

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 17.12.99.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 22.06.01 Bulletin 01/25.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : TOTAL FINA SA Société anonyme —
FR.

72 Inventeur(s) : GENEVOIS JEAN MICHEL.

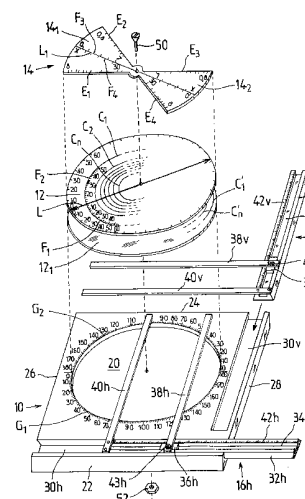
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : CABINET JOLLY.

54 REGLE A CALCUL DE DEVIATION POUR LE SUIVI DE LA TRAJECTOIRE DE FORAGE DANS UN Puits
DEVIE A DEUX DIMENSIONS.

57 L'invention concerne une règle à calcul de déviation
de type circulaire pour le suivi d'une trajectoire de puits dé-
vié à deux dimensions.

La règle à calcul comprend un plateau support (10) sur
lequel est marqué un cadran circulaire (G1, G2) gradué en
degrés, pour le repérage de l'angle d'inclinaison au point
d'entrée et au moins de sortie d'une section de trajectoire,
au moins deux disques rotatifs (12, 12₁) marqués chacun
d'une pluralité de cercles concentriques (C₁ à C_n; C'₁ à C'_n)
qui correspondent chacun à un gradient d'inclinaison par
longueur forée (Gbu) particulier, au moins un disque bi-sec-
toriel (14) pourvu sur ses bords d'échelles (E1 à E4) servant
à repérer sur le disque en service (12) les différents cercles
de Gbu, un premier système coulissant (16h) permettant la
lecture directe des dépôts horizontaux et un second sys-
tème coulissant (16v) permettant la lecture directe des écarts
de profondeur verticale.



REGLE A CALCUL DE DEVIATION POUR LE SUIVI DE LA TRAJECTOIRE DE FORAGE DANS UN Puits DEVIE A DEUX DIMENSIONS.

5 DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne une règle à calcul de déviation servant à fournir, par lecture directe, tous les paramètres nécessaires au suivi de la trajectoire de forage de puits déviés se développant dans un domaine géométrique à deux dimensions et à supprimer ainsi les
10 calculs traditionnels qui sont faits aujourd'hui à l'aide des moyens modernes de calcul, et principalement des ordinateurs.

Avant d'entrer dans les détails concernant la règle à calcul de déviation, on expliquera ce que sont les puits déviés à deux dimensions (2D) et l'on définira les paramètres et les concepts que les utilisateurs
15 de cette règle à calcul seront amenés à manipuler.

HISTORIQUE ET RAPPELS

Dans les débuts de l'histoire pétrolière, les puits étaient sensiblement verticaux. L'amélioration des techniques de forage, l'approfondissement des gisements, la découverte de nouveaux champs
20 pétroliers en mer et le coût des infrastructures "offshore" ont rendu nécessaires la mise en place et l'amélioration rapide de techniques dites de déviation. La déviation d'un puits consiste à écarter, via une technique adaptée, la trajectoire du puits de la ligne verticale passant par la tête de puits. Le fond du puits peut ainsi être déplacé d'une
25 certaine distance latérale (qui peut être de plusieurs km), par rapport à la verticale passant par la tête de puits. Il devient alors possible, à partir d'une même structure de surface ou de fond de mer ("cluster" à terre, plate-forme en mer ou "cluster" sous-marin), de forer un grand
30 nombre de puits dont les trajectoires sont divergentes. Ces puits drainent le pétrole d'une zone réservoir qui est relativement étendue en comparaison de la place nécessitée en surface ou en fond de mer pour son exploitation.

Dans les cinquante dernières années, on a vu ainsi se développer
35 toute une typologie de puits déviés, parmi lesquels on peut citer les puits en J, les puits en S, les puits horizontaux plus ou moins

complexes, les puits à long déport, les puits à cibles multiples, les puits multi-latéraux et les puits inclinés dits "slant".

Quel que soit le degré de sophistication de ces puits, ils présentent tous des trajectoires plus ou moins complexes qu'il est nécessaire de repérer dans l'espace. Il existe en gros deux classes de trajectoires : les trajectoires à deux dimensions et les trajectoires à trois dimensions.

La distinction que l'on fait entre ces deux classes de trajectoires tient à la manière dont évoluent l'inclinaison et l'azimut sur la majeure partie de la trajectoire du puits. On rappelle que l'inclinaison en un point donné de la trajectoire est l'angle que forme la tangente à la trajectoire en ce point avec la ligne verticale qui passe par ce point et que l'azimut est l'angle que fait le plan vertical qui contient la portion de trajectoire considérée avec un plan vertical géographique de référence.

Dans une trajectoire 2D, les variations de l'inclinaison sur la majorité des sections du puits sont en général très grandes devant les variations de l'azimut. Cela signifie que le puits reste, en gros, dans le même plan vertical. Cependant, si les variations de l'inclinaison et de l'azimut venaient à se rapprocher en valeurs absolues, il faudrait, pour que la trajectoire reste 2D, que l'inclinaison et l'azimut évoluent de manière complètement séparée, c'est-à-dire l'un après l'autre mais jamais en même temps.

Dans une trajectoire 3D, les variations de l'inclinaison et de l'azimut sur la majorité des sections du puits sont beaucoup plus proches, en valeurs absolues, que dans la trajectoire 2D. Sur des portions conséquentes du puits, l'inclinaison et l'azimut évoluent conjointement de manière importante.

Cette différenciation entre les trajectoires 2D et 3D est capitale, car la règle à calcul de déviation qui fait l'objet de l'invention ne permet de traiter que les cas des trajectoires 2D. Il faut cependant noter que ce domaine couvre la grande majorité des trajectoires qui sont forcées aujourd'hui.

TRAJECTOIRES ET SECTIONS

Les différents types de sections qui composent les trajectoires 2D sont au nombre de quatre :

- les sections verticales dans lesquelles la valeur de l'inclinaison est faible et proche de zéro et dans lesquelles le puits se déplace très

peu latéralement, par rapport à la ligne verticale qui passe par la tête de puits ;

5 - les sections courbes dans lesquelles la valeur de l'inclinaison peut partir ou non de zéro et change notablement devant la valeur de l'azimut et dans lesquelles le puits se déplace latéralement par rapport à la ligne verticale passant par la tête de puits dans une direction donnée. Ces déplacements latéraux tendent généralement à éloigner la trajectoire du puits de la tête de puits, mais l'inverse est possible et concerne justement le cas des puits à "courbure inverse". Parmi les
10 sections courbes, on distingue les sections à courbure positive dans lesquelles la valeur de l'inclinaison augmente et les sections à courbure négative dans lesquelles la valeur de l'inclinaison diminue. Les sections courbes peuvent avoir un rayon de courbure constant (sections en arc de cercle) ou variable (sections caténaïres) ;

15 - les sections rectilignes dans lesquelles l'inclinaison est constante et égale à une valeur donnée non nulle et dans lesquelles le puits se déplace latéralement par rapport à la verticale passant par la tête de puits dans une direction donnée. Comme pour les sections courbes, les sections rectilignes peuvent s'éloigner de la verticale
20 passant par la tête de puits ou s'en rapprocher ;

 - les sections dites de navigation dans lesquelles l'inclinaison est très changeante et tend à suivre le pendage des couches, par morceaux, avec des zones dites de transition ; ces sections ont des valeurs d'inclinaison qui oscillent autour de l'horizontale (90° d'inclinaison) et
25 sont composées de sections courbes et rectilignes.

REPERAGE DES TRAJECTOIRES 2D DANS L'ESPACE

La planification et le contrôle des trajectoires 2D nécessitent leur repérage dans un espace à deux dimensions, c'est-à-dire dans un plan
30 qui, théoriquement, est constitué par le plan vertical qui contient la trajectoire. Comme le montre la figure 1 ci-jointe, ce plan P est repéré dans un système de référence local par son azimut α par rapport à un plan vertical de référence P_1 qui contient un repère géographique fixe se trouvant en surface. La trajectoire T ne se développe pas toujours dans
35 un plan unique mais elle présente de légères variations de l'azimut. C'est pourquoi on choisira comme plan P un plan de projection sur

lequel la trajectoire est projetée et on considérera que l'azimut du puits reste constant.

La trajectoire T du puits n'est connue que par des mesures de déviation qui sont effectuées en certains points le long de la trajectoire, en général tous les 30m forés ou tous les 10m forés dans certains cas plus critiques. Dans le domaine 2D, il s'agit des mesures d'inclinaison associées à des longueurs forées dans lesquelles les longueurs forées correspondent sensiblement à la longueur cumulée des tiges de forage qui servent à forer le puits. La trajectoire suivie par le forage est reconstituée par calcul, par morceaux, à partir de ces points de mesure. Dans le domaine purement 2D, on construit la trajectoire en joignant les points de mesure successifs $M_1, M_2...$ par deux types de courbes : les sections de droites lorsque la mesure de l'inclinaison est restée inchangée entre les deux points de mesure, et des arcs de cercle lorsque la mesure de l'inclinaison a changé entre deux points, que ce soit en terme d'augmentation ou en terme de diminution.

Le plan P est défini par deux axes orthogonaux : un axe horizontal dirigé dans l'azimut du puits et un axe vertical dirigé vers le bas. Sur l'axe horizontal, on reporte pour chaque mesure de déviation, les valeurs des déports horizontaux cumulés DEP du puits, par rapport à un référentiel géographique qui peut être la position géographique de la tête de puits I. Ce n'est pas nécessairement la tête de puits qui sert de référence, mais ce peut être également le centre d'une plate-forme, ou tout autre point servant de référence commune à un groupe de puits. Pour les calculs directionnels, on travaille en général en référence locale et l'on fait coïncider l'origine de l'axe avec la tête de puits.

Sur l'axe vertical on reporte la profondeur verticale PV du puits par rapport à un référentiel topographique qui peut être la situation de la tête de puits. Pour les calculs directionnels, on travaille en référence locale, et l'on fait coïncider l'origine de cet axe avec un endroit accessible sur le plancher de l'appareil de forage par où passent toutes les tiges de forage qui constitueront la garniture de forage.

Ce système de coordonnées est en principe suffisant pour repérer la trajectoire point par point. Cependant, les variables DEP et PV ne peuvent pas être mesurées directement, mais on les obtient par des calculs qui nécessitent la connaissance d'un certain nombre de données (mesures de déviation) et de formuler un certain nombre d'hypothèses

(méthode de calcul et de reconstruction de la trajectoire) que l'on va rappeler ci-après.

Etant donné que la section en arc de cercle est celle qui fait intervenir le plus grand nombre de variables, c'est elle que l'on utilisera par la suite pour mettre en évidence les différents paramètres permettant de repérer la trajectoire dans l'espace. La figure 2 ci-jointe représente une portion du plan de projection P contenant une section en arc de cercle A limitée par un point d'entrée E et un point de sortie S.

Les variables DEP et PV sont calculées à partir des trois paramètres suivants : l'inclinaison i_1 mesurée au point d'entrée E, l'inclinaison i_2 mesurée au point de sortie S et la distance forée ΔLF entre le point d'entrée et le point de sortie. Un calcul géométrique simple, qui fait intervenir le rayon de courbure R de la section en arc de cercle permet de déterminer l'écart de déport horizontal ΔDEP et l'écart de profondeur verticale ΔPV entre les points E et S de la section en arc de cercle considérée. Ces écarts (relatifs) seront ajoutés ou soustraits suivant le cas, aux cumuls précédents afin de constituer les variables DEP et PV (absolues) en un point d'avancement donné du forage.

Les valeurs de ces deux paramètres sont données par les formules suivantes.

$$\Delta PV = 180/\pi \cdot \Delta LF / (i_2 - i_1) \cdot (\sin i_2 - \sin i_1) \quad (1)$$

$$\Delta DEP = 180/\pi \cdot \Delta LF / (i_2 - i_1) \cdot (\cos i_1 - \cos i_2) \quad (2)$$

où i_1 et i_2 sont exprimés en degrés.

L'hypothèse principale qui est faite dans le calcul de ces valeurs est que la section de courbe est assimilable à un arc de cercle et a donc un rayon de courbure constant, égal au rayon R de l'arc de cercle. La quantité $\Delta LF / (i_2 - i_1)$ qui apparaît dans les formules (1) et (2) est précisément égale au rayon R, lorsque $(i_2 - i_1)$ est exprimé en radians. Le facteur $180/\pi$ est un facteur de conversion qui permet d'exprimer $(i_2 - i_1)$ en degrés.

On notera que le rayon de courbure R est rarement utilisé par les foreurs. Ils lui préfèrent la notion de gradient de "build-up" (Gbu) qui est la variation de d'inclinaison sur une longueur forée donnée. Cette

variation est positive quand la valeur de l'inclinaison augmente sur la section, et négative quand elle décroît. Dans le cas présent où l'on a assimilé la section de courbe entre les deux points étudiés à un arc de cercle, le Gbu est bien entendu constant le long de cette section.

5

EXPLOITATION DES CALCULS DE DEVIATION

Il existe trois champs d'application distincts des calculs de déviation susmentionnés : la planification des puits, le suivi de la trajectoire et l'aide à la prise de décision par des calculs "à blanc" et des investigations autour d'hypothèses de pilotage liées à la trajectoire du puits.

10

La planification des puits consiste à construire la trajectoire théorique ou plan de déviation. Or dans ce domaine, les calculs ont augmenté en complexité essentiellement en raison de l'avènement des puits horizontaux. Les trajectoires sont en effet beaucoup plus complexes à planifier quand il s'agit de suivre des couches géologiques régies par les lois de la nature (cas des drains horizontaux) que quand il s'agit de les traverser localement, sur une plus ou moins grande longueur (cas des puits déviés classiques).

15

Le suivi de trajectoire sert essentiellement à repérer la trajectoire forée et à la comparer directement avec la courbe théorique. Les calculs sont faits, pour chaque point de mesure. Si dans le cas de puits déviés classiques le plan de déviation est scrupuleusement respecté, tout au moins dans son objectif final qui est de traverser la cible, il en va différemment de la plupart des puits horizontaux, car le drain est piloté pour suivre la géologie, de sorte que le plan de déviation devient rapidement obsolète et qu'une re-planification systématique doit avoir lieu lors de l'acquisition de chaque nouvelle mesure.

20

25

Les calculs "à blanc" et les scénarii de pilotage sont les domaines où la somme de calculs a le plus augmenté avec l'avènement des puits horizontaux. En raison de la re-planification du puits à chaque nouvelle mesure de déviation, il est nécessaire d'essayer un certain nombre d'hypothèses pour être en mesure de prendre les bonnes décisions qui concernent directement le pilotage du drain. De plus, l'amélioration générale des techniques de forage et notamment de la transmission des données de déviation en temps réel, a compliqué sérieusement la tâche de l'opérateur en réduisant les temps de réaction.

30

35

On notera que pour la planification et pour le suivi de la trajectoire, les calculs doivent être faits en absolu, c'est-à-dire que les distances sont cumulées pour pouvoir repérer la trajectoire dans l'espace, alors que les calculs "à blanc" répétitifs sont faits en relatif, car ce que l'opérateur recherche dans ce cas, ce sont les variations de l'un ou l'autre paramètre à partir d'une donnée de départ connue et sous l'influence d'une ou plusieurs variables.

ETAT ANTERIEUR DE LA TECHNIQUE

Les calculs précédents sont incontournables et sont nécessaires au suivi et à la réalisation des forages déviés. Dans les premiers temps du forage dévié, ces calculs étaient faits à la main ou avec l'aide d'une calculatrice. Aujourd'hui, ils sont effectués soit sur une calculatrice programmable, soit sur un ordinateur portable. Cependant, ces moyens modernes de calcul offrent un certain nombre de limitations :

- les règles de sécurité concernant les risques de déflagration sur le plancher de forage interdisent l'utilisation de l'ordinateur sur ce lieu. On doit donc tenir l'ordinateur à l'écart du plancher de forage qui, pourtant, est un centre de décision important puisque c'est là qu'arrivent en priorité les mesures de déviation et que seront mises en application les corrections de trajectoire ;

- les données d'un problème sont entrées dans l'ordinateur sous la forme d'une série de chiffres et en retour, la solution est elle aussi proposée par l'ordinateur sous la forme d'une série de chiffres. Pourtant le problème est géométrique, et ces séries de chiffres, obtenues sans effort particulier de réflexion, ne rendent pas compte suffisamment de la réalité physique. La fatigue aidant, l'opérateur peut aisément confondre les valeurs ou oublier un signe dont l'importance est capitale ;

- les calculs "à blanc" ont, pour certains d'entre eux, la particularité supplémentaire d'être réalisés en mode itératif, c'est-à-dire qu'ils ne conduisent à la solution du problème posé que par tâtonnements. Ces calculs répétitifs sont souvent fastidieux ;

- l'entrée des données sur le clavier à touches de l'ordinateur ou de la calculatrice programmable devient vite un gros handicap sur un chantier, car l'opérateur n'a pas toujours les mains propres et de plus il n'a pas forcément la concentration requise pour taper correctement et du premier coup, les données du problème sur de petites touches ;

- 5 - les ordinateurs sont des appareils sensibles et fragiles et ils sont soumis aux conditions difficiles qui règnent sur les chantiers, telles que poussière, sable, courant électrique d'alimentation plus ou moins stable et filtré. De plus, du fait qu'ils ne sont pas connectés en réseau, ils doivent utiliser une disquette locale pour transporter des données d'un ordinateur à un autre, ce qui n'est pas un moyen de communication sûr car la disquette peut transmettre un certain nombre de virus plus ou moins agressifs. En outre, dans un tel contexte, des pannes d'ordinateur ne sont pas à exclure ;
 - 10 - les logiciels utilisés pour le contrôle directionnel sont généralement de type "multi-windows" dans lesquels il faut fermer et ouvrir un certain nombre de fenêtres avant de commencer à rentrer les données d'un problème simple ; ces manipulations répétitives deviennent rapidement lassantes à la longue ;
 - 15 - même si la technique de l'ordinateur tend à se généraliser, elle ne fait toujours pas l'unanimité auprès de certains hommes de chantier.
- La présente invention vise à remédier aux inconvénients susmentionnés des ordinateurs et des calculatrices programmables et, à cet effet, elle propose de les remplacer par une règle de calcul capable
- 20 de déterminer les différents paramètres de forage lors des phases de suivi de la trajectoire et de prise de décision. La règle présente, bien entendu, les avantages généraux propres à toutes les règles de calcul, à savoir :
- 25 - elle peut être utilisée partout sur le chantier, sans restriction de zone ;
 - elle est opérationnelle immédiatement dès qu'on l'a sortie de son étui ;
 - elle ne requiert pas de connaissance particulière pour être utilisée et représente plus concrètement les grandeurs physiques
 - 30 manipulées par l'utilisateur ;
 - elle n'est sujette à aucun risque de panne,
- auxquels s'ajoutent d'autres avantages qui vont apparaître par la suite.

RESUME DE L'INVENTION

- 35 La présente invention concerne donc une règle à calcul de déviation de type circulaire pour le suivi d'une trajectoire de puits dévié à deux dimensions, cette règle étant caractérisée en ce qu'elle

comprend :

- 5 - un plateau support sur lequel est marqué un cadran circulaire fixe servant au repérage ou à l'indexation de l'angle d'inclinaison au point d'entrée d'une section de trajectoire et de l'angle d'inclinaison au point de sortie de ladite section, ledit cadran fixe comprenant deux échelles semi-circulaires graduées chacune de 0 à 180° dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, la première représentant le domaine d'augmentation de l'inclinaison, la deuxième représentant le domaine de la diminution de l'inclinaison,
- 10 - au moins deux disques rotatifs interchangeables, pour l'indexation de l'inclinaison d'entrée, pour le choix de la valeur du gradient de "build-up" et pour la lecture de la longueur forée sur l'intervalle considéré, lesdits disques ayant un diamètre légèrement inférieur à celui du cadran circulaire et étant disposés en pile sur le
- 15 plateau support, concentriquement au cadran de façon que seul le disque qui est placé en haut soit actif et que l'autre soit gardé en attente d'être utilisé, lesdits disques rotatifs présentant une pluralité de cercles concentriques qui correspondent chacun à un gradient d'inclinaison par longueur forée donnée (Gbu), de manière que l'ensemble des disques
- 20 couvre toutes les valeurs des gradients communément rencontrées dans la pratique, chaque disque étant divisé par une ligne diamétrale qui sert au repérage et à l'indexation, sur les échelles du cadran circulaire, de la valeur de l'inclinaison d'entrée de ladite section et qui délimite sur chacun desdits cercles concentriques, une première échelle semi-
- 25 circulaire graduée en longueurs forées dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et permettant de travailler dans le domaine de l'augmentation de l'inclinaison et une deuxième échelle semi-circulaire graduée de la même façon mais dans le sens des aiguilles d'une montre et permettant de travailler dans le domaine de la diminution de
- 30 l'inclinaison,
- 35 - au moins un disque bi-sectoriel rotatif pour l'indexation d'une inclinaison de sortie, pour le repérage de la valeur du gradient de "build-up" et pour la gestion des calculs de trajectoire liés aux sections rectilignes, ledit disque bi-sectoriel ayant la forme de deux secteurs circulaires diamétralement opposés par le sommet et de rayon inférieur à celui du cadran circulaire et étant disposé au-dessus des disques rotatifs, concentriquement à ces derniers, l'un des secteurs du disque

bi-sectoriel présentant sur l'un de ses bords radiaux une première échelle graduée servant à repérer les cercles de Gbu du disque rotatif supérieur actif et sur l'autre bord radial une seconde échelle servant à repérer les cercles de Gbu de l'autre disque rotatif stocké en attente d'utilisation, lesdites échelles se retrouvant symétriquement sur les bords radiaux de l'autre secteur, ledit disque bi-sectoriel présentant également une ligne diamétrale sur laquelle sont marquées de part et d'autre d'elle-même deux échelles graduées tête-bêche, en longueurs forées et servant à traiter les problèmes liés aux sections rectilignes, ledit disque bi-sectoriel ainsi que les disques rotatifs pouvant être tournés indépendamment l'un de l'autre, autour d'un élément de liaison, tel qu'un axe, qui les traverse en leur centre et qui traverse également le plateau support au centre du cadran circulaire,

- un premier système coulissant permettant la lecture directe des écarts de déports horizontaux, ledit système coulissant comprenant une coulisse rectiligne montée coulissante sur le plateau support, entièrement à l'extérieur du cadran circulaire, une règle fixe et une règle mobile toutes deux perpendiculaires à la coulisse et s'étendant du côté du cadran circulaire, la règle fixe étant fixée par une extrémité à la coulisse, tandis que la règle mobile a une extrémité qui est montée coulissante dans la coulisse, une échelle étant marquée sur la coulisse dans le sens longitudinal de celle-ci et dont le zéro coïncide avec le bord intérieur de la règle fixe,

- et un second système coulissant latéral permettant la lecture directe des écarts de profondeur verticale, ledit second système coulissant étant identique au premier système coulissant et se trouvant à l'extérieur du cadran circulaire et s'étendant perpendiculairement au premier système coulissant.

L'invention sera décrite à présent en détail en regard des dessins annexés dans lesquels :

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES.

la figure 1 représente un plan vertical de repérage d'un puits 2D ;
la figure 2 représente les différents paramètres de repérage d'une portion d'un puits 2D dans le plan vertical de la figure 1 ;
la figure 3 est une vue en perspective éclatée montrant les différents éléments constitutifs de la règle à calcul de déviation selon

l'invention ;

la figure 4 est une vue en plan de la règle à calcul de déviation à l'état assemblé ;

la figure 5 est une vue en coupe suivant la ligne V-V de la figure 4 ;

5 la figure 6 est une vue en coupe suivant la ligne VI-VI de la figure 4 ;

les figures 7 à 11 sont des vues partielles de la règle à calcul de déviation illustrant respectivement cinq exemples d'utilisation de la règle à calcul.

10

DESCRIPTION DETAILLEE D'UN MODE DE REALISATION PREFERE

La règle à calcul de déviation illustrée sur les figures 3 à 6 comprend un plateau support 10 pour le repérage des angles d'inclinaison aux points d'entrée et de sortie d'une section de trajectoire, une pluralité de disques rotatifs (par exemple deux disques 12, 12₁) pour l'indexation de l'inclinaison d'entrée, pour le choix de la valeur du gradient de "build-up" et pour la lecture de la longueur forcée sur l'intervalle considéré, un disque bi-sectoriel rotatif 14 pour l'indexation d'une inclinaison de sortie, pour le repérage de la valeur du gradient de "build-up" et pour la gestion des calculs de trajectoire liés aux sections rectilignes, un système coulissant horizontal 16 h pour la lecture ou la présélection des écarts de déports horizontaux et un système coulissant vertical 16 v pour la lecture ou la présélection des écarts de profondeur verticale. Chacun de ces éléments va être décrit à présent de façon détaillée.

25

Plateau support

Le plateau support est constitué par une plaque rigide légère, par exemple en bois, en aggloméré, en matière plastique, en résine ou en un métal léger, tel que l'aluminium. Le plateau peut avoir toute forme appropriée, mais on lui donnera de préférence une forme sensiblement carrée ou rectangulaire. Il présente en son centre un évidement circulaire 20 à fond plat, destiné à recevoir les disques tournants 12, 12₁ et par-dessus le disque bi-sectoriel 14. L'épaisseur du plateau et la profondeur de l'évidement seront prévues pour que l'on puisse loger ces trois éléments dans l'évidement et que la surface supérieure du disque bi-sectoriel vienne à l'affleurement de la surface supérieure du plateau. Des portions marginales restent libres sur le plateau pour

30

35

l'implantation des systèmes coulissants horizontal et vertical, comme on l'expliquera par la suite.

5 Pour la commodité de la description, le plateau sera supposé être orienté dans sa position d'utilisation représentée sur les figures 3 et 4 dans laquelle l'utilisateur se trouve du côté du bord 22 du plateau. Pour cette raison, on appellera ce bord côté avant, et les trois autres côtés seront appelés respectivement côté arrière 24, côté gauche 26 et côté droit 28.

10 Sur le pourtour de l'évidement circulaire 20 est marquée une première échelle semi-circulaire G_1 graduée de 0 à 180° dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, la graduation 0 se trouvant à l'extrémité gauche du diamètre horizontal de l'évidement et la graduation 180 étant à l'extrémité droite de ce diamètre. Cette échelle, qui se développe donc dans la partie inférieure du plateau ou la plus
15 proche de l'utilisateur, représente le domaine de l'augmentation de l'inclinaison ($i_1 < i_2$). Elle sert à repérer l'inclinaison du point d'entrée et du point de sortie d'une section courbe ou l'inclinaison d'une section rectiligne, comme on l'expliquera par la suite.

20 Sur le pourtour de l'évidement 20 est marquée une seconde échelle semi-circulaire G_2 graduée de 0 à 180° également dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, les graduations 0 et 180 se trouvant cette fois respectivement aux extrémités droite et gauche dudit diamètre. Cette seconde échelle, qui se développe dans la partie du plateau qui est le plus éloignée de l'utilisateur, représente le domaine de la diminution
25 de l'inclinaison ($i_1 > i_2$).

Systèmes coulissants

Les systèmes coulissants horizontal 16h et vertical 16v comportent les mêmes éléments constitutifs. Pour la commodité de la description, on désignera les éléments homologues de ces deux systèmes par les
30 mêmes références numériques affectées respectivement de l'indice h pour le système horizontal et de l'indice v pour le système vertical.

Le système coulissant horizontal 16h comprend une coulisse 32h qui est montée coulissante dans un rainurage 30h formé, pour des raisons d'ergonomie, dans la portion marginale du plateau se trouvant
35 le long du bord avant 22 du plateau et parallèlement audit bord. La coulisse comporte elle-même une rainure 34h dans laquelle est monté coulissant un patin 36h sur lequel est fixée l'extrémité d'une règle

mobile 38h perpendiculaire à la rainure 34h. La règle 38h s'appuie sur la surface supérieure du plateau et elle s'étend dans une direction parallèle aux côtés 26 et 28 du plateau et a la même longueur que ces côtés. A l'extrémité de gauche de la coulisse est fixée une règle fixe 40h
5 parallèle à la règle mobile et de même longueur que celle-ci et qui s'appuie également sur la surface supérieure du plateau. Les règles 38h et 40h ont une longueur sensiblement égale aux côtés 26, 28 du plateau de façon à balayer toute la surface de l'évidement 20 au cours de leur déplacement.

10 Sur la coulisse 32h est marquée une échelle graduée 42h dont le zéro est confondu avec le bord intérieur de la règle fixe 40h. Cette échelle permet de repérer la position de la règle mobile 38h sur la coulisse et de lire ainsi directement les valeurs de l'écart de déport horizontal ΔDEP , comme on l'expliquera par la suite. La règle mobile
15 38h peut être bloquée dans la position choisie au moyen d'un élément de serrage, tel qu'un boulon 43h ou analogue.

De façon similaire à ce qui a été décrit pour le système coulissant horizontal 16h, le système coulissant vertical 16v est monté, pour des raisons d'ergonomie, le long du côté droit 28 du plateau. Le rainurage vertical 30v s'étend depuis le bord arrière 24 du plateau jusqu'à une
20 courte distance du rainurage horizontal 30h, mais il peut aussi déboucher dans ce dernier. La coulisse verticale 32v est munie elle aussi d'une règle fixe 40v et d'une règle mobile 38v qui est fixée sur un patin 36v, lequel est monté coulissant le long d'une rainure 34v qui est
25 formée sur la coulisse verticale 32v. Les règles 38v et 40v sont parallèles aux côtés 22, 24 du plateau et ont sensiblement la même longueur que ces côtés de manière à balayer toute la surface de l'évidement au cours de leur déplacement. De préférence, la règle fixe 40v est fixée à l'extrémité de la coulisse qui est la plus proche de
30 l'utilisateur.

Sur la coulisse verticale 32v est marquée une échelle 42v dont le zéro coïncide avec le bord intérieur de la règle fixe 40v. Cette échelle permet de repérer la position de la règle mobile 38v sur la coulisse et de lire ainsi directement les valeurs de l'écart de la profondeur verticale
35 ΔPV , comme on l'expliquera par la suite. La règle mobile 38v peut être bloquée dans la position choisie au moyen d'un élément de serrage, tel qu'un boulon 43v ou analogue. On notera sur la figure 4 qu'il y a un

chevauchement fonctionnel entre les règles 38v, 40v et 38h, 40h.

Disques rotatifs

5 Les disques rotatifs 12, 12₁ sont marqués chacun d'une pluralité de cercles concentriques C₁ à C_n et C'₁ à C'_n correspondant chacun à un gradient d'inclinaison ou de "build-up" (Gbu) déterminé. Les disques sont au nombre de deux, afin de couvrir la plage totale des gradients de "build-up" communément rencontrés dans la pratique. Par exemple, les cercles de Gbu du premier disque rotatif 12 correspondent à des Gbus 10 qui croissent de 0,8°/30 m à 7°/30 m depuis la périphérie jusqu'au centre du disque, tandis que le second disque couvre une plage de Gbus qui croissent de 8°/30 m à 30°/30 m depuis la périphérie vers le centre du disque. Bien entendu, on peut ajouter d'autres disques pour couvrir les Gbus supérieurs à 30°/30m.

15 Comme le montrent les figures 5 et 6, les disques rotatifs 12, 12₁ ont un diamètre légèrement inférieur à celui de l'évidement 20 du plateau, de sorte qu'ils peuvent y être emboîtés sans que leur bord périphérique ne frotte contre le bord de l'évidement. Le disque rotatif qui se trouve au-dessus (ici le disque 12) est celui qui correspond à la 20 plage des Gbus dans laquelle on travaille, et l'autre disque (ici le disque 12₁) est stocké sous le disque 12 en attente d'être utilisé.

Sur chacun des disques 12, 12₁, les cercles de Gbu portent chacun deux échelles F₁ et F₂ pour la lecture de longueurs forées, celles-ci étant supposées être constituées par une portion d'arc du cercle prise sur 25 l'un de ces cercles. Ces échelles sont délimitées par une ligne diamétrale L qui sert au repérage et à l'indexation de la valeur d'entrée d'une section en arc de cercle. Cette ligne diamétrale définit sur chaque cercle C₁ à C_n ou C'₁ à C'_n un demi-cercle supérieur sur lequel les longueurs forées sont graduées dans le sens des aiguilles d'une montre de 0 30 jusqu'à un certain nombre, dépendant du rayon dudit demi-cercle, cette partie supérieure des cercles de Gbu permettant de travailler dans le domaine de la diminution de l'inclinaison ($i_1 > i_2$), et un demi-cercle inférieur sur lequel les longueurs forées sont graduées de 0 jusqu'à un certain nombre dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Cette 35 partie inférieure des cercles de Gbu permet de travailler dans le domaine de l'augmentation de l'inclinaison ($i_1 < i_2$).

Disque bi-sectoriel

Le disque bi-sectoriel 14 est constitué d'une plaque rigide qui peut être en matière transparente, mais pas exclusivement. Le disque bi-sectoriel comporte deux secteurs circulaires 14₁, 14₂ diamétralement opposés par le sommet et a sensiblement le même diamètre que les disques rotatifs 12, 12₁. Les disques rotatifs 12, 12₁ et le disque bi-sectoriel sont montés rotatifs dans l'évidement, indépendamment l'un de l'autre et ils peuvent être tournés autour d'un axe 50, par exemple une vis ou un boulon, qui les traverse en leur centre et qui traverse également le fond de l'évidement circulaire en son centre pour se visser dans un écrou 52.

Le secteur 14₁ du disque bi-sectoriel comporte deux bords radiaux qui sont gradués avec des échelles différentes E₁, E₂, lesquelles se retrouvent symétriquement sur le secteur 14₂ en E₄ et E₃ respectivement. Cette configuration à deux secteurs avec échelles symétriques permet à l'utilisateur de la règle de travailler de façon ergonomique alternativement dans le domaine de l'augmentation de l'inclinaison comme dans le domaine de la diminution de l'inclinaison en limitant l'ampleur de la rotation du disque bi-sectoriel. Les échelles identiques E₁ et E₄ servent à repérer les cercles de Gbu C'₁ à C'_n du disque rotatif 12₁ qui couvrent la plage des Gbus de 8°/30 m à 30°/30 m, tandis que les deux autres échelles identiques E₂ et E₃ servent à repérer les cercles C₁ à C_n de Gbu de l'autre disque rotatif 12 qui couvrent la plage des Gbus de 0,8°/30 m à 7°/30 m. Afin de bien repérer la graduation utile sur les secteurs, on dessinera les échelles E₁, E₄ d'une part, et E₂, E₃ d'autre part, avec deux couleurs différentes et l'on donnera aux gravures des deux disques rotatifs les mêmes couleurs respectives que les échelles E₁, E₄ et E₂, E₃.

Le disque bi-sectoriel présente en outre une ligne diamétrale L₁ passant par son centre de symétrie, et sur laquelle sont marquées de part et d'autre d'elle-même deux échelles graduées F₃, F₄ identiques, qui représentent des longueurs forées. L'échelle F₃ se développe de la valeur zéro qui se trouve à gauche de l'échelle jusqu'à une valeur X qui se trouve à droite de l'échelle et qui dépend du diamètre total du disque bi-sectoriel. L'échelle F₄ se développe dans le sens inverse, tête-bêche, de la valeur zéro se trouvant à droite de l'échelle jusqu'à ladite valeur X se trouvant à gauche de l'échelle. Cette disposition permet d'utiliser ces

échelles quelle que soit la position relative du disque bi-sectoriel, lorsque l'on veut traiter les problèmes liés aux sections rectilignes, en développant ces sections rectilignes, par convention, toujours de la gauche vers la droite.

5 Le disque bi-sectoriel présenté ci-dessus permet de repérer les Gbus sur les disques 12 et 12₁. Dans le cas où l'on aurait à traiter des Gbus supérieurs à 30°/30m, on utilisera, comme on l'a déjà précisé, un troisième disque rotatif présentant des cercles de Gbus qui couvrent ces valeurs supérieures à 30°/30m, et dans ce cas, on devra remplacer le
10 disque bi-sectoriel 14 par un second disque bi-sectoriel adapté audit troisième disque. Etant donné que le Gbu maximal rencontré dans la pratique excède rarement 90°/30m, un disque rotatif et un seul serait nécessaire et par conséquent, un disque mono-sectoriel serait amplement suffisant pour couvrir les valeurs de Gbus supérieures à
15 30°/30m.

On notera que toutes les échelles de la règle à calcul qui expriment des distances, c'est-à-dire les échelles F₁, F₂, F₃, F₄, 42h et 42v, sont compatibles et pratiques. Par compatible on entend que leurs divisions et sous-divisions sont les mêmes d'une échelle à une autre échelle, et
20 par pratique, on entend qu'elles sont lisibles et rappellent à l'utilisateur la lecture d'instruments de mesure communs rencontrés dans la vie courante, tels que règles, double décimètre, etc... A titre d'exemple, on peut imaginer que dans sa version la plus pratique, la règle à calcul de déviation adopte le millimètre comme sous-division la plus fine pour la
25 mesure des distances et longueurs ; dans ce cas, avec un disque de Gbu de 0,8°/30 m à 7°/30 m, 1 mm sur l'échelle des longueurs forées vaudrait par exemple 10 m en réalité (pour mémoire, une tige de forage a une longueur d'environ 9 m). Avec un disque de Gbu de 8°/30 m à 30°/30 m, 1 mm sur l'échelle des longueurs forées vaudrait par exemple
30 1m en réalité, ce qui est compatible avec la nécessité de travailler de manière de plus en plus précise, à mesure que la valeur de Gbu augmente.

Différents modes d'utilisation de la règle à calcul.

35 Quels que soient les modes d'utilisation de la règle à calcul de déviation, ils consistent à manipuler les six paramètres suivants qui ont été définis précédemment : l'inclinaison i_1 au point d'entrée de la section

courbe, l'inclinaison i_2 au point de sortie de la section courbe, l'écart de longueur forée ΔLF entre le point d'entrée et le point de sortie, l'écart de déport horizontal ΔDEP entre ces deux points, l'écart de profondeur verticale ΔPV entre ces deux points, et la variation d'inclinaison Gbu sur la longueur forée entre ces deux points, en degrés/30 m.

Chacune de ces valeurs peut prendre tour à tour l'un des rôles suivants : elle peut être soit une donnée de départ, connue pour être certaine, à l'instant où se pose le problème que l'on souhaite résoudre, soit une valeur cible, c'est-à-dire une contrainte que l'on s'impose, soit encore une valeur estimée qui n'est pas connue et qui ne peut pas être déterminée mais qui est seulement extrapolée à l'avance dans les calculs, soit enfin une valeur déduite ou inconnue qu'il faut trouver par le calcul.

On décrira à présent en regard des figures 7 à 11 plusieurs exemples pratiques d'utilisation de la règle à calcul de déviation, étant entendu qu'il ne s'agit là que de quelques exemples choisis parmi les très nombreuses utilisations de la règle. De la même manière que l'on a expliqué précédemment le fonctionnement de la règle à calcul dans le cas des sections en arc de cercle (sections courbes) parce que ces sections présentent le plus grand nombre de variables, on donnera également ci-après des exemples pratiques d'utilisation de la règle choisis dans le domaine des sections courbes de puits. Dans un souci de clarté et de simplicité, on a représenté le disque bi-sectoriel sur les figures 7 à 11 sans sa ligne diamétrale, puisque cette ligne n'intervient pas dans les exemples qui vont suivre. De même, on n'a choisi que des exemples d'utilisation relatifs au domaine de l'augmentation de l'inclinaison ($i_1 < i_2$). Toutefois, ces exemples sont réversibles, c'est-à-dire qu'ils peuvent être transposés dans le domaine de la diminution de l'inclinaison ($i_1 > i_2$). On notera également que tous les exemples qui vont suivre concernent, soit de fait, soit par principe, la plage des $Gbus$ allant de $8^\circ/30m$ à $30^\circ/30m$ et c'est pourquoi l'on utilise dans ces exemples le disque 12_1 .

1^{ère} utilisation (extrapolation de l'inclinaison à l'outil de forage)

Tous les calculs de déviation doivent commencer par ce premier calcul simple, à moins que la garniture de forage ne soit équipée d'un capteur de mesure de l'inclinaison au niveau de l'outil de forage. En

effet, le capteur qui mesure l'inclinaison du puits se trouve plus ou moins éloigné de l'outil de forage. Il est par conséquent important de bien connaître l'inclinaison au nez de l'outil de forage pour être capable de prendre les bonnes décisions en terme de pilotage.

5 Le problème à résoudre est posé dans le cas particulier de l'exemple numérique suivant : la dernière mesure de l'inclinaison a donné 20° . On suppose que la distance entre le capteur qui a donné cette mesure d'inclinaison et le nez de l'outil de forage est de 16 m et que le Gbu estimé sur cet intervalle est de $15^\circ/30$ m et on souhaite
10 connaître l'inclinaison de sortie i_2 .

On expliquera à présent en se reportant à la figure 7 comment on procède pour résoudre ce problème avec la règle à calcul :

On fait tourner le disque 12_1 des Gbus pour indexer au moyen de la ligne repère L la graduation $i_1 = 20^\circ$ du cadran angulaire inférieur G_1 ,
15 puisque le Gbu donné est positif, puis on repère le cercle C de Gbu qui correspond à la valeur estimée de 15° (pour $15^\circ/30m$), à l'aide de l'échelle graduée E_4 qui se trouve sur le bord du secteur 14_2 du disque bi-sectoriel. Ce cercle est celui qui est en face de la graduation 15 de l'échelle E_4 . On fait alors tourner le disque bi-sectoriel pour amener son
20 bord gradué E_4 en coïncidence avec la graduation 16 (pour 16m de longueur forée) du cercle C. A l'extrémité extérieure dudit bord gradué E_4 on lit alors sur l'échelle inférieure G_1 la graduation indexée, qui est de 28° . C'est la valeur recherchée de i_2 .

25 **2^{ème} utilisation (recherche du nombre de mètres restant à forer)**

On exposera le problème à résoudre dans le cadre de l'exemple numérique suivant : on suppose que l'inclinaison d'entrée $i_1 = 40^\circ$ et on souhaite atteindre une valeur cible de l'inclinaison de sortie $i_2 = 90^\circ$ en forant avec un Gbu estimé de $10^\circ/30m$ et l'on voudrait connaître la
30 longueur ΔLF à forer pour atteindre cette cible. On expliquera en regard de la figure 8 comment on procède avec la règle à calcul :

On fait tourner le disque 12_1 des Gbus pour indexer la graduation $i_1 = 40^\circ$, à l'aide de la ligne repère L dans le cadran angulaire inférieur, puis on repère le cercle C de Gbu au moyen de la graduation 10 (pour
35 $10^\circ/30m$) de l'échelle graduée E_4 du secteur 14_2 . On fait ensuite tourner le disque bi-sectoriel pour indexer la valeur $i_2 = 90^\circ$ sur l'échelle angulaire inférieure G_1 , à l'aide de l'échelle E_4 du secteur 14_2 et on lit

sur ledit cercle la graduation qui se trouve en face de l'extrémité extérieure de l'échelle E_4 . On trouve 150m, qui est la valeur recherchée de ΔLF .

5 **3^{ème} utilisation (passage à une inclinaison cible pour une valeur contrainte en profondeur verticale)**

Le problème à résoudre est le suivant : l'inclinaison d'entrée i_1 étant donnée, on souhaite passer de l'inclinaison d'entrée i_1 à l'inclinaison de sortie i_2 , considérée comme une valeur cible, dans un écart de cote verticale contraint, et l'on voudrait connaître la longueur
10 forée ΔLF et le Gbu. On expliquera en regard de la figure 9 comment on procède pour résoudre ce problème avec la règle à calcul :

On fait tourner le disque 12_1 des Gbus pour indexer la valeur connue i_1 de l'échelle angulaire inférieure à l'aide de la ligne repère L,
15 puis on fait tourner le disque bi-sectoriel pour amener l'échelle graduée E_4 du secteur 14_2 sur la valeur cible i_2 de l'échelle angulaire inférieure du disque 12_1 . On écarte ensuite la règle fixe 40v de la règle mobile 38v du système coulissant vertical 16v d'une distance repérée sur l'échelle 42v correspondant à la valeur donnée de ΔPV souhaitée et on bloque la
20 règle mobile dans cette position à l'aide de la vis 43v. Enfin, on fait glisser la coulisse 32v en bloc de bas en haut dans le rainurage 30v, jusqu'à trouver le cercle C de Gbu, dont le point d'entrée E qui est repéré par la ligne L est en correspondance avec la génératrice interne de la règle mobile 38v, et dont le point de sortie S qui est repéré par
25 l'échelle E_4 du secteur 14_2 se trouve en correspondance avec le bord interne de la règle fixe 40v.

Si l'on n'arrive pas à trouver un cercle de Gbu qui remplit cette condition avec le disque 12_1 qui est en place sur le plateau, il faudra lui substituer l'un des autres disques pour couvrir des valeurs de gradient
30 plus fortes ou moins fortes, selon le cas. Quand la valeur recherchée se trouve à cheval entre deux cercles gravés sur le disque, l'opérateur devra extrapoler la valeur de Gbu.

Une fois le cercle de Gbu trouvé, on lit en regard le Gbu sur l'échelle E_4 du secteur 14_2 et on lit le long dudit cercle, la valeur de ΔLF
35 qui est égale à la longueur de l'arc ES.

4^{ème} utilisation (passage à une inclinaison cible pour une valeur contrainte en déport horizontal)

On donne l'inclinaison d'entrée i_1 et on souhaite passer de l'inclinaison d'entrée i_1 , à l'inclinaison de sortie i_2 , considérée comme une valeur cible, dans un écart de déport horizontal contraint. On se propose de trouver la longueur forée ΔLF et le Gbu. La figure 10 illustre la façon de procéder avec la règle à calcul :

On fait tourner le disque 12₁ des Gbus pour indexer i_1 sur l'échelle angulaire inférieure, à l'aide de la ligne repère L, puis on fait tourner ensuite le disque bi-sectoriel pour indexer i_2 sur l'échelle angulaire inférieure, à l'aide de l'échelle E₄ du secteur 14₂. On écarte ensuite la règle mobile 38h de la règle mobile 40h du système coulissant horizontal d'une distance correspondant à la valeur souhaitée de ΔDEP et on bloque la règle mobile dans cette position à l'aide de la vis 43h. Ensuite, on fait glisser en bloc la coulisse 32h de gauche à droite dans le rainurage 30h du plateau 10, jusqu'à trouver le cercle C de Gbu, dont le point d'entrée E qui est repéré par la ligne L est en correspondance avec la génératrice interne de la règle fixe 40h et dont le point de sortie S qui est repéré par l'échelle E₄ du secteur 14₂ se trouve en correspondance avec la génératrice de la règle mobile 38h.

Si on n'arrive pas à trouver un cercle de Gbu avec le disque 12₁ qui est en place, il faut le remplacer par l'un des autres disques pour avoir des valeurs de gradients plus fortes ou moins fortes, selon le cas. Quand la valeur recherchée se trouve à cheval entre deux cercles gravés sur le disque rotatif, l'opérateur doit extrapoler la valeur de Gbu.

Une fois le cercle de Gbu trouvé, on lit en regard le Gbu sur l'échelle E₄ du secteur 14₂ et on lit le long dudit cercle la valeur de ΔLF qui est égale à la longueur de l'arc ES.

5^{ème} utilisation (évaluation du Gbu moyen sur une section courbe)

Beaucoup de phases d'augmentation d'inclinaison sont aujourd'hui réalisées à l'aide de moteurs de fond présentant un coude d'orientation dans le bas du moteur. Ces moteurs travaillent suivant deux modes distincts : le mode dit orienté et le mode dit rotary.

En mode orienté, la garniture de forage est arrêtée en rotation et le coude est pointé dans la direction où l'on souhaite diriger la garniture. Dans le domaine 2D, cela revient uniquement à orienter soit vers le

haut, soit vers le bas. C'est dans ce mode orienté que le moteur développe ses capacités à accroître ou à diminuer l'inclinaison, pour un angle donné du coude, en fonction d'un rendement lié aux caractéristiques des roches traversées.

5 En revanche, dans le mode rotary, la garniture est entraînée en rotation. Le moteur fore dans ces conditions un trou élargi, mais perd en théorie sa capacité à accroître ou à diminuer l'inclinaison et fore une section rectiligne à inclinaison constante, ce qu'il fait avec un rendement plus ou moins bon qui tient encore une fois aux
10 caractéristiques des roches traversées. Tout l'art du forage dirigé avec un moteur de fond consiste donc à alterner les périodes de rotation et d'arrêt en rotation de la garniture afin d'obtenir le Gbu souhaité. Un des moyens de contrôler cela, consiste à découvrir ce "Gbu moyen" au travers de résultats de mesures de déviation.

15 Dans cette utilisation, on donne l'inclinaison d'entrée i_1 , l'inclinaison de sortie i_2 et la longueur forée ΔLF et on se propose de trouver le Gbu moyen. La solution à ce problème est illustrée par la figure 11. On procède comme suit avec la règle à calcul :

20 On fait tourner le disque 12_1 des Gbus pour indexer la valeur connue i_1 sur l'échelle angulaire inférieure à l'aide de la ligne repère L, puis on fait tourner le disque bi-sectoriel pour indexer la valeur i_2 , sur l'échelle angulaire inférieure à l'aide de l'échelle E_4 du secteur 14_2 , on cherche ensuite le cercle C de Gbu qui développe la valeur donnée de ΔLF entre i_1 et i_2 . Le Gbu est lu sur l'échelle E_4 du secteur 14_2 .

25 Si l'on n'arrive pas à trouver un cercle de Gbu qui remplit cette condition avec le disque 12_1 qui est en place sur le plateau, il faudra lui substituer l'un des autres disques pour couvrir des valeurs de gradient plus fortes ou moins fortes, selon le cas. Si la valeur recherchée est à cheval entre deux cercles gravés sur le disque, l'opérateur devra
30 extrapoler la valeur de Gbu.

REVENDECATIONS

1. Règle à calcul de déviation de type circulaire pour le suivi d'une trajectoire de puits dévié à deux dimensions, caractérisée en ce qu'elle comprend :

- 5 - un plateau support (10) sur lequel est marqué un cadran circulaire fixe servant au repérage ou à l'indexation de l'angle d'inclinaison (i_1) au point d'entrée (E) d'une section de trajectoire et de l'angle d'inclinaison (i_2) au point de sortie (S) de ladite section, ledit cadran fixe comprenant deux échelles semi-circulaires (G_1 , G_2) graduées
- 10 chacune de 0 à 180° dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, la première (G_1) représentant le domaine d'augmentation de l'inclinaison ($i_1 < i_2$) et la deuxième (G_2) représentant le domaine de la diminution de l'inclinaison ($i_1 > i_2$),
- 15 - au moins deux disques rotatifs interchangeableables (12, 12₁) pour l'indexation de l'inclinaison d'entrée, pour le choix de la valeur du gradient de "build-up" et pour la lecture de la longueur forée sur l'intervalle considéré, lesdits disques ayant un diamètre légèrement inférieur à celui du cadran circulaire et étant disposés en pile sur le plateau support (10), concentriquement au cadran, de façon que seul le
- 20 disque qui est placé en haut soit actif et que l'autre soit gardé en attente d'être utilisé, lesdits disques rotatifs présentant une pluralité de cercles concentriques (C_1 à C_n ; C'_1 à C'_n) qui correspondent chacun à un gradient d'inclinaison par longueur forée donnée (G_{bu}), de manière que l'ensemble des disques couvre toutes les valeurs des gradients
- 25 communément rencontrées dans la pratique, chaque disque étant divisé par une ligne diamétrale (L) qui sert au repérage et à l'indexation sur les échelles du cadran circulaire, de la valeur de l'inclinaison d'entrée de ladite section et qui délimite sur chacun desdits cercles concentriques, une première échelle semi-circulaire (F_1) graduée en longueurs forées
- 30 dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et permettant de travailler dans le domaine de l'augmentation de l'inclinaison et une deuxième échelle semi-circulaire (F_2) graduée de la même façon mais dans le sens des aiguilles d'une montre et permettant de travailler dans le domaine de la diminution de l'inclinaison,
- 35 - au moins un disque bi-sectoriel rotatif (14) pour l'indexation d'une inclinaison de sortie, pour le repérage de la valeur du gradient de "build-up" et pour la gestion des calculs de trajectoire liés aux sections

rectilignes, ledit disque bi-sectoriel ayant la forme de deux secteurs circulaires (14₁, 14₂) diamétralement opposés par le sommet et de rayon inférieur à celui du cadran circulaire et étant disposé au-dessus des disques rotatifs, concentriquement à ces derniers, l'un (14₁) des
5 secteurs du disque bi-sectoriel présentant sur l'un de ses bords radiaux une première échelle graduée (E₁) servant à repérer les cercles de Gbu (C'₁ à C'_n) du disque rotatif (12₁) et sur l'autre bord radial une seconde échelle (E₂) servant à repérer les cercles de Gbu (C₁ à C_n) de l'autre
10 disque rotatif (12), lesdites échelles se retrouvant symétriquement (respectivement en E₄, E₃) sur les bords radiaux de l'autre secteur (14₂), ledit disque bi-sectoriel présentant également une ligne diamétrale (L₁) sur laquelle sont marquées de part et d'autre d'elle-même deux échelles (F₃, F₄) graduées, tête-bêche, en longueurs forées et servant à traiter les
15 problèmes liés aux sections rectilignes, ledit disque bi-sectoriel ainsi que les disques rotatifs pouvant être tournés indépendamment l'un de l'autre, autour d'un élément de liaison (50), tel qu'un axe, qui les traverse en leur centre et qui traverse également le plateau support au centre du cadran circulaire,

- un premier système coulissant (16h) permettant la lecture directe
20 des écarts de déports horizontaux, ledit système coulissant comprenant une coulisse rectiligne (32h) montée coulissante sur le plateau support, entièrement à l'extérieur du cadran circulaire, une règle fixe (40h) et une règle mobile (38h) toutes deux perpendiculaires à la coulisse et s'étendant du côté du cadran circulaire, la règle fixe étant fixée par une
25 extrémité à la coulisse, tandis que la règle mobile a une extrémité qui est montée coulissante dans la coulisse et une échelle (42h) marquée dans le sens longitudinal de la coulisse et dont le zéro coïncide avec le bord intérieur de la règle fixe,

- et un second système coulissant latéral (16v) permettant la
30 lecture directe des écarts de profondeur verticale, ledit second système coulissant étant identique au premier système coulissant et se trouvant à l'extérieur du cadran circulaire et s'étendant perpendiculairement au premier système.

2. Règle à calcul de déviation selon la revendication 1, caractérisée
35 en ce que le plateau support (10) est constitué par une plaque sensiblement carrée ou rectangulaire, au centre de laquelle est formé un évidement circulaire (20) à fond plat et de diamètre légèrement

supérieur à celui des disques rotatifs (12, 12₁) et du disque bi-sectoriel (14), en ce que les deux disques rotatifs sont disposés dans l'évidement et le disque bi-sectoriel est disposé au-dessus des disques rotatifs, en ce que la profondeur de l'évidement est telle que la surface supérieure du
5 disque bi-sectoriel est à l'affleurement de la surface supérieure du plateau, en ce que les deux échelles semi-circulaires (G1, G2) sont marquées sur le bord de l'évidement et en ce que des portions marginales sont laissées libres sur le plateau pour l'implantation des systèmes coulissants horizontal et vertical.

10 3. Règle à calcul de déviation selon la revendication 2, caractérisée en ce que la première échelle semi-circulaire (G1) se développe de préférence dans la partie inférieure du plateau qui se trouve la plus proche de l'utilisateur, la graduation 0 de cette échelle se trouvant à l'extrémité gauche du diamètre de l'évidement qui est horizontal pour
15 l'utilisateur et la graduation 180 étant à l'extrémité droite de ce diamètre et en ce que la seconde échelle semi-circulaire (G₂) se développe dans la partie du plateau la plus éloignée de l'utilisateur, les graduations 0 et 180 de cette seconde échelle se trouvant respectivement aux extrémités droite et gauche dudit diamètre.

20 4. Règle à calcul de déviation selon la revendication 1, caractérisée en ce que, de préférence, le rainurage (30h) du système coulissant horizontal (16h) est formé dans la portion marginale du plateau se trouvant le long du bord (22) le plus proche de l'utilisateur, en ce que la règle fixe (40h) est fixée à l'extrémité de la coulisse (32h) qui est située à
25 gauche par rapport à l'utilisateur, en ce que le rainurage (30v) du système coulissant vertical (16v) est formé dans la portion marginale du plateau se trouvant le long du bord (28) qui est à droite de l'utilisateur et en ce que la règle fixe (40v) est fixée à l'extrémité de la coulisse (32v) qui est la plus proche de l'utilisateur.

30 5. Règle à calcul de déviation selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comprend deux disques rotatifs (12, 12₁) interchangeables, sur lesquels sont gravés une pluralité de cercles de Gbus (C₁ à C_n ; C'₁ à C'_n) pour couvrir les valeurs de Gbu communément rencontrées dans la pratique.

35 6. Règle à calcul de déviation selon la revendication 5, caractérisée en ce que le premier disque rotatif (12) porte la gravure d'une pluralité de cercles de Gbus allant de 0,8°/30 m à 7°/30 m, tandis que le second

disque rotatif (12₁) porte la gravure d'une pluralité de cercles de Gbus allant de 8°/30m à 30°/30m.

5 7. Règle à calcul de déviation selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que dans le cas où l'on aurait à traiter des Gbus supérieurs à 30°/30m, on utilise un troisième disque rotatif présentant des cercles de Gbus qui couvrent ces valeurs supérieures à 30°/30m, et on remplace le disque bi-sectoriel (14) par un second disque bi-sectoriel ou par un disque mono-sectoriel.

10 8. Règle à calcul de déviation selon la revendication 1, caractérisée en ce que les secteurs (14₁, 14₂) du disque bi-sectoriel permettent de travailler à la fois dans le domaine d'augmentation de l'inclinaison et dans le domaine de diminution de l'inclinaison, avec deux systèmes d'échelles (E₁, E₄ et E₂, E₃) permettant la lecture des valeurs des Gbus sur les deux disques rotatifs (12, 12₁).

15 9. Règle à calcul de déviation selon la revendication 1, caractérisée en ce que les règles mobiles (38h, 38 v) des systèmes coulissants portent à une extrémité un patin (36h, 36v) monté coulissant dans des rainures (34h, 34v) formées sur les coulisses (32h, 32v) et peuvent être immobilisées dans une position respective choisie sur lesdites coulisses
20 au moyen d'un élément de serrage, tel qu'un boulon (43h, 43v).

10. Règle à calcul de déviation selon l'une des revendications 1 et 6, caractérisée en ce que toutes les échelles qui expriment des distances (F₁, F₂, F₃, F₄, 42h et 42v) sont identiques d'une échelle à l'autre et adoptent le millimètre comme sous-division la plus fine, un millimètre
25 étant alors équivalent par exemple à 10m avec le disque (12) des Gbus de 0,8°/30m à 7°/30m et à un mètre avec le disque (12₁) des Gbus de 8°/30m à 30°/30m.

1/5

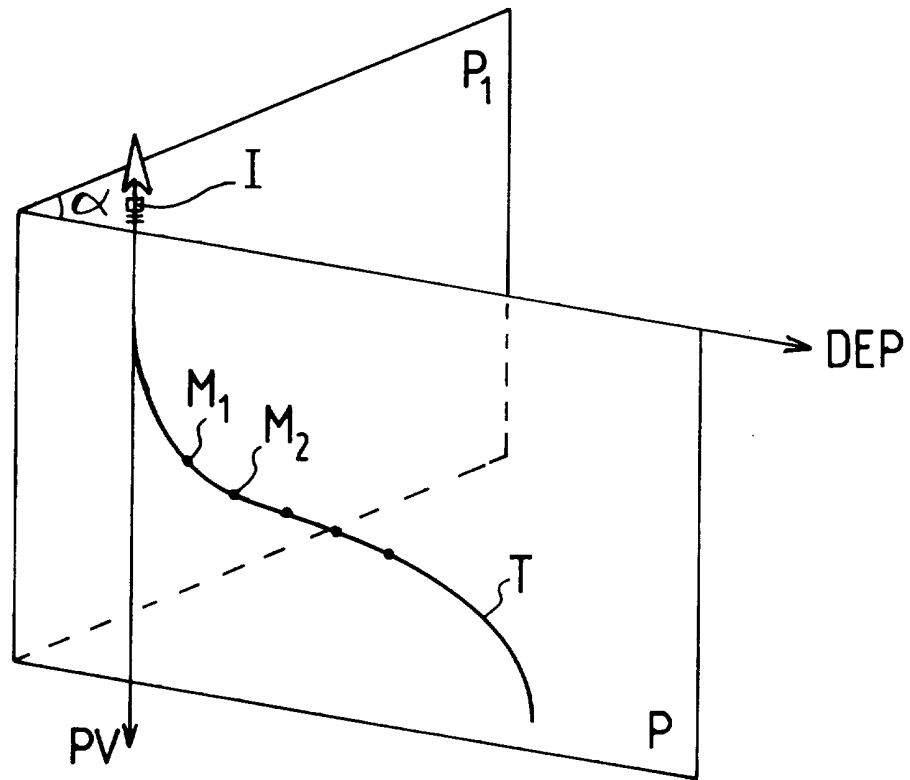


FIG. 1

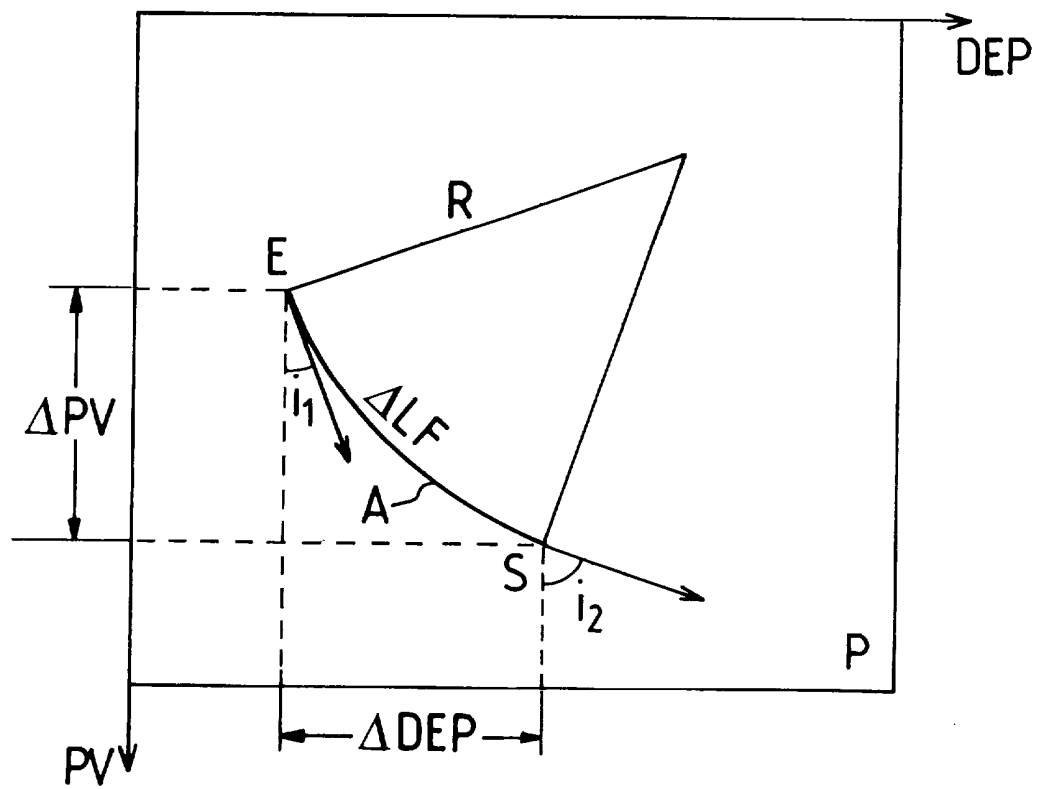
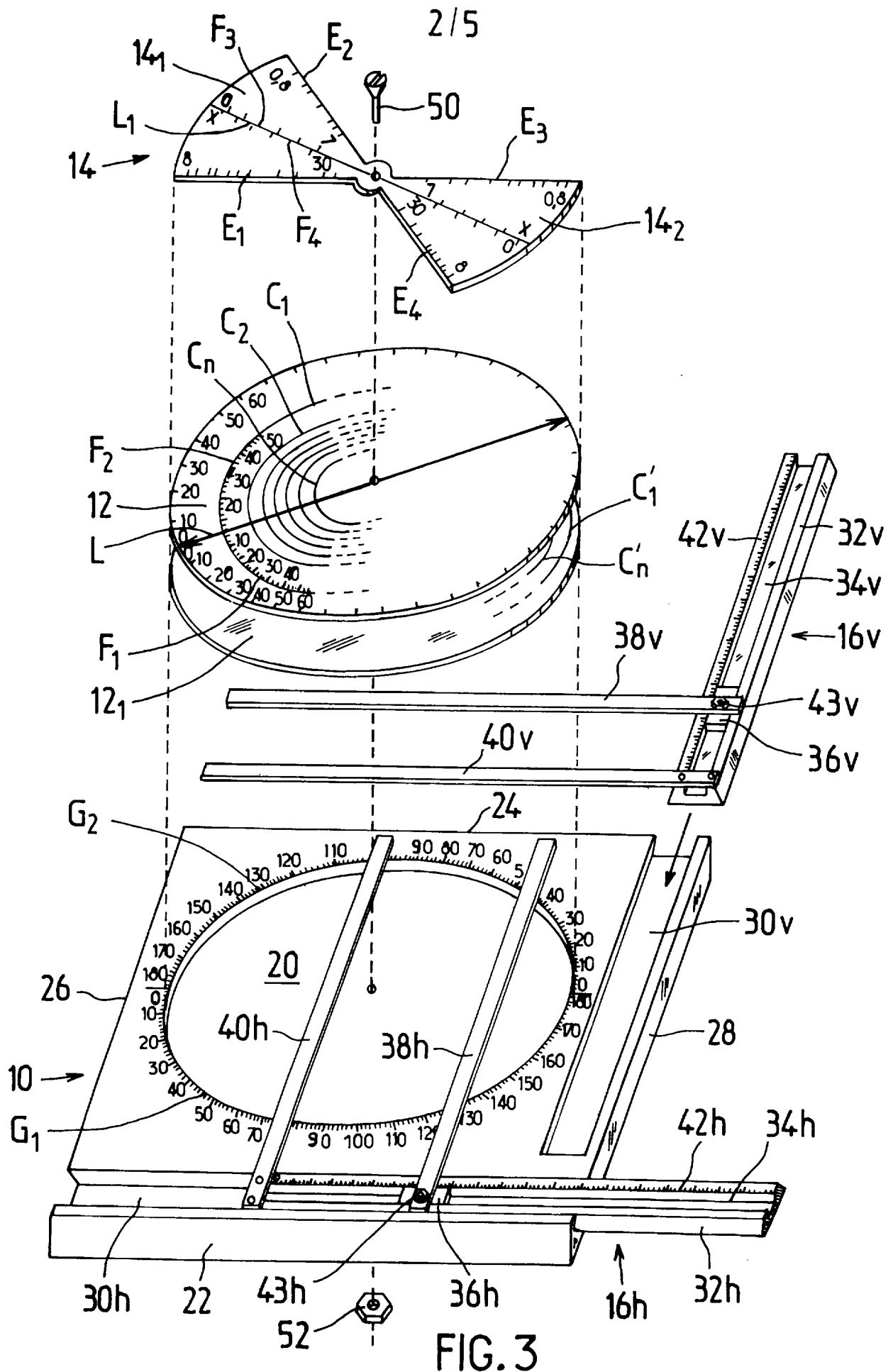


FIG. 2



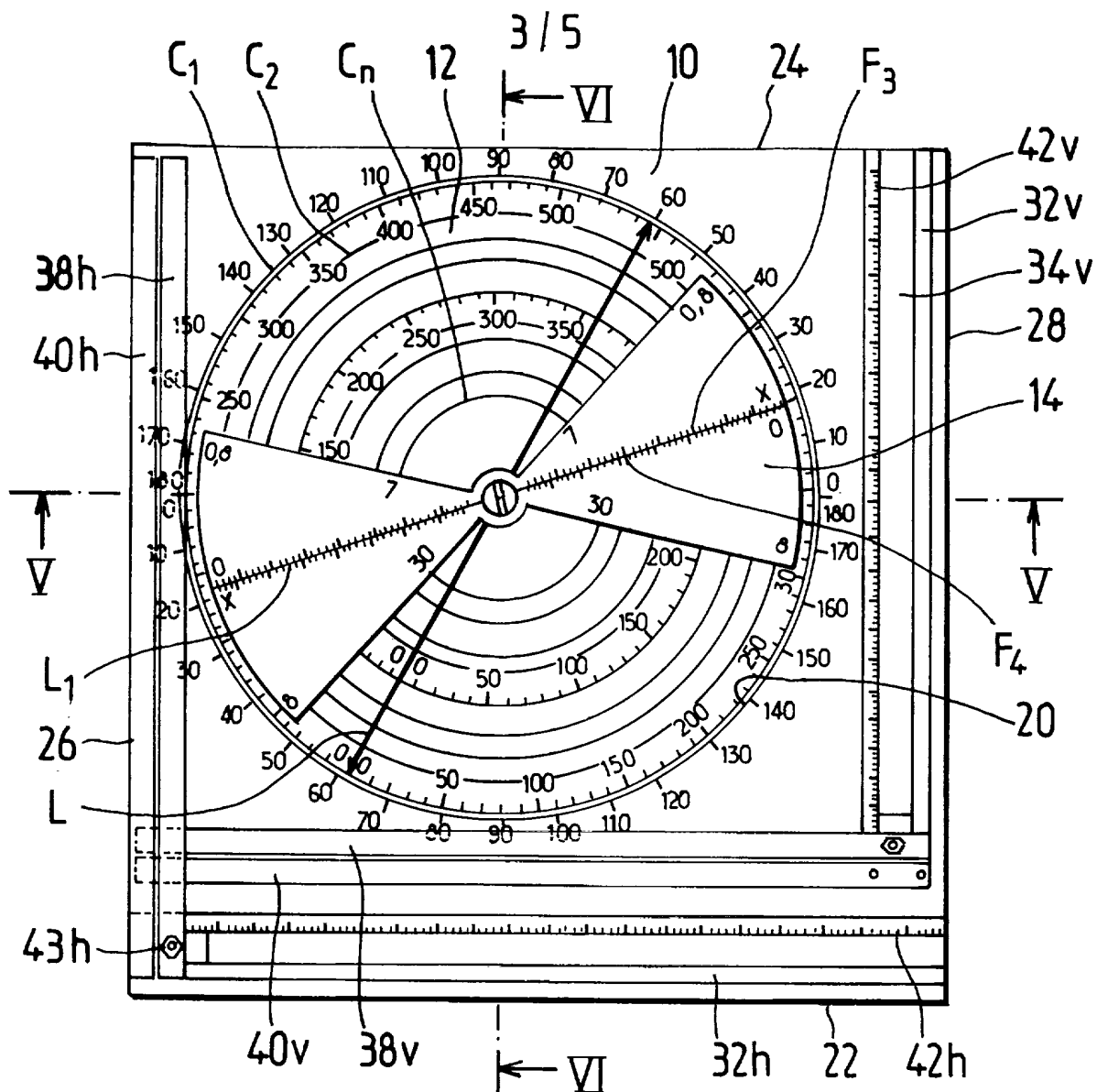


FIG. 4

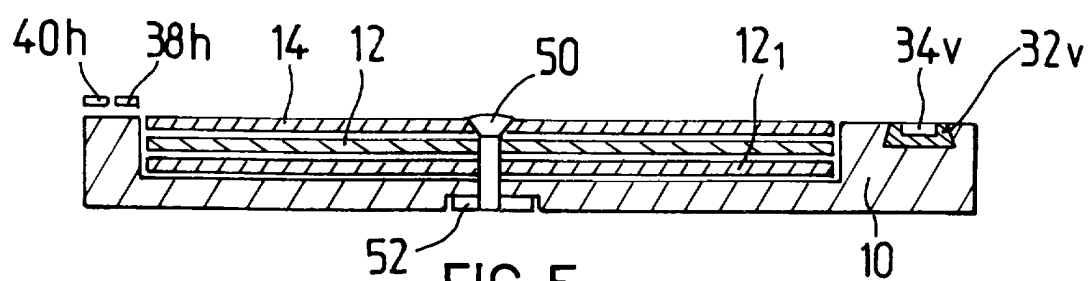
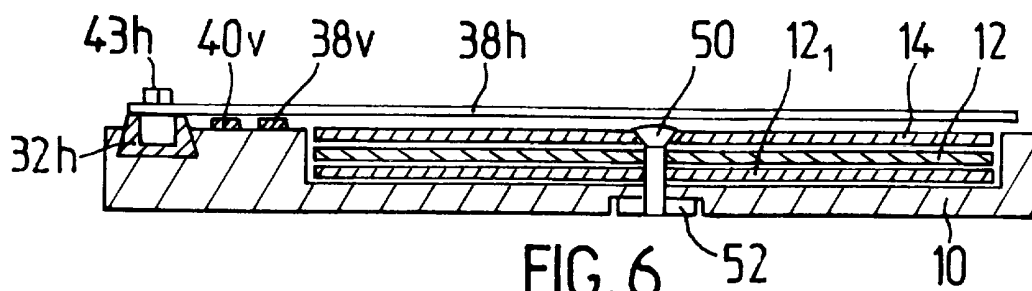


FIG. 5



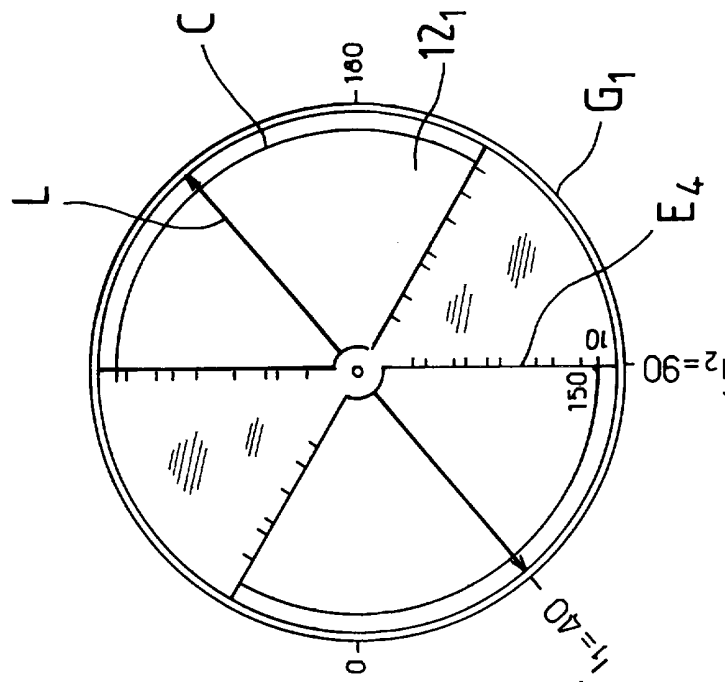


FIG. 8

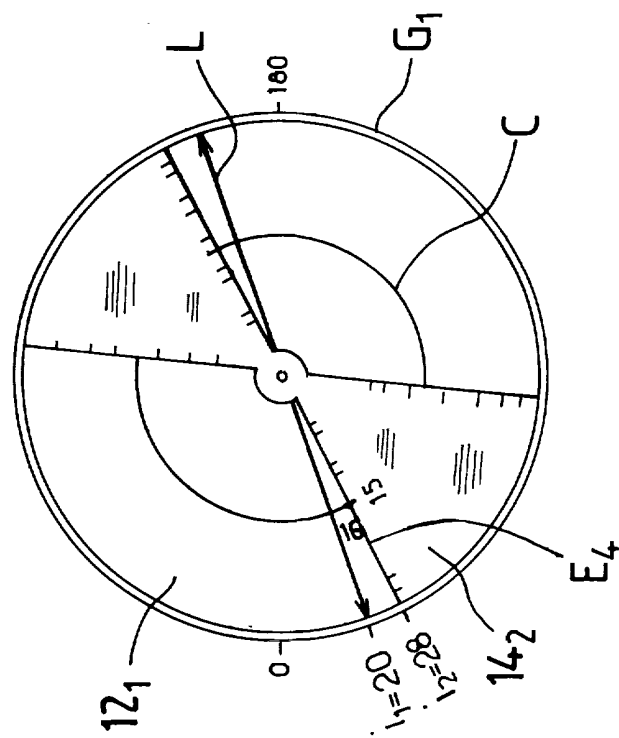
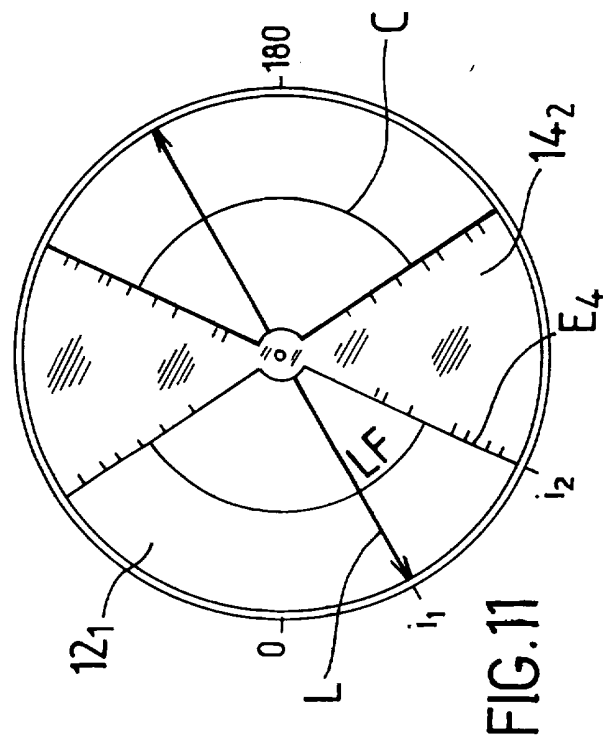
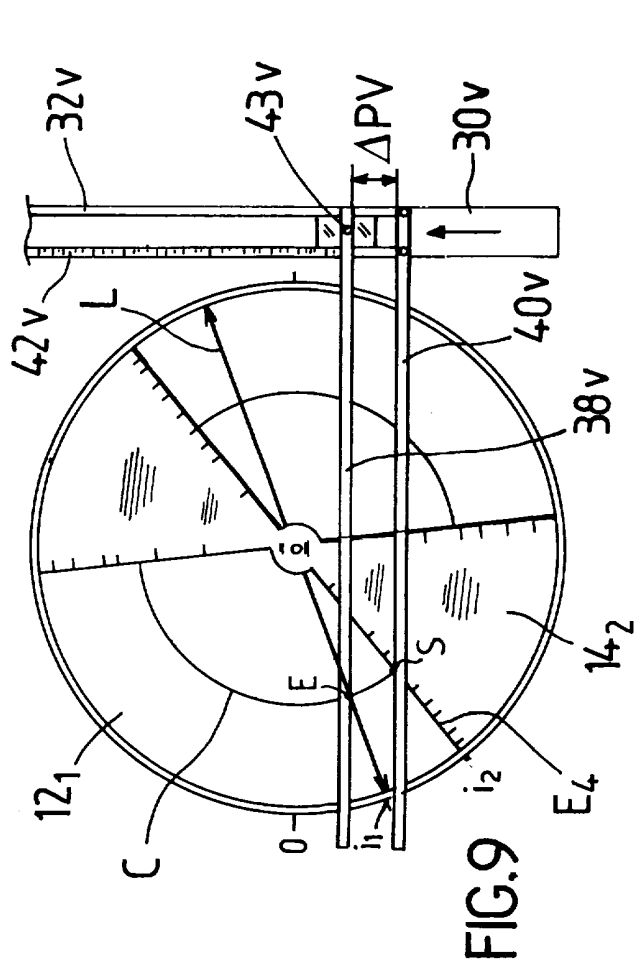
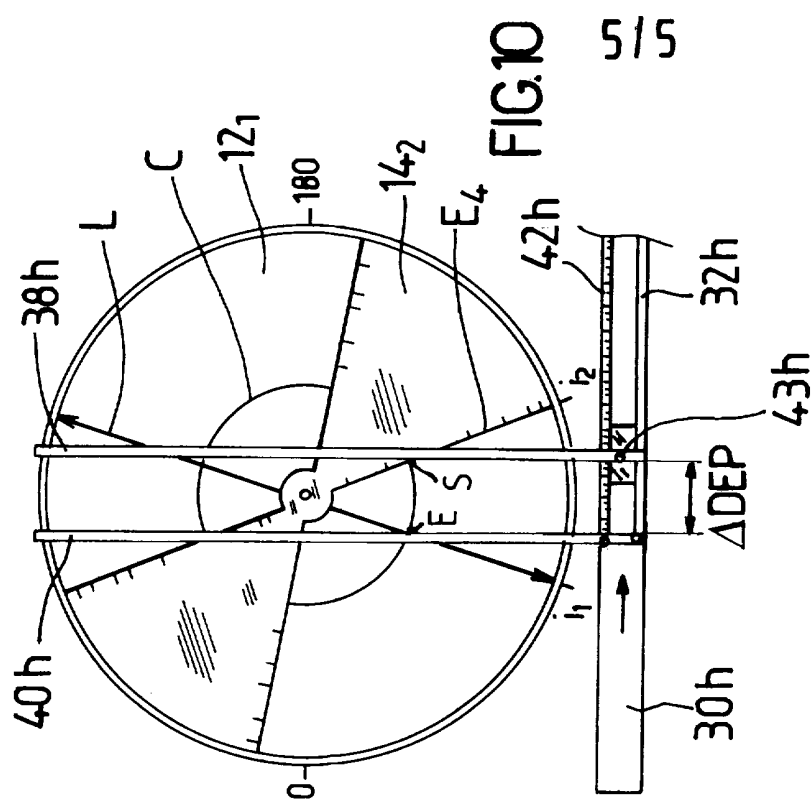


FIG. 7



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

2802680

N° d'enregistrement
national

FA 580815
FR 9915974

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 5 431 046 A (HO HWA-SHAN) 11 juillet 1995 (1995-07-11) * abrégé *	1	G06G1/04 G06G1/10 E21B47/02 E21B47/022 G01C9/00
A	EP 0 331 545 A (POIRIER ALAIN) 6 septembre 1989 (1989-09-06) * abrégé *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			G06G
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 juillet 2000		Ledrut, P	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	