

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 31.05.01.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 06.12.02 Bulletin 02/49.

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) : INNOVATION TECHNOLOGIE CON-
SEIL (I.T.C.) Société à responsabilité limitée — FR.

72 Inventeur(s) : GAECHTER JEAN PIERRE.

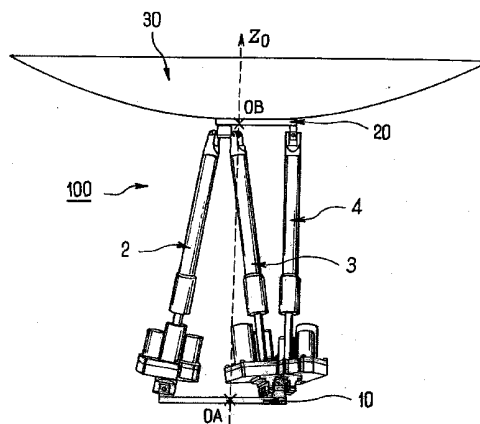
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

54 PROCEDE D'ORIENTATION D'UNE TOURELLE HEXAPODE.

57 L'invention concerne un procédé de déplacement du plateau mobile (20) d'un hexapode (100) dont les jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) sont munies d'un dispositif de réglage de longueur, à partir d'une orientation V_i définie par ses coordonnées azimut-élévation (α_i, β_i) vers une orientation V_{i+1} définie par ses coordonnées azimut-élévation $(\alpha_{i+1}, \beta_{i+1})$, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes selon lesquelles :

- on définit une loi définissant une distance de déport d en fonction de l'orientation du plateau (20),
- on détermine la distance de déport d correspondant à l'orientation V_{i+1} ,
- on commande les dispositifs de réglage pour modifier les longueurs L_1 à L_6 des jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) pour déplacer le plateau mobile (20) de l'orientation V_i à l'orientation V_{i+1} et le déporter par rapport à la perpendiculaire au socle fixe (10) de l'hexapode (100) passant par le centre OA de ce socle (10), dans le plan d'azimut de V_{i+1} , de la distance d .



PROCEDE D'ORIENTATION D'UNE TOURELLE HEXAPODE

L'invention concerne l'application de tourelles hexapodes aux pointages d'équipements tels que des antennes, des appareils optroniques
5 ou des télescopes, des dispositifs optiques de mesure ou de télécommunication ou tout dispositif dont la fonction nécessite une orientation dans l'espace.

Les tourelles hexapodes ou plates-formes de Stewart ou de Gough sont des dispositifs généralement utilisés comme supports d'antennes ou de
10 télescopes permettant un réglage de leur orientation. Le brevet EP 0 515 888 déposé le 12 mai 1992 au nom de ANT NACHRICHTENTECH décrit un exemple de dispositif de pointage comprenant une tourelle hexapode. Une tourelle hexapode comprend une plate-forme ou socle fixe, un plateau mobile sur lequel est fixé le dispositif à orienter et six jambes de longueur
15 réglables reliant le plateau mobile au socle. Les extrémités des jambes sont fixées par paires au moyen de liaisons de type cardan sur le plateau mobile et le socle de manière à ce que les jambes forment des triangles. Chaque jambe comprend deux tubes emboîtés pouvant coulisser l'un par rapport à l'autre. Ces tubes sont actionnés par des moteurs piézo-électriques
20 linéaires qui permettent de régler la longueur de la jambe. Un tel dispositif permet de déplacer le plateau mobile selon six degrés de liberté.

Dans le brevet EP 0 515 888, la tourelle hexapode décrite est fixée sur un satellite et son rôle consiste essentiellement à "sortir" l'équipement du volume du satellite pour obtenir une visée dégagée et accessoirement à
25 l'orienter mais avec un faible débattement.

Le but de l'invention est d'utiliser un dispositif hexapode pour orienter un équipement avec un grand débattement et une visée sur au moins 2π stéradians de façon à couvrir au moins le demi-espace au-dessus de l'horizon.

30 Le problème posé par l'utilisation d'une structure hexapode est qu'elle perd sa rigidité lorsque les angles entre deux jambes d'une même articulation et la normale au plan du socle fixe ou du plateau mobile

deviennent proches de 90° , ce phénomène est couramment appelé l'effet "genouillère".

Un autre but de l'invention est de pouvoir orienter l'équipement dans toutes les directions du demi-espace en conservant en permanence une
5 bonne rigidité.

A cet effet, l'invention propose un procédé de déplacement du plateau mobile d'un hexapode dont les jambes sont munies d'un dispositif de réglage de longueur, à partir d'une orientation V_i définie par ses coordonnées azimuth-élévation (α_i, β_i) vers une orientation V_{i+1} définie par
10 ses coordonnées azimuth-élévation $(\alpha_{i+1}, \beta_{i+1})$, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes selon lesquelles:

- on définit une loi définissant une distance de déport d en fonction de l'orientation du plateau,
- on détermine la distance de déport d correspondant à l'orientation V_{i+1} ,
- 15 - on commande les dispositifs de réglage pour modifier les longueurs L_1 à L_6 des jambes pour déplacer le plateau mobile de l'orientation V_i à l'orientation V_{i+1} et le déporter par rapport à la perpendiculaire au socle fixe de l'hexapode passant par le centre OA de ce socle, dans le plan d'azimut α_{i+1} de V_{i+1} , de la distance d .

20 Ce procédé permet avantageusement de positionner le plateau de l'hexapode avec un déport permettant d'éviter les points singuliers, c'est à dire les positions dans lesquelles la tourelle hexapode perd sa rigidité.

Très préférentiellement, on définit une loi de déport donnant une position unique du centre OB du plateau dans l'espace en fonction de son
25 orientation. Cette loi définit une surface géométrique dite « surface de déport » sur laquelle le centre OB du plateau évolue.

Selon des variantes de ce procédé :

- la loi de déport définit une surface géométrique continue,
- la surface de déport est un plan,
- 30 - la surface de déport est une portion de sphère.

Le déplacement du plateau mobile peut être réalisé en commandant une rotation du plateau mobile selon un axe perpendiculaire au plan contenant les vecteurs de visée V_i et V_{i+1} .

- La variation de longueur des jambes de l'hexapode peut
- 5 avantageusement être déterminée selon les étapes suivantes :
- on définit une position de référence de l'hexapode selon laquelle toutes les jambes sont réglées à la même longueur L_0 ,
 - on détermine la variation de longueur de chaque jambe pour que le plateau mobile de l'hexapode se déplace de la position de référence à la
 - 10 direction de visée V_{i+1} par une rotation virtuelle dans le plan d'azimut α_{i+1} , et par une translation virtuelle du centre OB du plateau vers une surface de déport définie par la loi de déport,
 - on en déduit une variation de longueur totale pour chaque jambe pour passer de la direction V_i à la direction V_{i+1} .

- 15 Ce procédé de commande de la variation de longueur des jambes permet d'éviter des configurations de la tourelle hexapode qui risqueraient de réduire sa rigidité et d'endommager les mécanismes des jambes par des collisions.

- Dans une mise en œuvre de l'invention, le mouvement global
- 20 d'orientation du plateau mobile est décomposé en une succession de déplacements unitaires d'azimut $\Delta\alpha$ et d'élévation $\Delta\beta$ du plateau mobile. Pour chaque déplacement unitaire, le procédé global de déplacement (détermination d'une rotation virtuelle suivi d'une translation virtuelle) est reproduit.

- 25 Cette décomposition en $\Delta\alpha$ et $\Delta\beta$ unitaires évite que le plateau ne passe par un point singulier lors de son mouvement de passage d'une position à l'autre. De cette manière, on s'assure qu'au cours du mouvement du plateau mobile, la tourelle hexapode se trouve toujours dans une configuration stable.

- 30 Le procédé peut avantageusement être complété par les étapes suivantes:

- on commande les dispositifs de réglages en fonction des longueurs L_i des jambes à obtenir et en ce que ce calcul prend en compte les angles relatifs entre les éléments constitutifs des liaisons reliant les jambes au plateau et au socle fixe,

- 5 - les angles formés par les axes des jambes et la normale au plan du socle fixe et les angles formés par les axes des jambes et la normale au plan du plateau mobile sont toujours inférieurs à un angle maximum défini entre 40 et 80 degrés.

L'invention propose en outre un dispositif de déplacement du
10 plateau mobile d'un hexapode, caractérisé en ce que chaque jambe de l'hexapode comprend un vérin comprenant un premier et un second ensemble pouvant coulisser l'un par rapport à l'autre, un actionneur dont l'axe de sortie entraîne en rotation une vis disposée parallèlement ou perpendiculairement à l'axe du moteur, ladite vis s'étendant dans la
15 longueur du premier ensemble et pouvant pivoter à l'intérieur d'un écrou monté solidaire du second ensemble, la rotation de la vis dans l'écrou entraînant la translation du second ensemble par rapport au premier ensemble.

Le dispositif peut être complété par les caractéristiques suivantes:

- 20 - le dispositif comprend des moyens de mesure de la position de l'axe du moteur,
- des liaisons sont disposées sur le socle fixe selon un premier cercle de rayon RA et des liaisons sont disposées sur le plateau mobile selon un deuxième cercle de rayon RB , le rapport RA/RB étant
25 sensiblement égal à 1,5,
- les liaisons sont disposées par paires sur le plateau mobile ou sur le socle fixe selon un cercle de rayon R , la distance entre deux liaisons d'une même paire étant sensiblement égale à $R/10$,
- l'élongation maximale d'une jambe est inférieure à 2,
- 30 - l'élongation maximale d'une jambe est supérieure à 1,7.

Ces différentes caractéristiques permettent en particulier d'obtenir des débattements importants.

D'autres caractéristiques et avantages ressortiront encore de la description qui suit, laquelle est purement illustrative et non limitative et doit être lue en regard des figures annexées parmi lesquelles:

- la figure 1 est un schéma cinématique d'une tourelle hexapode,
- 5 - la figure 2 est un schéma de la répartition sur le socle fixe des liaisons entre les jambes et le socle fixe,
- la figure 3 est un schéma de la répartition sur le plateau mobile des liaisons entre les jambes et le plateau mobile,
- la figure 4 représente un exemple de liaison entre le plateau
10 mobile et une paire de jambes,
- la figure 5 représente un exemple de liaison entre le socle fixe et une paire de jambes,
- les figures 6 à 8 représentent les différents éléments mécaniques utilisés dans les liaisons des figures 4 et 5,
- 15 - la figure 9 est une vue en coupe d'un dispositif de réglage de longueur d'un vérin,
- la figure 9bis est une vue en coupe du dispositif de réglage de la figure 9 selon la coupe A-A,
- les figures 10 et 11 sont des représentations graphiques des
20 angles de rotation des éléments constitutifs d'une liaison entre un vérin et le socle en fonction de l'orientation du plateau mobile,
- la figure 12 est une représentation graphique de l'angle de rotation relative entre les deux éléments constitutifs d'une jambe en fonction de l'orientation du plateau mobile,
- 25 - la figure 13 représente une tourelle hexapode sur lequel a été montée une antenne parabolique, dans sa position de référence,
- la figure 14 représente le système de repères azimuth-élévation utilisés pour définir l'orientation du plateau mobile dans l'espace,
- la figure 15 représente une tourelle hexapode sur laquelle a été
30 montée une antenne parabolique, la tourelle se trouve dans une position se rapprochant d'une configuration instable,
- les figures 16 et 17 représentent des exemples de lois de déport du plateau mobile en fonction de son élévation,

- la figure 18 illustre un principe de déplacement du plateau mobile de la tourelle,

- les figures 19 et 20 illustrent des trajectoires possibles de déplacement de la tourelle.

5 Sur la figure 1, la tourelle hexapode 100 comprend un socle 10 et un plateau mobile 20 reliés par six vérins identiques 1, 2, 3, 4, 5 et 6 constituant des jambes. Chaque vérin i relie un point A_i du socle fixe 10 à un point B_i du plateau mobile 20 et est réglé à une longueur L_i correspondant à la distance A_iB_i . Les liaisons entre vérins et socle 10 ainsi que les liaisons
10 entre vérins et plateau mobile 20 sont matérialisées par douze joints de type cardan (ou joint universel). Chacun de ces joints comprennent deux axes élémentaires de rotation qui se coupent aux points $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5$ et B_6 .

Comme représenté à la figure 2, les points A_i sont situés à une
15 distance RA du centre OA du socle fixe 10 et sont répartis en trois paires, les paires $(A_1, A_2), (A_3, A_4)$ et (A_5, A_6) étant placées à 120° les unes par rapport aux autres. De façon similaire sur la figure 3, les points B_i sont situés à une distance RB du centre OB du plateau mobile 20 et sont répartis en trois paires, les paires $(B_2, B_3), (B_4, B_5), (B_6, B_1)$ étant placées à 120° les
20 unes par rapport aux autres. Deux vérins issus d'une paire de points sur le socle 10 sont toujours reliés à des points de paires distinctes sur le plateau mobile 20. De cette manière, les vérins 1 à 6 convergent deux à deux alternativement vers le socle 10 ou vers le plateau mobile 20.

Sur la figure 4, on a représenté plus en détail une liaison au niveau
25 des points B_2 et B_3 entre la paire de vérins 2 et 3, et le plateau mobile 20. Une telle liaison comporte un support central 41 vissé sur le plateau 10 et portant symétriquement deux axes cylindriques 42 orientés selon la direction B_2B_3 . Des joints 43 pivotants sont montés sur les axes 42.

Chaque joint 43 comporte un alésage qui permet de l'emmancher
30 sur l'un des axes 42 du support central 41. Dans ce cas, une liaison pivot est réalisée par un contact direct entre un joint 43 et la surface d'un axe 42. On peut choisir de réaliser les éléments dans des matériaux permettant de limiter le frottement: par exemple on réalise les axes 42 en acier et les joints

43 en bronze. Pour limiter encore les frottements, cette liaison peut aussi être réalisée en intercalant des éléments de type palier lisse rapporté dans le joint 43 ou roulement à bille ou à aiguilles. Chaque joint 43 est arrêté en translation sur l'axe 42 par un circlips 44 monté dans une rainure de l'axe 42
5 ou par un écrou monté sur l'extrémité filetée de l'axe 42.

Les joints 43 comportent en outre deux axes 45 perpendiculaires à leur alésage. Les extrémités 46 des vérins 2 et 3 présentent une forme générale de chape, constituée de deux parties symétriques insérant le joint 43 et présentant des alésages dans lesquels sont emmanchés les axes 45
10 du joint 43. Les extrémités 46 en chape des vérins 2 et 3 présentent des chanfreins de manière à leur permettre un débattement maximum par rapport au joint 43 dans toutes les configurations d'orientation de celui-ci.

Sur la figure 5, on a représenté plus en détail une liaison au niveau des points A_1 et A_2 entre la paire de vérins 1 et 2, et le socle fixe 10. Cette
15 liaison est comparable à la liaison entre vérins et plateau mobile représentée à la figure 4. Elle comporte un support central 51 vissé sur le socle 10 et portant symétriquement deux axes cylindriques 52 concentriques orientés selon la direction A_1A_2 . Des joints pivotants 53 présentant un alésage et deux axes 55 perpendiculaires sont montés sur
20 les axes 52. Les extrémités 56 des vérins 1 et 2 présentent une forme générale de chape, constituée de deux parties symétriques insérant un joint 52 et présentant des alésages dans lesquels sont emmanchés les axes du joint 52.

Les parties extrêmes 56 des vérins 1 et 2 supportent un dispositif
25 57 permettant de commander les longueurs L_1 et L_2 des vérins 1 et 2.

Sur la figure 9, on a représenté le vérin 1 comprenant deux , ensembles L_A et L_B pouvant coulisser l'un par rapport à l'autre de manière à faire varier la longueur L_1 du vérin 1. Le dispositif 57 de réglage de longueur comprend un moteur pas à pas 61 dont l'axe de sortie 62 supporte une vis sans fin 63 permettant d'entraîner en rotation une roue dentée 64 disposée
30 perpendiculairement à l'axe 62. Cette roue dentée 64 entraîne une vis à bille 65 s'étendant dans la longueur de l'ensemble L_A . L'ensemble L_B comprend un écrou 66 monté solidaire dans lequel la vis à bille 65 pivote.

La rotation de la vis à bille 65 dans l'écrou 66 engendre la translation de l'écrou 66 le long de la vis 65.

Dans ce dispositif de réglage, la vis 65 a une vitesse de rotation proportionnelle à celle du moteur pas à pas 61. Pour déterminer le coefficient de proportionnalité entre ces vitesses, il suffit de connaître les caractéristiques géométriques des différentes pièces mécaniques (notamment les pas de la vis 65, de la roue 64 et de la vis sans fin 63). Théoriquement, en contrôlant la position angulaire de l'axe 62 de sortie du moteur 61, on obtient la longueur L_1 du vérin 1. Pour commander cette longueur, on peut par exemple utiliser un asservissement de position du moteur 61 en boucle ouverte, ou une mesure absolue de position de l'axe 62 par résolveur pour un asservissement en boucle fermée. Il est également possible d'utiliser des codeurs optiques, incrémentaux ou absolus, mono-tour ou multi-tours.

Néanmoins, l'allongement de vérin 1 n'est pas directement proportionnel à la grandeur angulaire mesurée par ce dispositif. En effet, au cours des variations de position du plateau mobile 20, il se produit une rotation relative des ensembles LA et LB. Cette rotation supplémentaire vient modifier la longueur L_1 du vérin 1 par l'intermédiaire de la liaison hélicoïdale, indépendamment de l'action du moteur 61. On prend donc en compte cet effet pour établir la consigne donnée au moteur. Les rotations relatives sont déterminées analytiquement d'après les positions des points B_1 à B_6 calculées. Les calculs intermédiaires permettent de déterminer les rotations des éléments des joints de cardan.

Les figures 6 à 8 représentent les axes de rotation des différents éléments constitutifs des liaisons cardan. L'axe RPJ est lié au support central 41 ou 51 et les axes RSJ aux joints 43 ou 53.

La figure 10 est une représentation graphique de l'angle de rotation du joint 43 au niveau du point A_1 autour de RPJ en fonction de l'azimut α pour une élévation β fixée du plateau mobile 20. De même, la figure 11 est une représentation graphique de l'angle de rotation du vérin 1 au niveau du point A_1 autour de RSJ en fonction de l'azimut α pour une élévation β fixée

du plateau mobile 20. Enfin, la figure 12 donne l'angle de rotation relative entre les deux éléments LA et LB du vérin 1 en fonction de l'azimut α pour une élévation β fixée du plateau mobile 20.

Sur la figure 13, la tourelle hexapode 100 supporte une antenne
 5 parabolique 30, elle est représentée en position de référence. Dans cette position, les vérins 1, 2, 3, 6, 5 et 6 sont tous réglés à la même longueur L_0 . Dans cette configuration le centre OB est situé à la verticale du centre OA sur l'axe vertical z_0 . La position de référence peut aussi être choisie comme une position virtuelle de la tourelle. Par exemple, la position de référence
 10 peut être définie comme une position pour laquelle les vérins prendraient une longueur L_0 supérieure à la longueur qu'ils peuvent mécaniquement atteindre.

Comme représenté à la figure 14, on définit un repère R_0 lié au socle 10, de centre OA et d'axes (x_0, y_0, z_0) . Dans ce repère R_0 , la position
 15 du plateau mobile 20 peut être entièrement déterminée par la position de son centre OB et une direction de visée V définie par un azimut α et une élévation β . On définit le repère R_{01} de centre OB et d'axes (x_{01}, y_{01}, z_{01}) comme l'image par la rotation du repère R_0 par rapport à l'axe z_0 et d'angle α . De la même manière, on définit le repère R_{02} de centre OB et d'axes $(x_{02},$
 20 $y_{02}, z_{02})$ comme l'image par la rotation du repère R_{01} par rapport à l'axe x_{01} et d'angle β . Le repère R_{02} est un repère fixe par rapport au plateau mobile 20. La direction x_{02} définit la direction de visée V dans le repère R_0 .

La structure hexapode permet en théorie de positionner le plateau mobile 20 dans l'espace selon six degrés de liberté. Cependant, certaines
 25 positions conduisent à des configurations instables de la structure hexapode. La figure 15 représente une tourelle hexapode 100 dans une configuration s'approchant de l'instabilité. Sur cette figure, le plateau mobile 20 est pratiquement aligné avec les vérins 1 et 2 (l'angle entre jambe et normale au plateau atteint la valeur limite de 80 degrés). La structure 100
 30 perd sa rigidité lorsque les angles entre ses éléments (angles entre axes des vérins 1 à 6 et la normale au plan du socle fixe 10 ou plateau mobile 20) deviennent proches de 90 degrés. Ce phénomène est particulièrement

préjudiciable lorsque la structure est placée à l'extérieur et susceptible d'être exposée à des conditions climatiques difficiles.

Etant donné que l'on utilise la tourelle hexapode 100 pour pointer des équipements vers des éléments situés à des grandes distances par rapport aux dimensions de la tourelle, on ne s'intéresse qu'à l'orientation de son plateau 20 et non pas à la position de celui-ci dans le repère R_0 .

La direction de pointage V fixe les deux paramètres d'orientation α et β . On définit une loi de déport d du plateau mobile 20 en fonction de la direction de visée V à pointer. Par exemple, on peut commander la variation des longueurs L_1 à L_6 des jambes 1 à 6 pour que le centre OB du plateau mobile 20 se déplace selon un plan perpendiculaire à l'axe z_0 , c'est à dire à une hauteur z constante par rapport au socle 10. Ce plan définit la « surface de déport » sur laquelle devra toujours se trouver le point OB . Pour une direction de visée V donnée, le point OB est déporté d'une certaine distance d dans la direction x_{01} par rapport à sa configuration de référence illustrée à la figure 13. La direction x_{01} de déport dépend donc de l'angle d'azimut α et la distance d de déport est fonction de l'élévation β du plateau.

Les figures 16 et 17 donnent des exemples de lois de déport en fonction de l'élévation β . Lorsque ces lois de positionnement du plateau mobile 20 sont respectées, la tourelle hexapode 100 se trouve dans des configurations dans lesquelles les angles entre les axes des vérins 1 à 6 et la normale au plan du socle fixe 10 ou plateau mobile 20 sont toujours inférieurs à 45 degrés par exemple (ce qui donne une marge de sécurité de 45 degrés). Ces lois permettent de positionner la tourelle 100 loin des points singuliers de faible rigidité.

Bien entendu, il existe de nombreuses façons de définir le déport d à appliquer:

- selon le type de surface de déport sur laquelle se déplace le point OB : on peut choisir une surface de déport autre qu'un plan, par exemple une portion de sphère ou d'ellipsoïde,
- selon la loi de positionnement sur cette surface: on peut par exemple fixer une loi de déport d en fonction de l'angle d'élévation β .

Il existe néanmoins des conditions à ces choix. D'une part, les longueurs L_i des vérins i pouvant être obtenues sont limitées. En effet, on doit prendre en compte les élongations minimale et maximale possibles. D'autre part, on doit respecter la marge de sécurité choisie concernant les angles entre les éléments. On peut choisir un angle maximum de 135 ou 150 degrés par exemple.

Sur la figure 18, on a représenté un déplacement du plateau mobile 20 de la tourelle 100. Pour déplacer le plateau mobile 20 de la tourelle hexapode 100 à partir d'une direction de visée $V_1 = (\alpha_1, \beta_1)$ vers une direction de visée $V_2 = (\alpha_2, \beta_2)$ proche de V_1 , on procède comme suit :

Dans une première étape, on considère le repère R_{02} orienté de manière à ce que $x_{02} = V_2$. Dans ce repère R_{02} , on considère un axe de rotation virtuel RH de direction y_{02} et passant par un point PRH fixe sur l'axe z_0 . On réalise une rotation virtuelle du plateau mobile 20 d'axe RH et d'angle $\beta_2 - 90^\circ$. Cette rotation permet de passer de la position de référence de la tourelle (plateau orienté au zénith) à la position correspondant à la direction de visée V_2 . Comme précédemment décrit, la position de référence peut être virtuelle.

Dans une deuxième étape, on détermine le déport du plateau mobile (20) selon la direction d'azimut α_2 grâce à la loi de déport et on en déduit la position des points A_1 à A_6 et B_1 à B_6 dans cette configuration. A cet effet, on réalise une translation virtuelle du plateau mobile 20 permettant de ramener le point OB sur la surface de déport. On en détermine les longueurs L_1 à L_6 des jambes 1 à 6 de l'hexapode 100 dans cette position du plateau 20. On en déduit l'allongement de chaque jambe 1 à 6 nécessaire pour passer de l'orientation V_1 à V_2 avec déport.

Pour déplacer le plateau 20 de V_1 à V_2 en un temps t déterminé (par exemple $t = 1$ seconde), chaque dispositif de réglage de longueur de jambe i doit commander un allongement des vérins de ΔL_i . On réalise une

interpolation de la longueur des jambes : par exemple on commande une vitesse d'allongement de chaque vérin i de $\frac{\Delta L_i}{t}$ (interpolation linéaire).

Lorsque le déplacement du plateau 20 devient trop important (par exemple le déplacement de V_1 à V_2 est supérieur à 1°), la tourelle 100
 5 risque de passer par un point singulier. Pour éviter ces points singuliers, le déplacement du plateau 20 de V_1 à V_2 peut être décomposé en une suite de déplacements unitaires d'azimut $\Delta\alpha$ et d'élévation $\Delta\beta$. Chaque déplacement unitaire permet de passer d'une direction de visée V_i à une direction de visée V_{i+1} proche de V_i . Pour chaque déplacement unitaire, on
 10 calcule les allongements des vérins grâce aux deux transformations virtuelles successives (une rotation virtuelle suivie d'une translation virtuelle) comme décrit précédemment. De cette manière, le plateau 20 est déplacé selon une suite de positions correspondant à des directions de visées $V_1, \dots, V_i, V_{i+1}, \dots, V_2$ présentant un écart de $\Delta\alpha$ et $\Delta\beta$. Les valeurs de $\Delta\alpha$ et
 15 $\Delta\beta$ sont choisies suffisamment petites pour que le plateau 20 ne passe jamais par des points singuliers ou des configurations impossibles à réaliser physiquement. En effet, plus $\Delta\alpha$ et $\Delta\beta$ seront petits, moins les positions successives OB du plateau 20 ne pourront s'approcher d'un point singulier.

Sur les figures 19 et 20, on a illustré les positions successives de la
 20 direction de visée V_i . Ces positions sont par exemple choisies avec des écarts successifs de 1° . La trajectoire unitaire du vecteur orientation V_i entre deux positions successives correspond à une rotation d'axe perpendiculaire au plan contenant les deux orientations successives. Les positions successives de V_i peuvent suivre une trajectoire globale directe
 25 correspondant à une rotation d'axe perpendiculaire à V_1 et V_2 ainsi qu'illustré sur la figure 19 ou une trajectoire globale quelconque ainsi qu'illustré sur la figure 20.

Bien entendu, il existe une infinité de manières de caractériser la direction de visée V suivant les systèmes de repérage et les conventions
 30 utilisées. Le procédé de l'invention ne se limite pas à une caractérisation de la visée par son azimut et son élévation. En outre, bien qu'on utilise ce

systeme de coordonnees pour definir la direction de visée V , on ne reproduit pas nécessairement les rotations azimut et élévation mécaniquement. On peut commander des rotations et des translations différentes conduisant à la direction de visée définie en azimut et en

5 élévation.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de déplacement du plateau mobile (20) d'un hexapode (100) dont les jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) sont munies d'un dispositif de réglage de longueur, à partir d'une orientation V_i définie par ses coordonnées azimuth-élévation (α_i, β_i) vers une orientation V_{i+1} définie par ses coordonnées azimuth-élévation $(\alpha_{i+1}, \beta_{i+1})$, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes selon lesquelles:
 - on définit une loi définissant une distance de déport d en fonction de l'orientation du plateau (20),
 - on détermine la distance de déport d correspondant à l'orientation V_{i+1} ,
 - on commande les dispositifs de réglage pour modifier les longueurs L_1 à L_6 des jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) pour déplacer le plateau mobile (20) de l'orientation V_i à l'orientation V_{i+1} et le déporter par rapport à la perpendiculaire au socle fixe (10) de l'hexapode (100) passant par le centre OA de ce socle (10), dans le plan d'azimut de V_{i+1} , de la distance d .
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on définit une loi de déport donnant une position unique du centre OB du plateau dans l'espace en fonction de son orientation.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la loi de déport définit une surface géométrique continue.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la surface de déport est un plan,
5. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la surface de déport est une portion de sphère.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on déplace le plateau mobile (20) en commandant une rotation du plateau mobile (20) selon un axe perpendiculaire au plan contenant les vecteurs de visée V_i et V_{i+1} .
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la variation de longueur des jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) de l'hexapode (100) est déterminée selon les étapes suivantes :

- on définit une position de référence de l'hexapode (100) selon laquelle toutes les jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) sont réglées à la même longueur L_0 ,
- on détermine la variation de longueur de chaque jambe (1, 2, 3, 4, 5, 6) pour que le plateau mobile (20) de l'hexapode (100) se déplace de la position de référence à la direction de visée V_{i+1} par une rotation virtuelle dans le plan d'azimut α_{i+1} , et par une translation virtuelle du centre OB du plateau (20) vers une surface de déport définie par la loi de déport,
- on en déduit une variation de longueur totale pour chaque jambe (1, 2, 3, 4, 5, 6) pour passer de la direction V_i à la direction V_{i+1} .

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le mouvement global d'orientation du plateau mobile (20) est décomposé en une succession de déplacements unitaires d'azimut $\Delta\alpha$ et d'élévation $\Delta\beta$ du plateau mobile (20).

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on commande les dispositifs de réglage en fonction des longueurs L_i des jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) à obtenir et en ce que ce calcul prend en compte les angles relatifs entre les éléments constitutifs des liaisons reliant les jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) au plateau (20) et au socle (10).

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'on détermine les angles relatifs entre les éléments constitutifs des liaisons reliant les jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) au plateau (20) et au socle (10) à partir des positions des points de liaison entre les jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) et le plateau (20) calculées, et on en déduit les rotations relatives entre les ensembles coulissants des vérins.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que chaque jambe (1, 2, 3, 4, 5, 6) de l'hexapode (100) comprenant un vérin constitué de deux ensembles coulissants l'un par rapport à l'autre et un actionneur (61) dont l'axe de sortie (62) entraîne en rotation une vis (65) constitutive d'une liaison hélicoïdale entre les ensembles coulissants, on déduit un allongement supplémentaire de chaque vérin dû aux rotations relatives entre ses ensembles coulissants (L_A , L_B) en fonction des caractéristiques géométriques de la liaison hélicoïdale, et en ce qu'on prend

en compte cet allongement supplémentaire pour établir une consigne pour commander l'actionneur (61).

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les angles formés par les axes des jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) et la normale au plan du socle fixe (10) et les angles formés par les axes des jambes (1, 2, 3, 4, 5, 6) et la normale au plan du plateau mobile (20) sont toujours inférieurs à un angle maximum défini entre 40 et 80 degrés.

13. Dispositif de déplacement du plateau mobile (20) d'un hexapode (100), caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de commande pour la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications précédentes.

14. Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce que chaque jambe (1, 2, 3, 4, 5, 6) de l'hexapode (100) comprend un vérin comprenant un premier et un second ensemble (L_A , L_B) pouvant coulisser l'un par rapport à l'autre, un actionneur (61) dont l'axe de sortie (62) entraîne en rotation une vis (65) disposée perpendiculairement à l'axe (62) du moteur (61), ladite vis (65) s'étendant dans la longueur du premier ensemble (L_A) et pouvant pivoter à l'intérieur d'un écrou (66) monté solidaire du second ensemble (L_B), la rotation de la vis (65) dans l'écrou (66) entraînant la translation du second ensemble (L_B) par rapport au premier ensemble (L_A).

15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que les moyens de commandes sont aptes à déterminer un allongement supplémentaire de chaque vérin dû aux rotations relatives entre ses ensembles coulissants (L_A , L_B) en fonction des caractéristiques géométriques de la liaison hélicoïdale, et à prendre en compte cet allongement supplémentaire pour établir une consigne pour commander l'actionneur (61).

16. Dispositif selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de mesure de la position de l'axe (62) de l'actionneur (61).

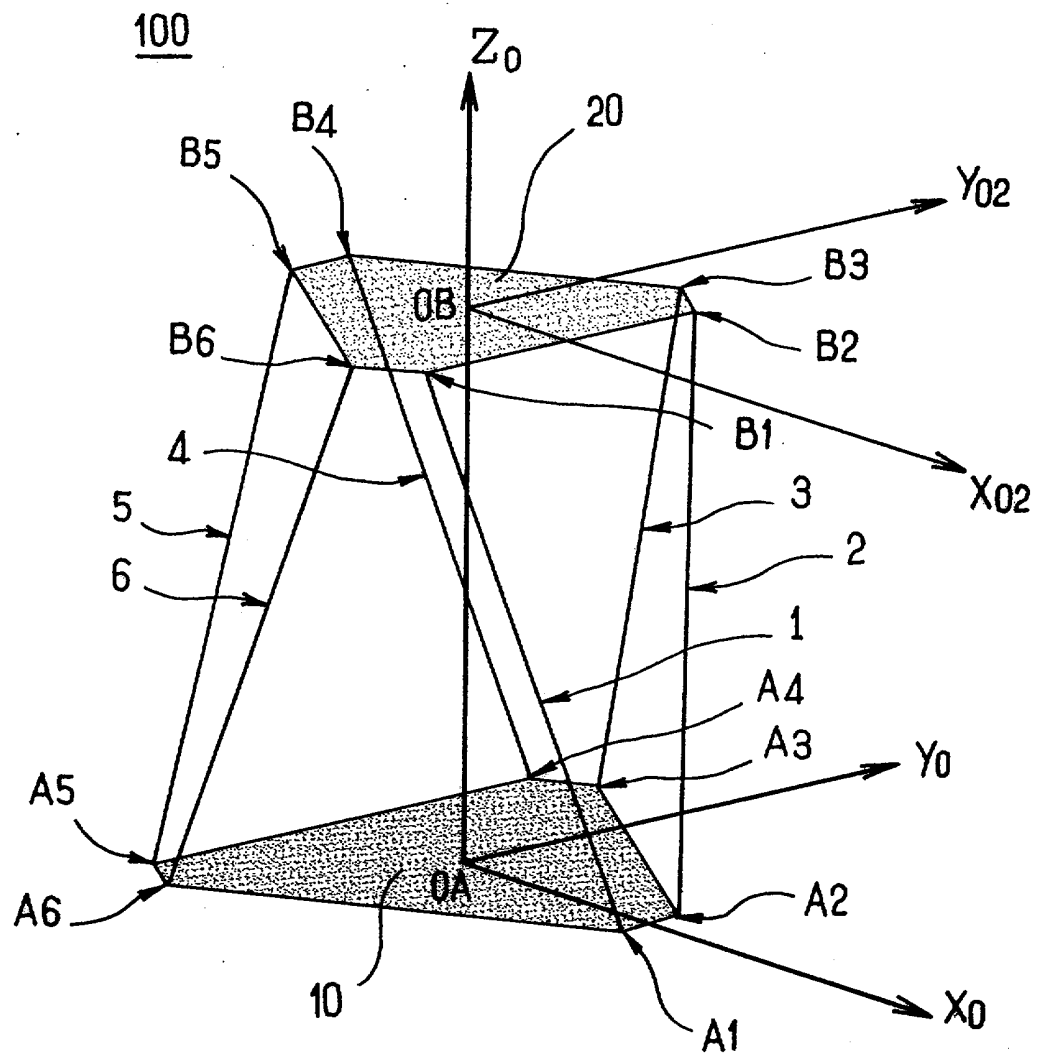
17. Dispositif selon l'une des revendications 13 à 16, caractérisé en ce que des liaisons sont disposées sur le socle fixe (10) selon un premier cercle

de rayon RA et des liaisons sont disposées sur le plateau mobile (20) selon un deuxième cercle de rayon RB, le rapport RA/RB étant sensiblement égal à 1,5.

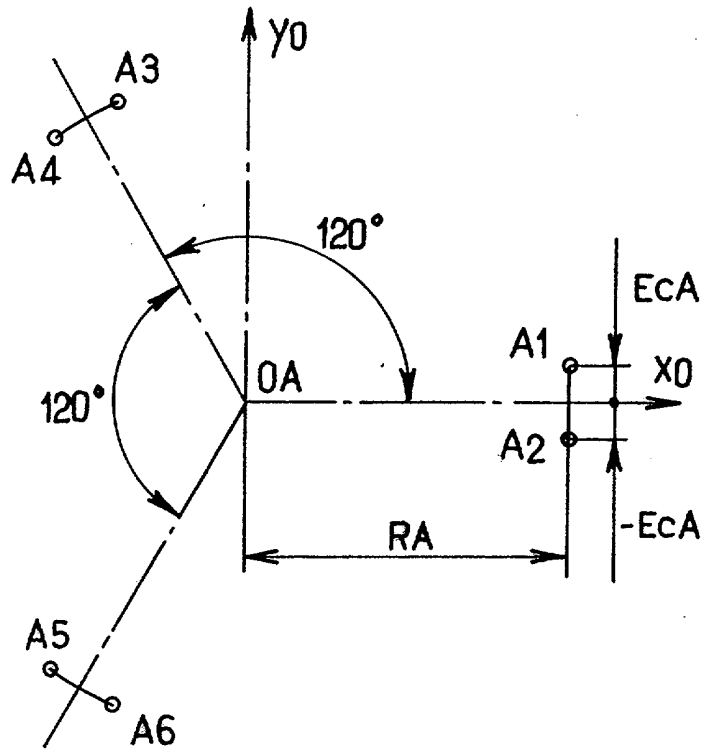
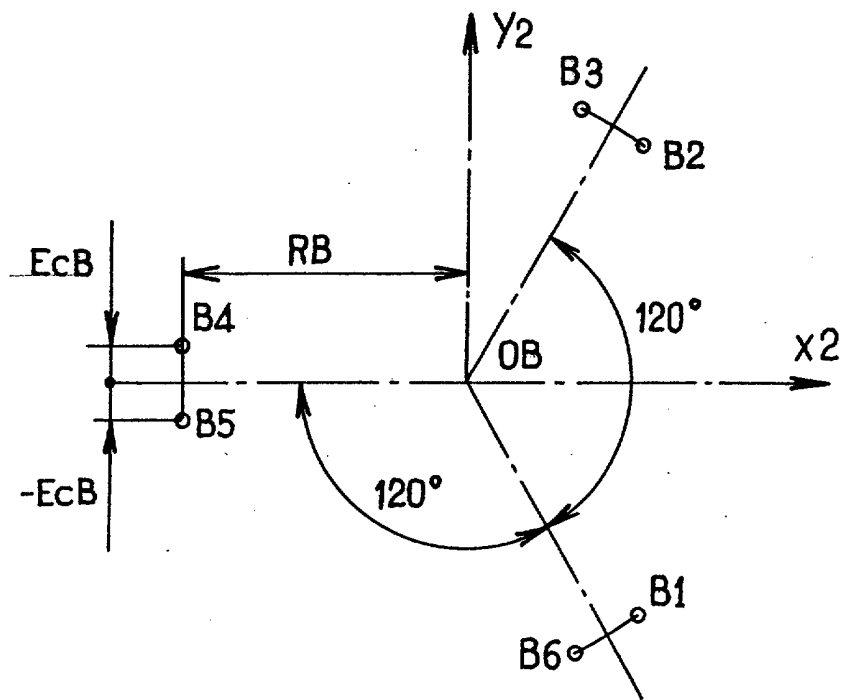
18. Dispositif de déplacement du plateau mobile (20) d'un hexapode
- 5 (100) selon l'une des revendications 13 à 17, caractérisé en ce que les liaisons sont disposées par paires sur le plateau mobile (20) ou sur le socle (10) fixe selon un cercle de rayon R, la distance entre deux liaisons d'une même paire étant sensiblement égale à R/10.

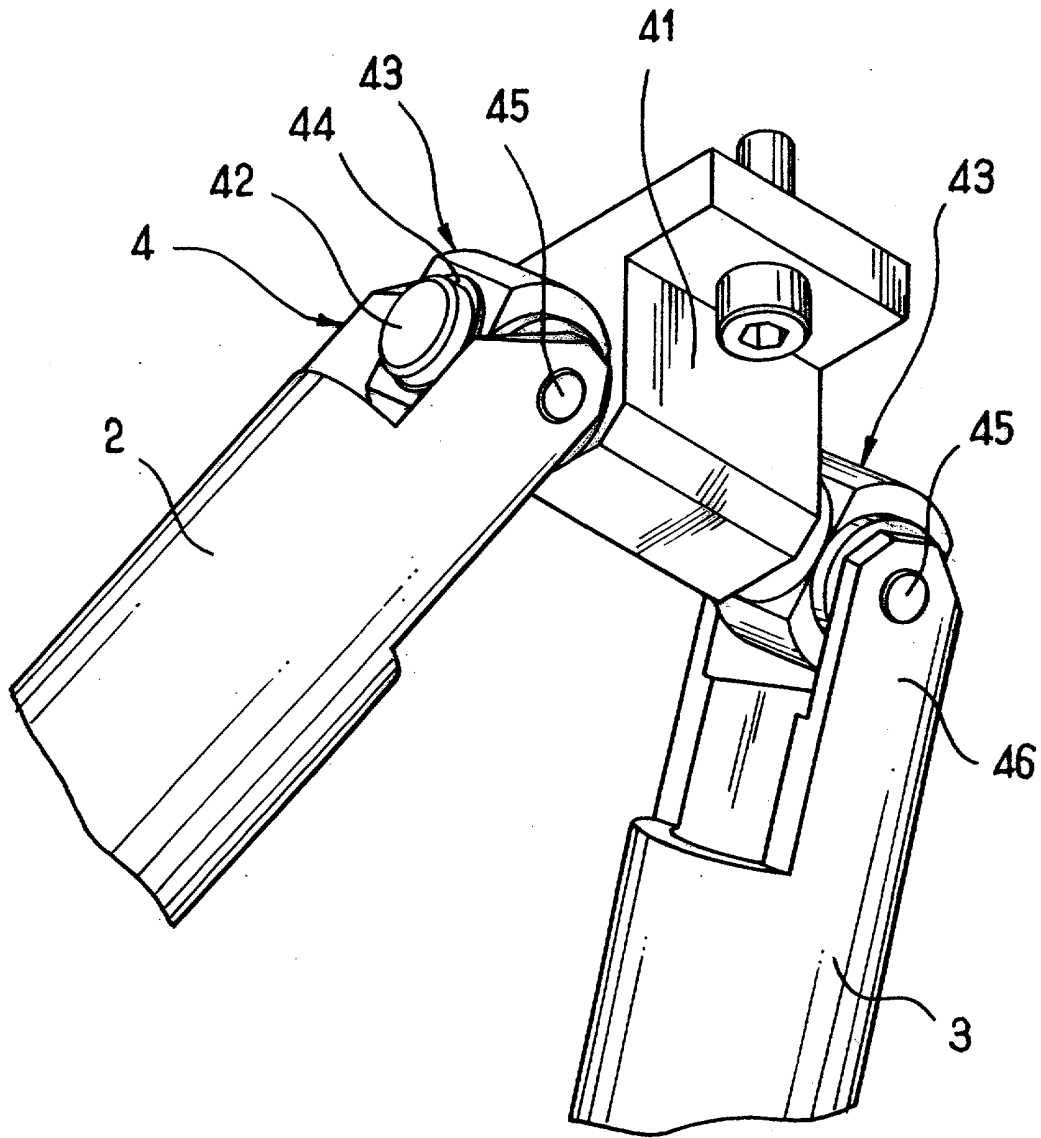
19. Dispositif de déplacement du plateau mobile (20) d'un hexapode
- 10 (100) selon l'une des revendications 13 à 18, caractérisé en ce que l'élongation maximale d'une jambe est inférieure ou égale à 2.

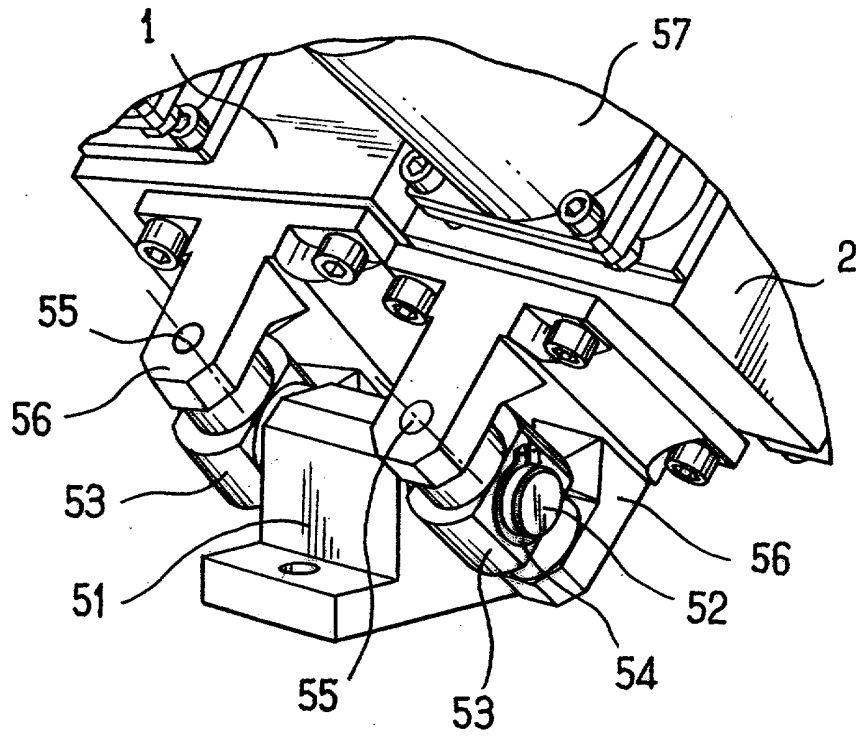
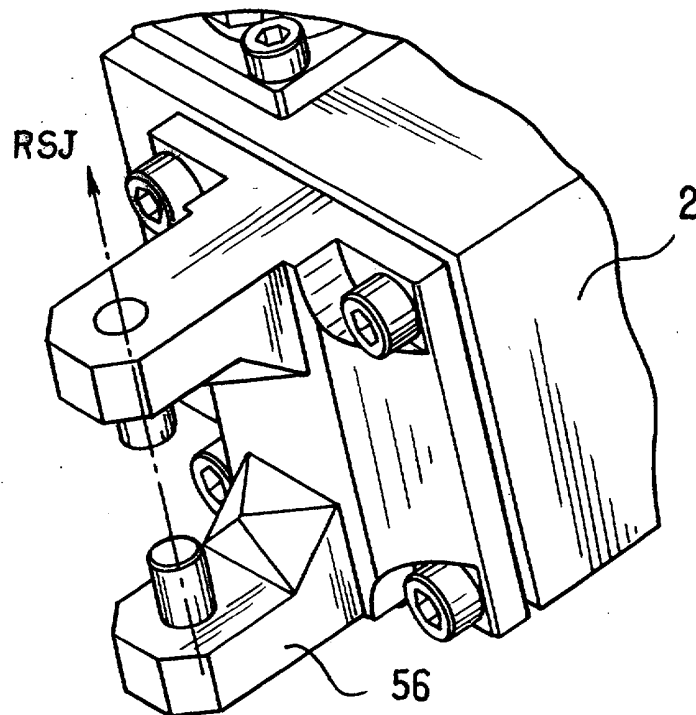
20. Dispositif de déplacement du plateau mobile (20) d'un hexapode
- (100) selon l'une des revendications 13 à 19, caractérisé en ce que l'élongation maximale d'une jambe est supérieure ou égale à 1,7.

FIG. 1

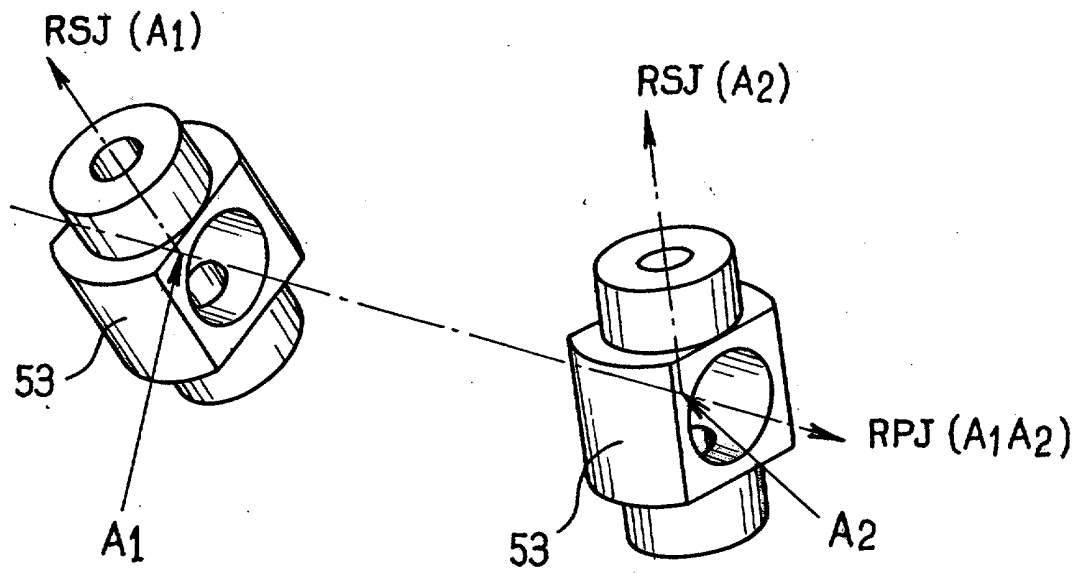
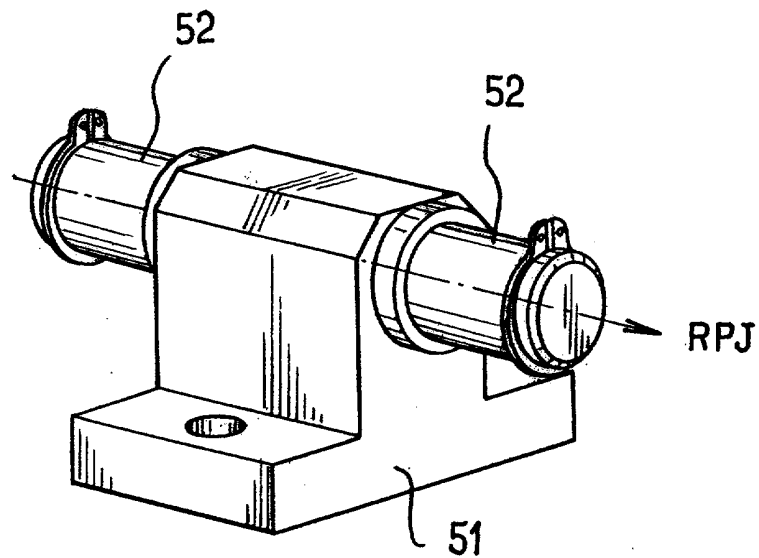
2 / 13

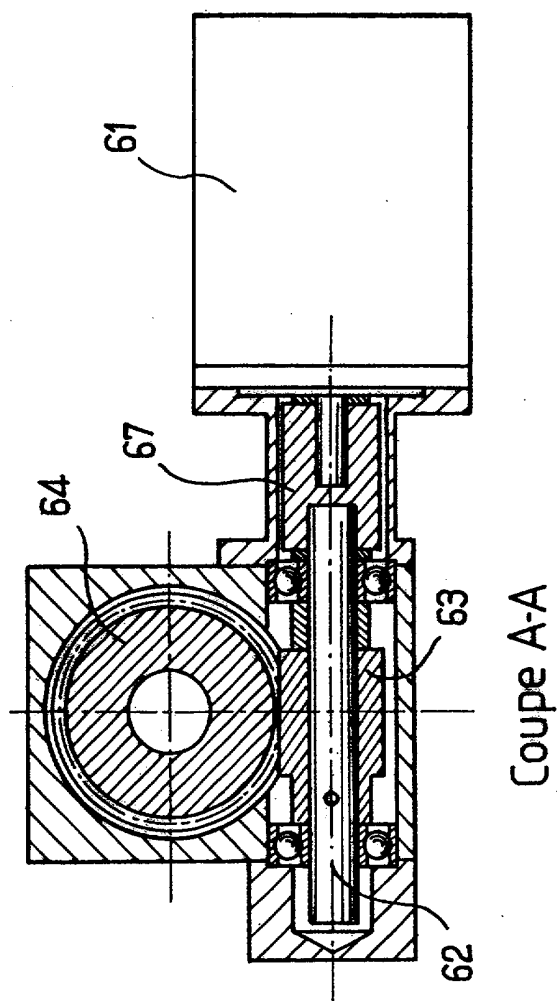
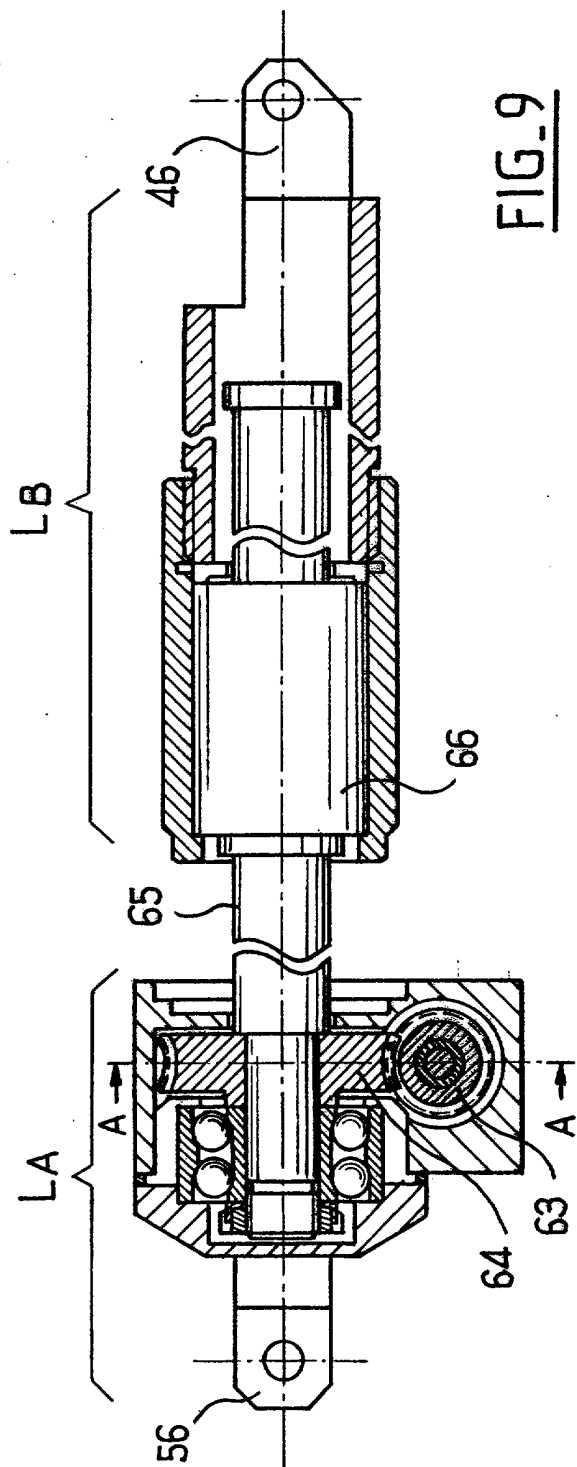
FIG. 2FIG. 3

FIG. 4

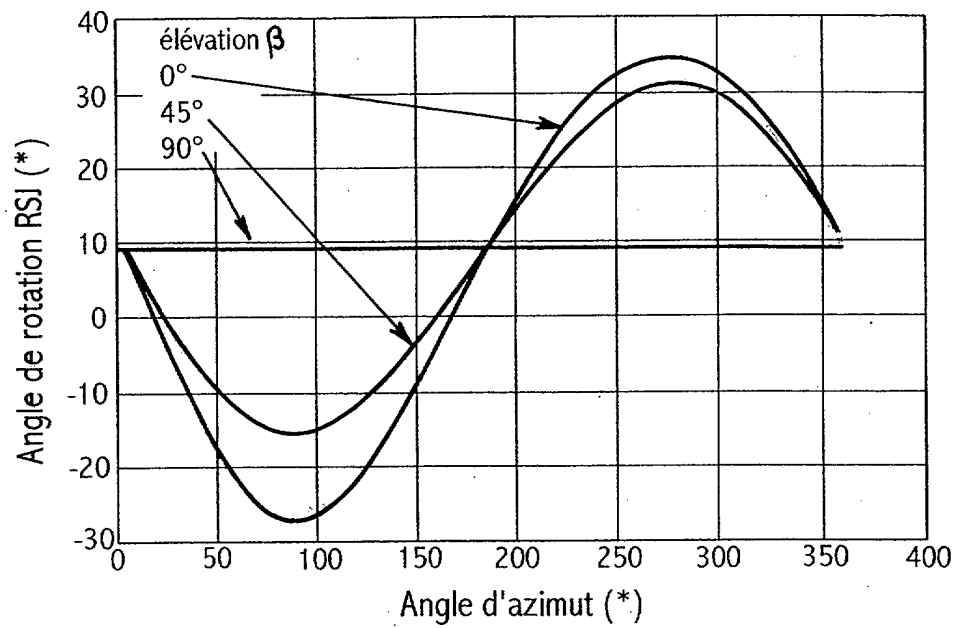
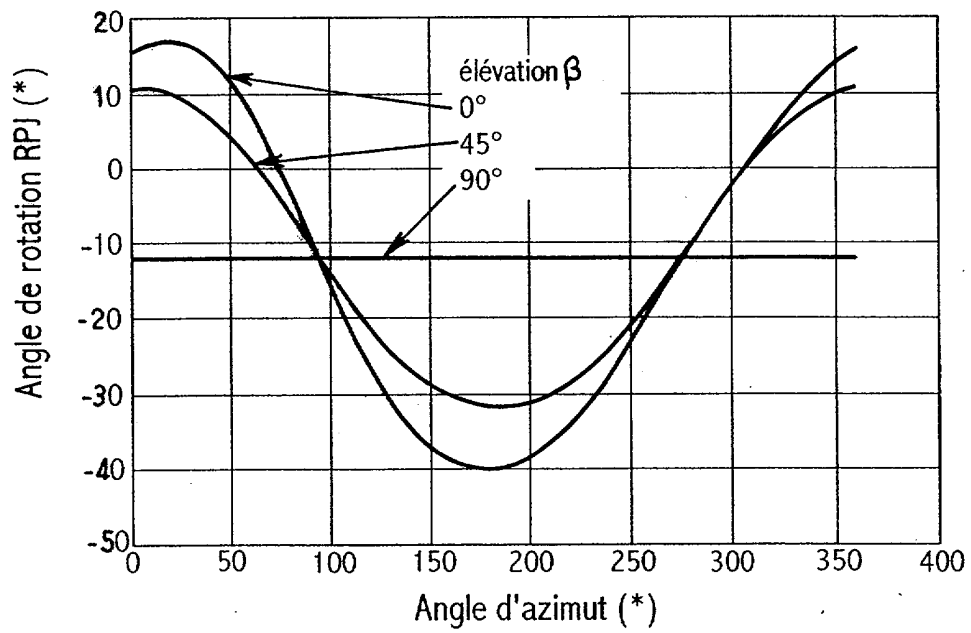
FIG. 5FIG. 6

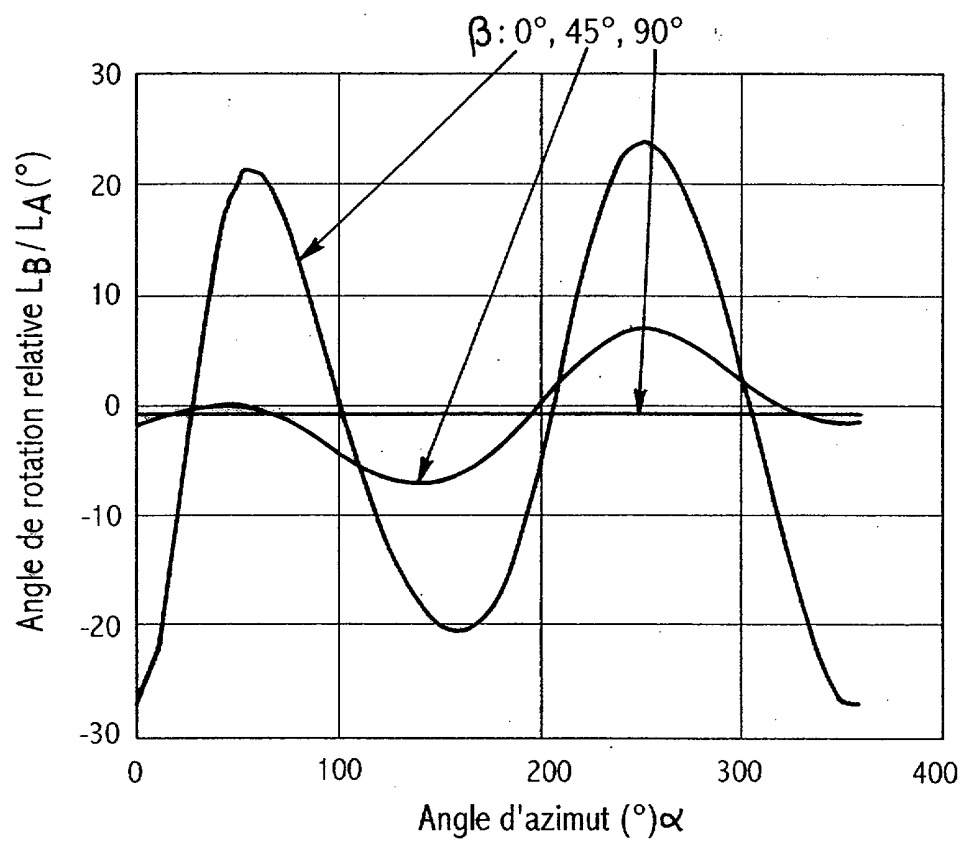
5 / 13

FIG. 7FIG. 8

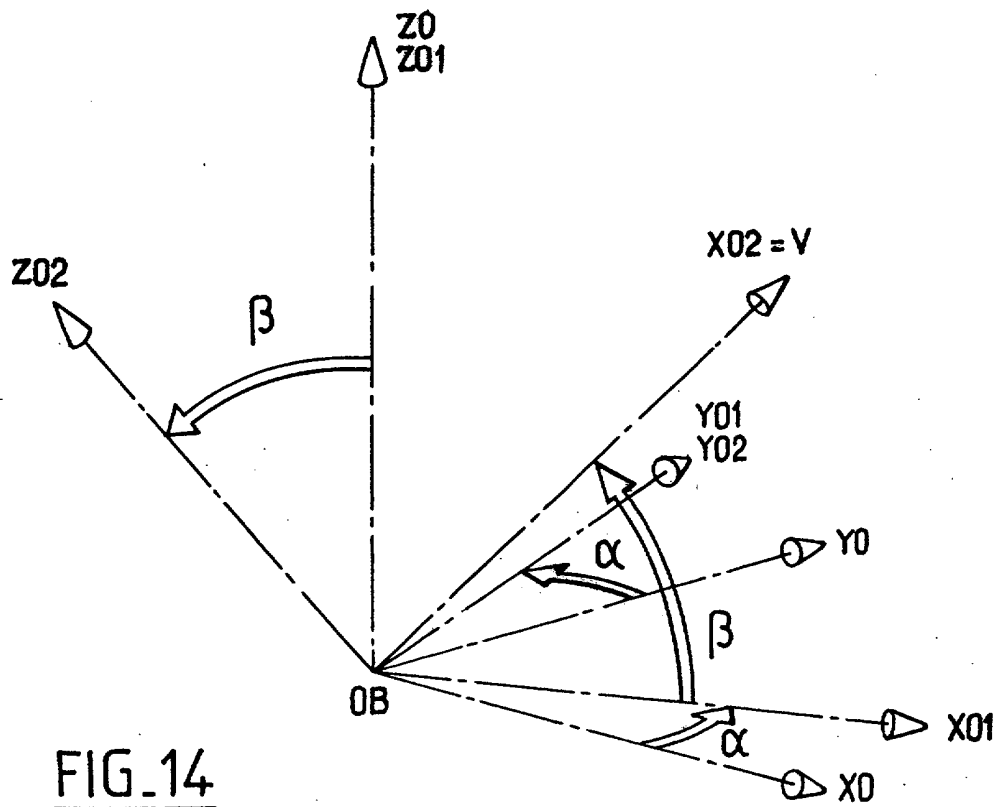
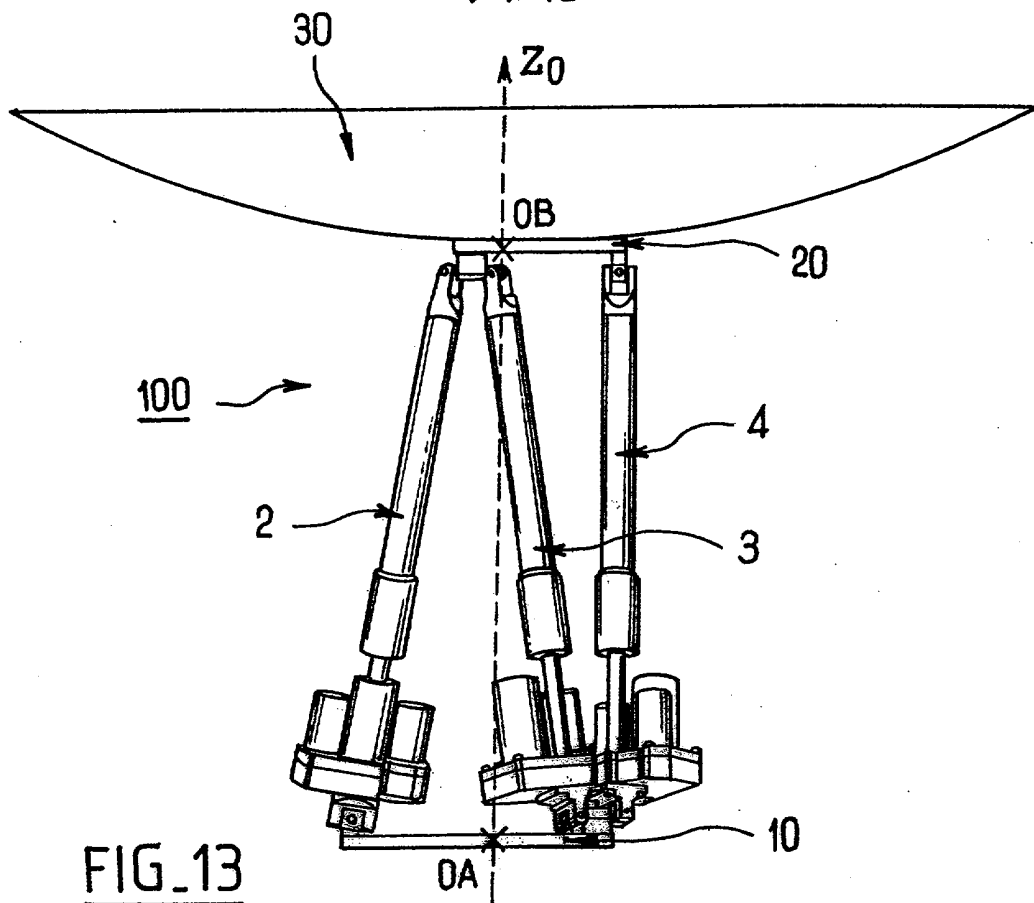


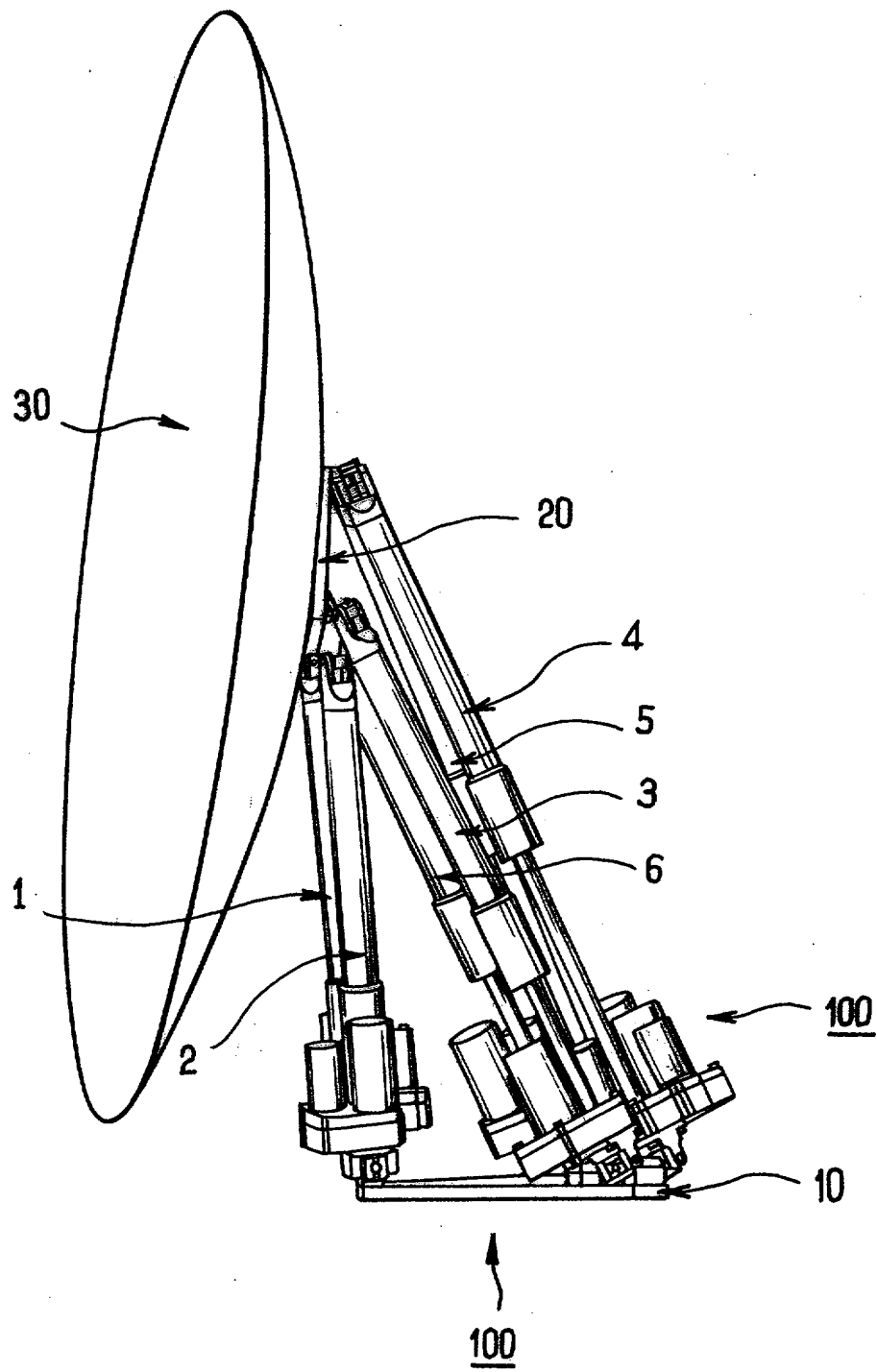
7 / 13

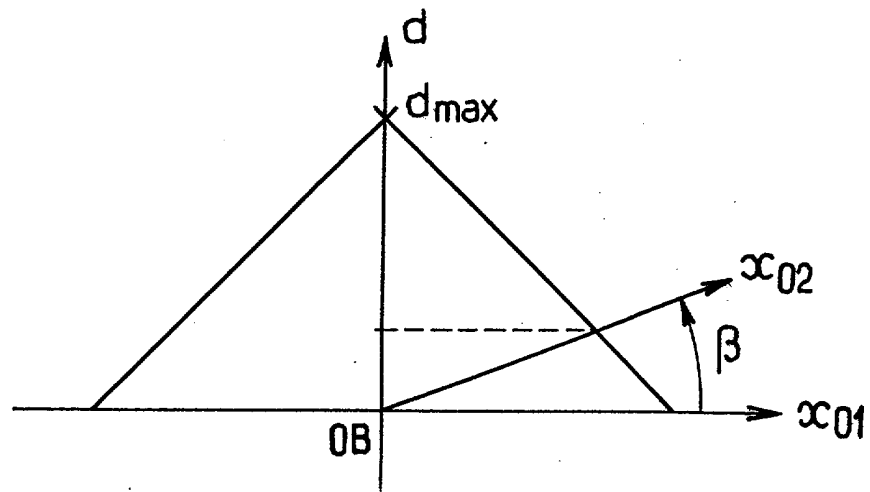
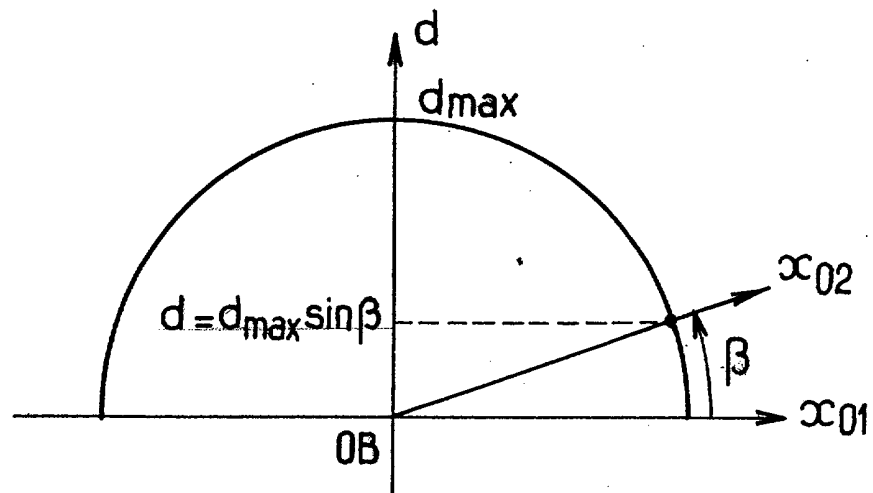
FIG.10FIG.11

FIG.12

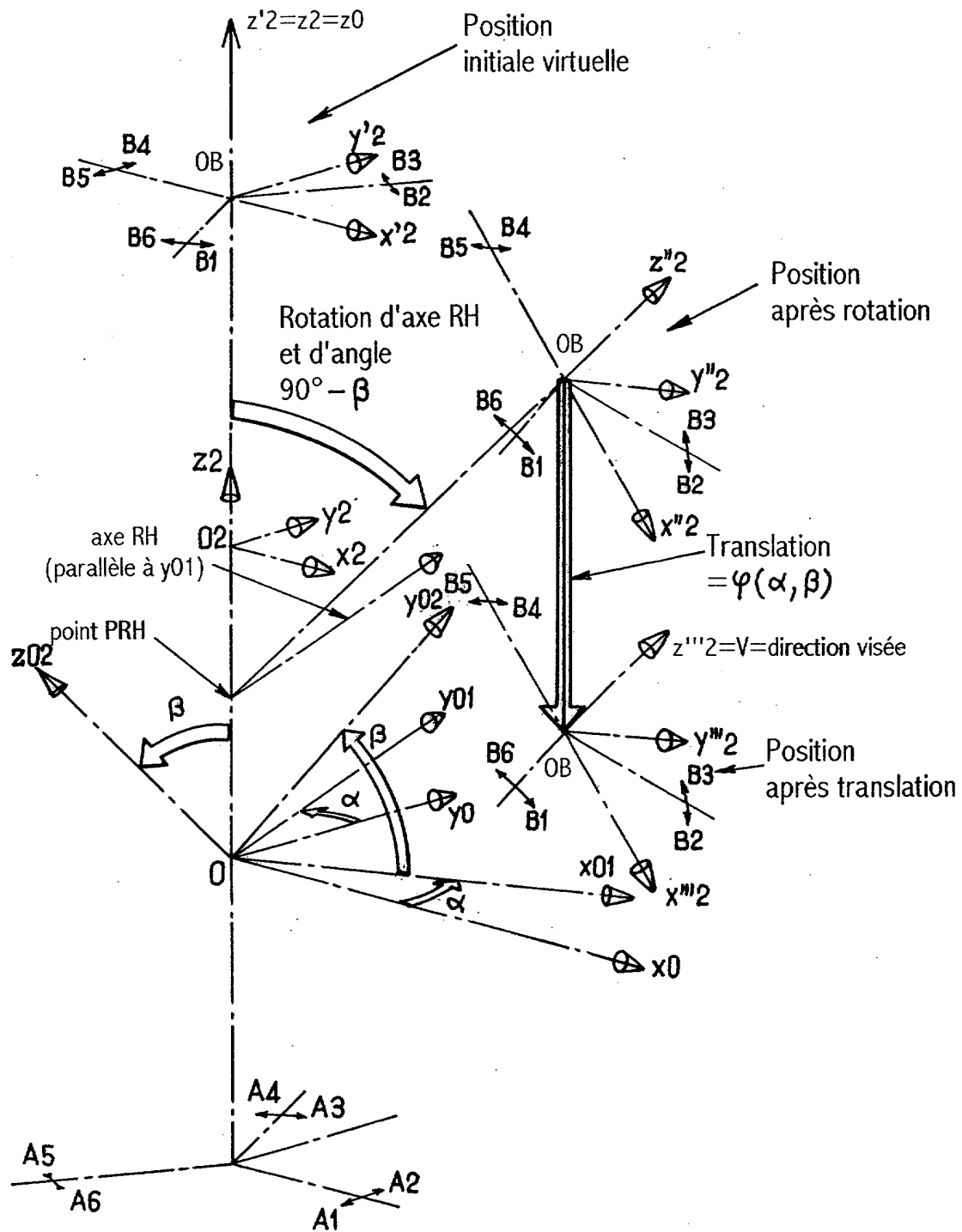
9 / 13

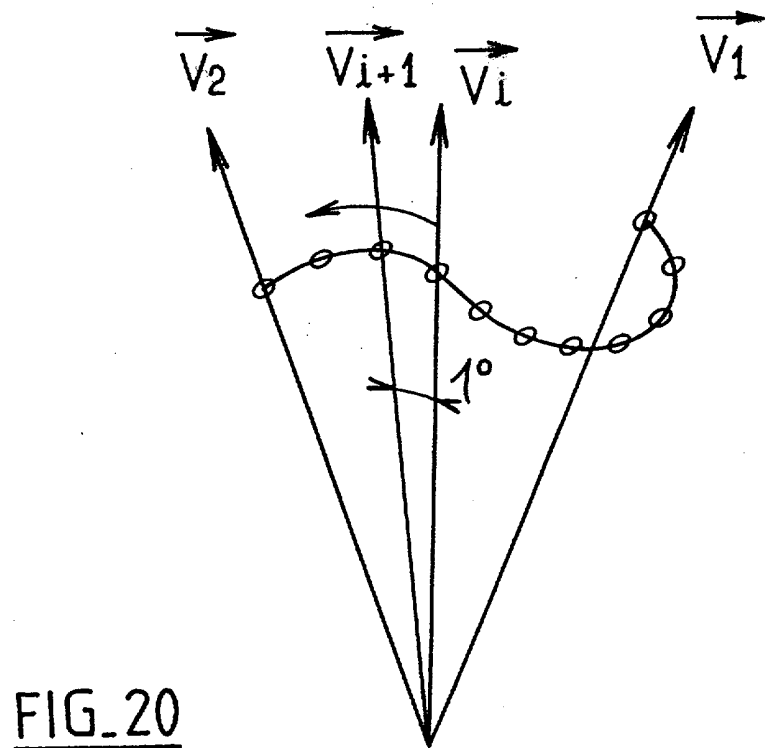
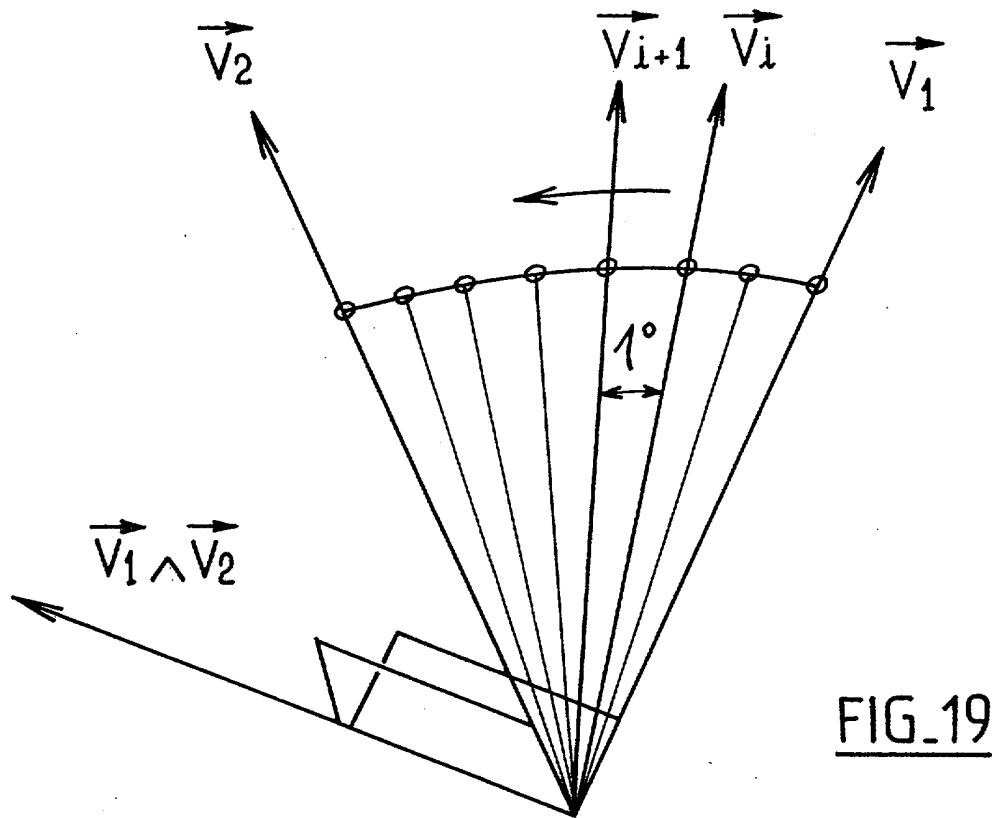


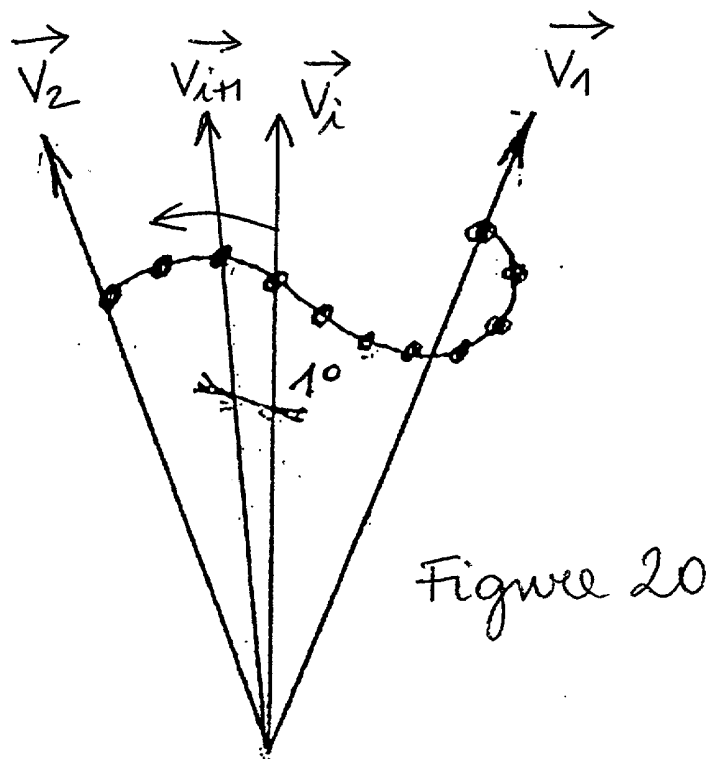
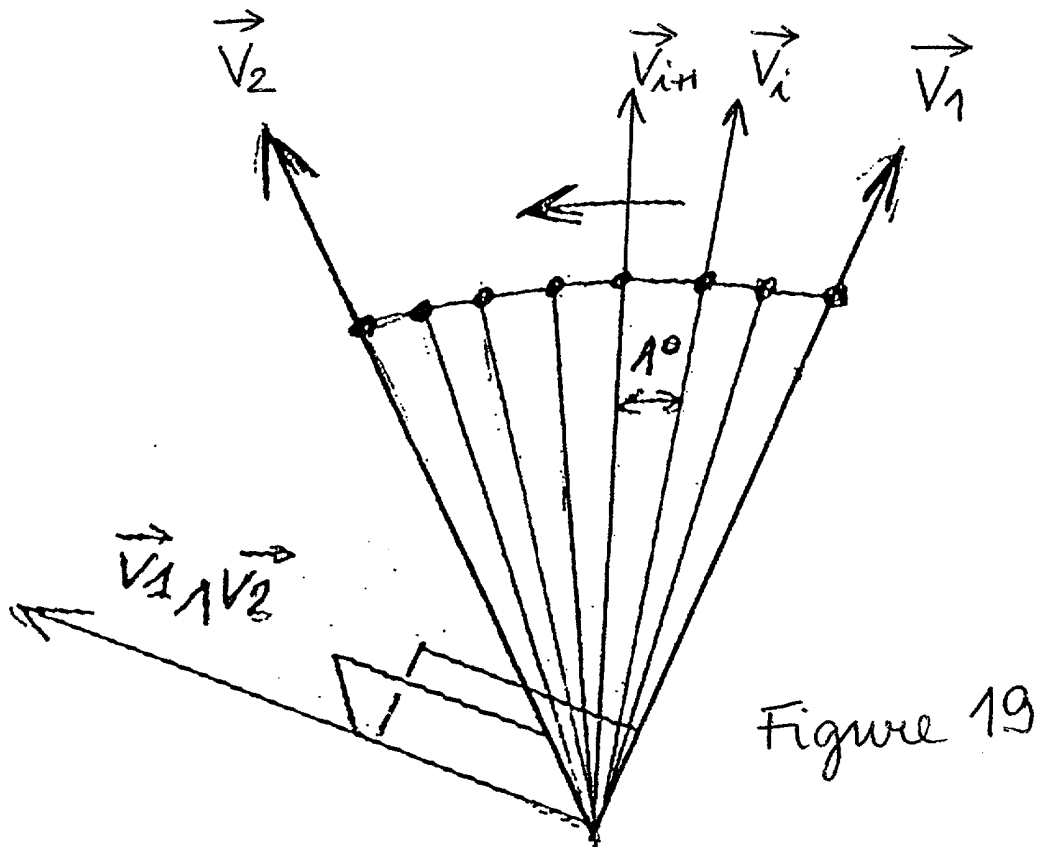
FIG. 15

FIG. 16FIG. 17

12/13

FIG.18







RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 604085
FR 0107136

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, des parties pertinentes		
A	DUNLOP G R; ELLIS P J; AFZULPURKAR N V: "The satellite tracking keyhole problem: a parallel mechanism mount solution." TRANS. INST. PROF. ENG. N.Z. ELECTR./MECH. CHEM. ENG. SECT., vol. 20, no. 1, novembre 1993 (1993-11), pages 1-7, XP001064904 New Zealand * page 4, colonne 2 - page 7; figures 4-6 *	1	F16M11/12 H01Q1/12
A	WO 98 40761 A (ORBIT COMMUNICATIONS TRACKING ;LEVY NATHAN (IL); KOFFMAN ISRAEL (I) 17 septembre 1998 (1998-09-17) * page 6-10; figures 1-4 *	1	
D,A	EP 0 515 888 A (ANT NACHRICHTENTECH) 2 décembre 1992 (1992-12-02) * le document en entier *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			H01Q
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
20 février 2002		Ribbe, J	
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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0107136 FA 604085

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 20-02-2002
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 9840761 A	17-09-1998	WO 9840761 A1	17-09-1998
		AU 2228897 A	29-09-1998
EP 0515888 A	02-12-1992	DE 4117538 C1	09-07-1992
		DE 59203178 D1	14-09-1995
		EP 0515888 A1	02-12-1992
		ES 2077288 T3	16-11-1995