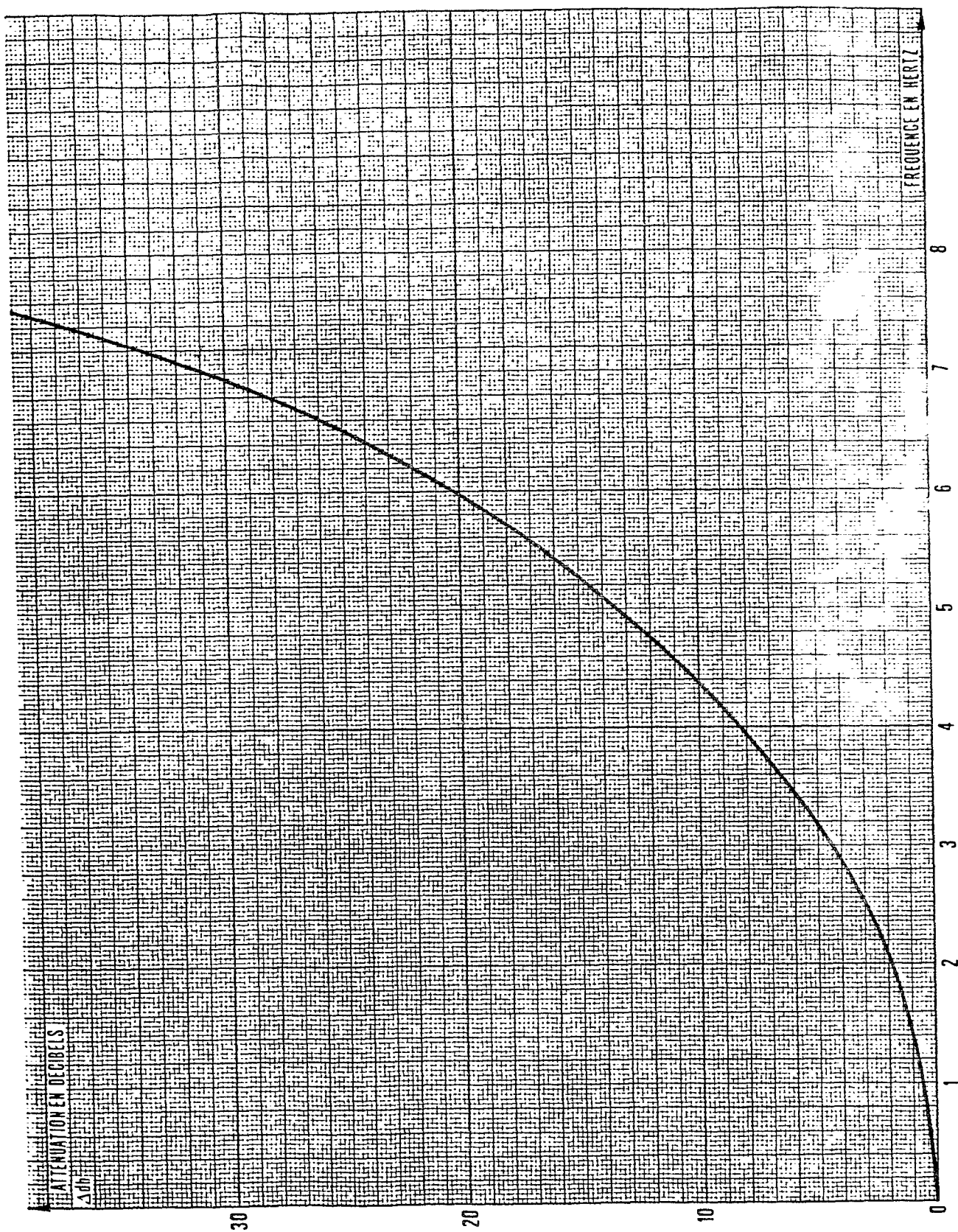


Fig.4

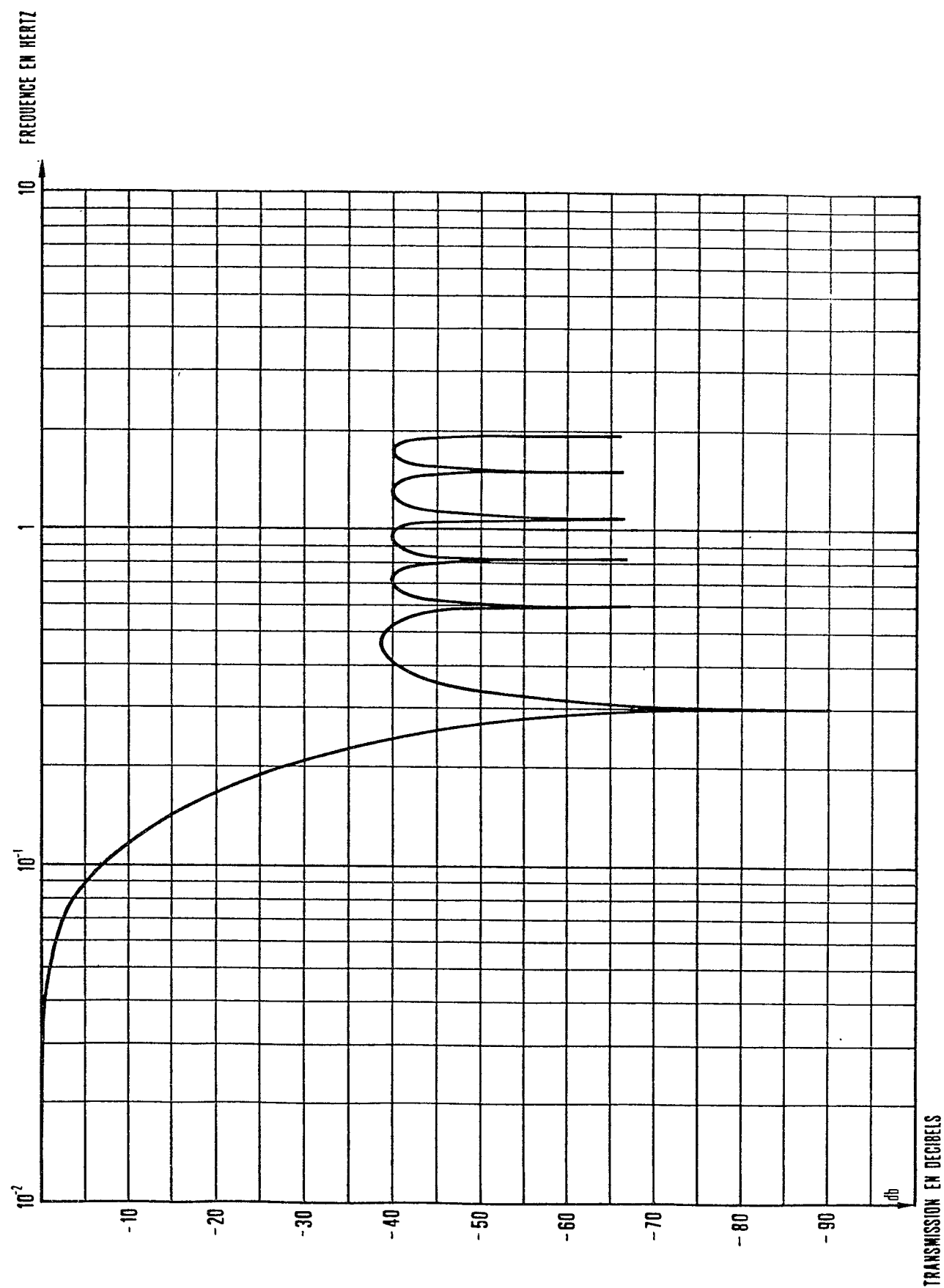


Fig. 5



EP 80 40 1361

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
A	DE - A - 2 156 110 (A.W. RUSSEL) * Pages 2-4, 22 * & FR - A - 2 126 981 --	1	E 21 B 47/022
AD	US - A - 3 862 499 (ISHAM et al.) * Colonne 7, ligne 14 - colonne 9, ligne 54 * --	1	
A	US - A - 3 899 834 (E.R. HARRISON) * Colonne 1, lignes 38-54 * --	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3)
A	US - A - 4 016 766 (A.D. MORRIS) * Colonne 2, lignes 27-66 * ----	1	E 21 B 47/00 G 01 C 9/00 G 01 P 15/00
			CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES
			X: particulièrement pertinent A: arrière-plan technologique O: divulgation non-écrite P: document intercalaire T: théorie ou principe à la base de l'invention E: demande faisant interférence D: document cité dans la demande L: document cité pour d'autres raisons
☒ Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			&: membre de la même famille, document correspondant
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		07-01-1981	DE BUYZER