

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
6 avril 2006 (06.04.2006)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2006/035143 A1

(51) Classification internationale des brevets :
A61B 19/00 (2006.01) B25J 17/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2005/002357

(22) Date de dépôt international :
22 septembre 2005 (22.09.2005)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
60/612,503 24 septembre 2004 (24.09.2004) US

(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) : IN-
STITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES
[FR/FR]; (Etablissement Public à Caractère Scien-
tifique, Cu, Iturel et Professionnel), 24 boulevard de

la Victoire, F-67000 STRASBOURG (FR). INSTI-
TUT DE RECHERCHE SUR LES CANCERS EN
L'APPAREIDIGESTIF - IRCAD [FR/FR]; Pavillon
Chirurgical A, Hôpital Civil, 1 place de l'Hôpital, F-67000
STRASBOURG (FR). UNIVERSITE LOUIS PAS-
TEUR [FR/FR]; 4, rue Blaise Pascal, F-67000 Strasbourg
(FR). CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75016
Paris (FR).

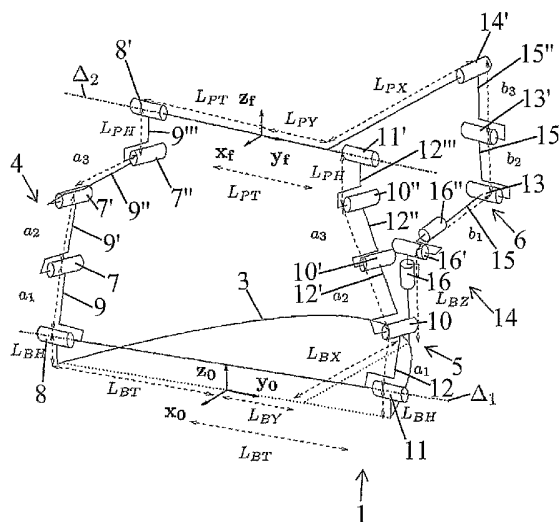
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : DE
MATHELIN, Michel [FR/FR]; 2 rue Chopin, F-67000
STRASBOURG (FR). MAURIN, Benjamin [FR/FR]; 70
rue de Saint-Dié, F-67100 STRASBOURG (FR). BAYLE,
Bernard [FR/FR]; 1 quai de Turckheim, F-67000
STRASBOURG (FR). GANGLOFF, Jacques [FR/FR];
8 impasse des jardins, F-67350 MULHAUSEN (FR).
PICCIN, Olivier [FR/FR]; 1 rue des Fleurs, F-67170
MITTELHAUSEN (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: ROBOTIC POSITIONING AND ORIENTATION DEVICE AND NEEDLE HOLDER COMPRISING ONE SUCH
DEVICE

(54) Titre : DISPOSITIF ROBOTIQUE DE POSITIONNEMENT ET D'ORIENTATION ET APPAREIL PORTE-AIGUILLE
COMPRENANT UN TEL DISPOSITIF



(57) Abstract: The invention relates to a robotic device for the positioning and orientation of a platform that is connected thereto by means of articulated support structures forming parallel mechanical links, each in the form of a serial kinematic chain of articulations that are interconnected by segments of the support. The inventive device (1) is characterised in that it comprises three articulated parallel mechanical links consisting of: (i) two opposing, symmetrical and co-planar support structures (4 and 5), and (ii) a third support structure (6) which is located in a plane that is perpendicular to the plane containing the support structures (4 and 5). According to the invention, the articulated links formed by the three support structures (4, 5 and 6) enable the controlled movement of points belonging to the platform (2) on a surface corresponding to a spherical or ellipsoidal cap and, preferably, essentially to a half-sphere, thereby providing at least five degrees of freedom.

[Suite sur la page suivante]

WO 2006/035143 A1



(74) **Mandataire :** CABINET NUSS; 10, rue Jacques Kablé,
F-67080 Strasbourg (FR).

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) **Abrégé :** La présente invention concerne un dispositif robotique de positionnement et d'orientation d'une plateforme reliée à cette dernière par des structures de jambes articulées formant des liaisons mécaniques parallèles, chacune sous forme d'une chaîne cinématique sérielle d'articulations reliées entre elles par des segments ou portions de jambe. Dispositif (1) caractérisé en ce qu'il comprend trois liaisons mécaniques parallèles articulées qui sont constituées, d'une part, par deux structures de jambes (4 et 5) opposées, symétriques et coplanaires, et, d'autre part, par une troisième structure de jambe (6) située dans un plan perpendiculaire au plan contenant les structures de jambes (4 et 5), les liaisons articulées fournies par les trois structures de jambes (4, 5 et 6) autorisant un déplacement contrôlé des points appartenant à la plateforme (2) sur une surface correspondant à une calotte sphérique ou ellipsoïdale, préférentiellement sensiblement à une demi-sphère, ce en fournissant au moins cinq degrés de liberté.

- 1 -

Dispositif robotique de positionnement et d'orientation et appareil
porte-aiguille comprenant un tel dispositif

La présente invention concerne le domaine des dispositifs robotisés, en particulier les robots de manipulation et/ou de positionnement destinés à être utilisés dans des applications requérant une grande précision et une sécurité de fonctionnement élevée, par exemple dans le contexte
5 d'interventions médicales ou chirurgicales.

Plus spécifiquement, l'invention a pour objet un dispositif robotique de positionnement et d'orientation d'une plateforme ou analogue, ainsi qu'un appareil porte-aiguille intégrant un tel dispositif robotique.

Dans de nombreux domaines, il existe une demande pour des
10 dispositifs robotiques précis, robustes, de faible taille et disposant d'un nombre de degrés de liberté suffisant, permettant de remplacer un opérateur ou manipulateur humain en présentant les mêmes possibilités de mouvement et la même dextérité que ce dernier.

De tels dispositifs robotiques peuvent fonctionner de manière
15 autonome et entièrement automatique (par exemple après une phase de programmation et/ou d'apprentissage préalable d'une unité informatique de commande), de manière semi-automatique (certaines phases ou opérations étant contrôlées par un opérateur, éventuellement avec l'aide d'une unité informatique) ou encore en étant directement commandés par un opérateur
20 au moyen d'une interface adaptée (avec contrôle visuel direct ou par caméra/écran et avec ou sans retour d'efforts).

Les besoins pour de tels dispositifs robotisés sont particulièrement pressants dans les environnements de travail nocifs ou nuisibles pour l'homme.

25 Dans le domaine médical, par exemple, on retrouve de telles conditions environnementales dans le cadre des interventions sous imagerie à rayons X, en particulier pour les procédures percutanées qui connaissent un succès croissant du fait d'un rétablissement plus rapide du patient et d'une douleur moindre causée durant l'intervention.

30 La précision requise dans ces interventions est telle qu'elles nécessitent de réaliser l'intervention dans le champ d'investigation d'un dispositif d'imagerie à rayons X, tel que par exemple un scanographe tomographique informatisé (plus connu sous la désignation "CT scan"). De

- 2 -

ce fait, le praticien est exposé à une dose importante et cumulative de radiations qui sont nuisibles pour sa santé.

Pour tenter de remédier à cette situation de risques aiguë, il a été proposé de mettre en oeuvre des assistants opératoires robotisés, pilotés
5 à distance par les praticiens situés hors de la zone d'irradiation.

Toutefois, ces assistants robotisés connus ne donnent pas satisfaction. En effet, ils se présentent sous la forme de dispositifs reposant au sol ou fixés sur la table recevant le patient et coulissant en translation dans le volume d'exploration du scanographe. De ce fait, ces dispositifs
10 robotisés connus ne peuvent suivre les mouvements respiratoires du patient et ne conviennent pas, dans le domaine des interventions percutanées, à des interventions dans la zone abdominale.

Par ailleurs, par le biais des différentes techniques d'imagerie médicale connues, il est actuellement possible de procéder à une reconstruction tridimensionnelle virtuelle automatique d'une région au
15 moins d'un patient.

Sur la base de ces données, il est possible pour le chirurgien de planifier précisément l'acte chirurgical à exécuter et de disposer éventuellement, durant l'intervention, de la superposition sur le patient de
20 l'image tridimensionnelle reconstruite, rendant ainsi le patient virtuellement transparent.

La mise au point d'un dispositif robotique suffisamment précis et fiable, et compatible avec l'environnement précité, pourrait permettre d'aboutir à une automatisation des gestes les plus difficiles à exécuter.

25 Ainsi, le problème général posé à la présente invention consiste à proposer un dispositif robotique de grande précision, de faible taille, pouvant être construit à partir de composants simples, robustes et fiables et présentant une grande flexibilité et un grand nombre de possibilités en termes de positionnement et de mouvement.

30 Préférentiellement, et en particulier dans le cadre d'une application médicale, le dispositif robotique selon l'invention devra pouvoir être placé sur un patient, être apte à positionner de manière très précise un objet allongé par rapport à un point donné sur une surface, être apte à évoluer dans un faible volume (typiquement le volume libre restant dans un
35 tunnel d'un scanographe) et être compatible avec un environnement soumis aux rayons X.

- 3 -

En vue de répondre au moins au problème général précité, l'invention a pour objet un dispositif robotique de positionnement et d'orientation d'une plateforme, d'un élément support similaire ou analogue, pourvue d'un repère et mobile par rapport à une embase d'appui pourvue
5 d'un repère, la plateforme étant située à distance, préférentiellement au-dessus, de l'embase et reliée à cette dernière par des première, deuxième et troisième structures de jambes articulées formant trois liaisons mécaniques en parallèle, dont chacune consiste en une série de segments ou de portions de jambe relié(e)s entre eux, deux par deux, par des articulations présentant
10 chacune au moins un axe de pivotement, les portions extrémales opposées de chacune des trois structures de jambes étant en outre reliées par des articulations à au moins un axe de pivotement avec la plateforme et avec l'embase en des points de liaison déterminés, dispositif caractérisé

en ce que les axes de pivotement respectifs des articulations à pivot des première et deuxième structures de jambes avec la plateforme,
15 d'une part, et l'embase, d'autre part, sont confondus de manière à définir un premier axe de rotation commun entre l'embase et les deux structures de jambes opposées et un second axe de rotation commun entre ces dernières et la plateforme,

20 en ce que lesdits axes de pivotement communs sont coplanaires dans un plan,

en ce que les axes de pivotement des articulations à pivot reliant les segments de jambe de ces deux structures de jambes sont tous parallèles entre eux et perpendiculaires à un plan donné,

25 en ce que les deux plans précités ne sont pas mutuellement perpendiculaires,

en ce que la troisième structure de jambe articulée est reliée, de manière articulée, d'une part, à la plateforme en un point de liaison non aligné avec les points de liaison des deux autres structures de jambes avec
30 ladite plateforme et, d'autre part, à l'embase en un point de liaison non aligné avec les points de liaison des deux autres structures de jambes avec ladite embase,

les liaisons articulées parallèles fournies par ces trois structures de jambes autorisant une détermination contrôlée de la position de l'origine
35 du repère attaché à la plateforme et de l'orientation de ce dernier repère par rapport au repère attaché à l'embase, ce en fournissant au moins cinq degrés de liberté.

- 4 -

L'invention sera mieux comprise grâce à la description ci-après, qui se rapporte à un mode de réalisation préféré, donné à titre d'exemple non limitatif, et expliqué avec référence aux dessins schématiques annexés, dans lesquels :

5 la figure 1 est une représentation schématique fonctionnelle basée sur une modélisation du dispositif robotique selon l'invention ;

 la figure 2 est une représentation schématique cinématique basée sur la même modélisation du dispositif robotique que celle de la figure 1 ;

10 les figures 3 et 4 sont des représentations schématiques squelettiques ou filaires de deux variantes de réalisation, respectivement, des deux premières structures de jambe opposées et de la troisième structure de jambe, montrant également les paramètres commandés et contrôlés au niveau de chacune de ces structures ;

15 les figures 5 et 6 sont des vues respectivement en élévation latérale dans une direction perpendiculaire au(x) plan(s) des deux structures de jambe opposées et de dessus du dispositif robotique selon l'invention, la plateforme étant enlevée ;

20 les figures 7 à 9 sont des vues en perspective du dispositif robotique selon l'invention dans trois positions ou états différent(e)s (le dispositif de la figure 7 comportant une embase selon une variante de réalisation de l'invention) ;

25 les figures 10 à 12 sont des vues en perspective latérale du dispositif robotique selon l'invention dans trois positions ou états différent(s) ;

 les figures 13 à 16 sont des vues en perspective du dispositif robotique selon l'invention dans quatre positions différentes ;

30 les figures 17 et 18 sont des vues en perspective de dessus du dispositif robotique selon l'invention dans deux positions en rotation différentes ;

 la figure 19 est une vue partielle en coupe au niveau de l'embase du dispositif robotique selon l'invention ;

35 la figure 20 est une vue analogue à celle de la figure 8 d'un dispositif robotique selon l'invention, pourvue d'une embase selon une autre variante de réalisation (identique à celle du dispositif de la figure 7), et,

- 5 -

la figure 21 est une représentation schématique d'un appareil porte-aiguille comprenant un dispositif robotique selon l'invention et mis en oeuvre en relation avec un système d'imagerie médicale.

Les figures des dessins annexés illustrent, de manière schématique (figures 1 à 4) ou sous la forme d'une réalisation pratique possible (figures 5 à 20), un dispositif robotique 1 de positionnement et d'orientation d'une plateforme 2, d'un élément support similaire ou analogue, pourvue d'un repère $0_f, x_f, y_f, z_f$ et mobile par rapport à une embase d'appui 3 pourvue d'un repère $0_0, x_0, y_0, z_0$, la plateforme étant située à distance, préférentiellement au-dessus, de l'embase et reliée à cette dernière par des première, deuxième et troisième structures de jambes articulées 4, 5 et 6 formant trois liaisons mécaniques en parallèle, dont chacune consiste en une série de segments ou de portions de jambe (pour la jambe 4 : 9, 9', 9'', 9''' ou 9, 24, 9''' / pour la jambe 5 : 12, 12', 12'', 12''' ou 12, 25, 12''' / pour la jambe 6 : 15, 15', 15'' ou 26, 15''). Ces segments ou portions sont relié(e)s entre eux, deux par deux, par des articulations présentant chacune au moins un axe de pivotement (7, 7', 7'' ou 7, 7'' pour la jambe 4 ; 10, 10', 10'' ou 10, 10'' pour la jambe 5 ; 13, 13' ou 13' pour la jambe 6), les portions extrémales opposées de chacune des trois structures de jambes étant en outre reliées par des articulations à au moins un axe de pivotement 8', 11', 14' ; 8, 11, 14 avec la plateforme 2 et avec l'embase 3 en des points de liaison 4', 5', 6' ; 4'', 5'', 6'' déterminés.

Conformément à l'invention, il est prévu :

que les axes de pivotement respectifs des articulations à pivot 8', 11' ; 8, 11 des première et deuxième structures de jambes 4 et 5 avec la plateforme 2, d'une part, et l'embase 3, d'autre part, sont confondus de manière à définir un premier axe de rotation commun Δ_1 entre l'embase 3 et les deux structures de jambes opposées 4 et 5 et un second axe de rotation commun Δ_2 entre ces dernières et la plateforme 2,

que lesdits axes de pivotement communs Δ_1 et Δ_2 sont coplanaires dans un plan P,

que les axes de pivotement $X_1 ; X_2$ des articulations à pivot 7, 7', 7'' ou 7, 7'' ; 10, 10', 10'' ou 10, 10'' reliant les segments de jambe 9, 9', 9'', 9''' ou 9, 24, 9''' ; 12, 12', 12'', 12''' ou 12, 25, 12''' de ces deux structures de jambes 4 ; 5 sont tous parallèles entre eux et perpendiculaires à un plan donné P',

- 6 -

en ce que les deux plans précités P et P' ne sont pas mutuellement perpendiculaires,

en ce que la troisième structure de jambe articulée 6 est reliée, de manière articulée, d'une part, à la plateforme 2 en un point de liaison 6' non aligné avec les points de liaison 4', 5' des deux autres structures de jambes 4 et 5 avec ladite plateforme 2 et, d'autre part, à l'embase 3 en un point de liaison 6'' non aligné avec les points de liaison 4'', 5'' des deux autres structures de jambes 4 et 5 avec ladite embase 3,

les liaisons articulées parallèles fournies par ces trois structures de jambes 4, 5 et 6 autorisant une détermination contrôlée de la position de l'origine O_f du repère O_f, x_f, y_f, z_f attaché à la plateforme 2 et de l'orientation de ce dernier repère par rapport au repère O_o, x_o, y_o, z_o attaché à l'embase, ce en fournissant au moins cinq degrés de liberté.

Selon une première variante de réalisation de l'invention, ressortant des figures 1 à 20 des dessins annexés, chacune des première et deuxième structures de jambes 4 et 5 est composée, en l'observant dans son extension de l'embase 3 vers la plateforme 2, de quatre segments de jambe 9, 9', 9'', 9''' ; 12, 12', 12'', 12''' assemblés en série, successivement du premier au quatrième, et reliés entre eux, deux à deux, par trois articulations (7, 7', 7'' ; 10, 10', 10'') à pivotement autour d'axes $X_1 ; X_2$ perpendiculaires au plan P'.

De manière préférée, une première 4 des deux structures de jambes opposées 4, 5 comporte deux articulations à pivotement 7' et 7'' à mouvements commandés et contrôlés, préférentiellement l'articulation 7' reliant les deuxième et troisième segments 9' et 9'' d'une part et l'articulation 7'' reliant les troisième et quatrième segments 9'' et 9''' d'autre part, et la seconde 5 des deux structures de jambes opposées 4 et 5 comporte une unique articulation 10' à pivotement à mouvement contrôlé et commandé, préférentiellement l'articulation 10' reliant les deuxième et troisième segments 12' et 12'' (les autres articulations à pivotement 7, 10 et 10'' étant à mouvement libre).

Selon une seconde variante de réalisation de l'invention, représentée de manière superposée avec la première variante sur les figures 3 et 4 (les segments 24 ; 25 devant être considérés comme des alternatives de construction respectivement par rapport aux paires de segments 9', 9'' ; 12', 12''), chacune des première et deuxième structures de jambes 4 et 5 est composée, en l'observant dans son extension de l'embase 3 vers la

- 7 -

5 plateforme 2, de trois segments de jambe 9, 24, 9''' ; 12, 25, 12''' assemblés en série, successivement du premier au troisième, et reliés entre eux, deux à deux, par deux articulations 7, 7'' ; 10, 10'' à pivotement autour d'axes X_1 ; X_2 perpendiculaires au plan P' et en ce que les segments de jambe 24 et 25 consistent en des segments de type télescopique.

10 En relation avec cette seconde variante, il peut alors être avantageusement prévu que les deux segments télescopiques 24 et 25 sont réglables en longueur de manière contrôlée, et que l'une des articulations à pivotement 7, 7'' ; 12, 12'' de l'une des première et deuxième structures de jambe 4 ; 5 est commandé et contrôlé en mouvement (par exemple l'articulation 7'', les autres articulations à pivotement étant libres en mouvement).

15 Ainsi, selon la classification proposée par TSAI L. W. dans "Mechanism Design : enumeration of kinematic structures according to function" (Conception de mécanismes : énumération de structures cinématiques en accord avec leur fonction) ; Mechanical Engineering series ; CRC Press ; 2001, les deux structures de jambes opposées 4 et 5 sous forme de chaînes parallèles forme une liaison plane à six barres. Cette liaison vise à contrôler trois degrés de liberté dans son plan, à savoir, la position du point origine O_f du repère affecté à la plateforme 2 et l'orientation du second axe de rotation Δ_2 dans le plan de la liaison complexe formée par les deux structures de jambes 4 et 5.

25 Pour des raisons de simplicité de construction et d'optimisation de mouvement, les plans P et P' sont avantageusement parallèles, préférentiellement confondus. Dans ce cas, les axes de rotation ou de pivotement X_1 et X_2 sont tous perpendiculaires au plan P contenant les axes de liaison mécaniques des segments de jambe 4 et 5.

30 Selon une réalisation très avantageuse de l'invention, ressortant en particulier des figures 1 à 3 et 6 à 12, les première et deuxième structures de jambes 4 et 5 constituent des structures de jambes opposées et symétriques, avec des articulations à pivot 7, 7', 7'' ou 7, 7'' ; 10, 10', 10'' ou 10, 10'' localisées respectivement de manière symétrique et des segments de jambe 9, 9', 9'', 9''' ou 9, 24, 9''' ; 12, 12', 12'', 12''' ou 12, 25, 12''' de formes respectivement identiques, les axes longitudinaux de tous les segments de jambe précités, ou au moins les axes des liaisons mécaniques droites respectivement fournies par ces derniers, étant situés dans le plan P et/ou le plan P', ou encore dans un plan parallèle à l'un de ces deux plans.

- 8 -

Ainsi, les deux structures de jambes 4 et 5 présentent une structure totalement symétrique en termes de constitution mécanique et de possibilités d'articulation.

Comme le montre la figure 3 des dessins annexés, la
5 commande des articulations à pivotement 7', 7'' et 10' s'effectue de telle manière que les deux liaisons mécaniques et cinématiques parallèles formées par les première et deuxième structures de jambes opposées 4 et 5 reliant l'embase 3 à la plateforme 2 comprennent trois paramètres contrôlés,
10 à savoir, d'une part, au niveau de la première 4 des deux structures de jambes 4 et 5, la distance l_1 entre l'axe X_1 de l'articulation à pivotement 7' reliant le premier et le deuxième segments de jambe 9' et 9'' et l'axe X_1 de l'articulation à pivotement 7'' reliant le troisième et le quatrième segments de jambe 9'' et 9''', et, l'angle α entre le segment de droite reliant les deux articulations 7' et 7'' précitées et définissant la longueur l_1 et le segment de droite SD reliant la dernière 7'' des articulations précitées de la première
15 structure de jambe 4 à l'articulation correspondante 10'' de la seconde structure de jambe 5, et, d'autre part, au niveau de la seconde 5 des deux structures de jambes 4 et 5, la distance l_2 entre l'axe X_2 de l'articulation 10' reliant le premier et le deuxième segments de jambe 12 et 12' et l'axe X_2 de l'articulation 10'' reliant le troisième et le quatrième segments de jambe 12''
20 et 12'''.

En vue de décaler la troisième structure de jambe 6 en dehors du plan médian, et le cas échéant de symétrie planaire, des première et seconde structures de jambes 4 et 5, de manière à limiter les interférences
25 d'observation au niveau de ce plan d'investigation privilégiée, il peut être avantageusement prévu que le point de liaison 6' de la troisième structure de jambe 6 avec la plateforme 2 est situé en dehors du plan médian O_f, x_f, z_f des deux autres points de liaison 4' et 5' de ladite plateforme 2, perpendiculaire à l'axe de rotation Δ_2 , et que le point de liaison 6'' de la
30 troisième structure de jambe 6 avec l'embase 3 est situé en dehors du plan médian O_o, x_o, z_o des deux autres points de liaison 4'' et 5'' de ladite plateforme 2, perpendiculaire à l'axe de rotation Δ_1 (voir notamment figures 1 et 2).

Similairement aux deux variantes de réalisation exposées ci-
35 dessus en relation avec la constitution des première et seconde structures de jambes 4 et 5, deux variantes de réalisation analogues peuvent être envisagées pour la troisième structure de jambe 6.

- 9 -

Ainsi, selon une première variante, ressortant des figures 1 à 20, la troisième structure de jambe 6 est composée, en l'observant dans son extension de l'embase 3 vers la plateforme 2, de trois segments de jambe 15, 15', 15" assemblés en série successivement du premier au troisième, et reliés entre eux, deux à deux, par deux articulations à pivotement 13 et 13' autour d'axes X_3 parallèles entre eux.

Selon une seconde variante, représentée de manière superposée avec la première variante sur la figure 4 (le segment 26 devant être considéré comme une alternative de construction en remplacement des segments 15 et 15'), la troisième structure de jambe 6 est composée, en l'observant dans son extension de l'embase 3 vers la plateforme 2, de deux segments de jambe 26, 15" assemblés entre eux par une articulation à pivotement 13' autour d'un axe X_3 , l'un 26 des deux segments de jambe 26, 15" étant de type télescopique.

Pour des raisons de simplicité de construction et d'optimisation de mouvement, il peut être prévu que les axes longitudinaux des segments de jambe 15, 15', 15" ou 26, 15", ou au moins les axes des liaisons mécaniques droites respectivement fournies par ces derniers, peuvent être situés dans un ou des plan(s) perpendiculaire(s) à l'axe ou aux axes de pivotement X_3 .

De manière avantageuse, et comme cela ressort des figures des dessins annexés, les segments de jambe extrémaux opposés 15 et 15" de la troisième structure de jambe 6 sont, chacun, reliés par une articulation libre 14, 14' respectivement à l'embase 3 et à la plateforme 2. Préférentiellement, l'articulation 14 reliant le premier segment 15 à l'embase 3 est du type rotule et l'articulation 14' reliant le troisième segment 15" à la plateforme 2 est du type à pivotement autour d'un axe perpendiculaire à l'axe de pivotement Δ_2 .

Ainsi, cette troisième structure de jambe 6 peut être considérée, d'après la classification précitée, comme constituant une liaison à quatre barres reliée à la liaison à six barres par une plateforme 2 commune.

Cette liaison à quatre barres définit les deux degrés de liberté restants du dispositif 1, à savoir, la position de l'origine O_f sur un cercle contenu dans un plan normal à l'axe Δ_1 (rotation de la liaison planaire à six barres autour de l'axe Δ_1), et l'orientation du vecteur z_f autour de l'axe Δ_2 (rotation de la plateforme autour de Δ_2).

- 10 -

Conformément à une autre caractéristique avantageuse de l'invention, la liaison mécanique et cinématique formée par la troisième structure de jambe 6 comprend deux paramètres contrôlés, à savoir, la distance l_3 entre le centre de l'articulation libre à rotule 14 et l'axe X_3 de l'articulation à pivotement 13' reliant le premier et le second segments de jambe 26, 15" ou le deuxième et le troisième segments de jambe 15' et 15" et l'angle β entre le segment de droite reliant les deux articulations 14 et 13' précédentes et définissant la distance l_3 et un segment de droite SD' contenu dans le plan contenant ledit segment de droite définissant la distance l_3 et parallèle au(x) plan(s) contenant les axes longitudinaux des segments de jambe 15, 15', 15" ou 26, 15" et/ou des liaisons mécaniques correspondantes et reliant l'axe X_3 de l'articulation à pivotement 13' précitée au segment de droite SD reliant les articulations à pivotement 7" et 10" des première et deuxième structures de jambe 4 et 5.

En accord avec les deux variantes de réalisation de la troisième structure de jambe 6 évoquées précédemment, il peut être respectivement prévu que les deux articulations à pivotement 13 et 13' soient toutes deux commandées et contrôlées en mouvement, ou que l'articulation à pivotement 13' soient commandée et contrôlée en mouvement, avec le segment de jambe télescopique 26 réglable en longueur de manière contrôlée.

Avantageusement, toutes les articulations à pivotement ou à rotation 7, 7', 7", 8, 8', 10, 10', 10", 11, 11', 13, 13', 14, 14' consistent en des articulations cylindriques (par exemple paliers à billes ou à aiguilles) et l'articulation 14 du type rotule peut être constituée par l'association juxtaposée de trois articulations à pivotement ou à rotation 16, 16', 16" comportant des axes de rotation ou de pivotement concourants.

La distance séparant l'articulation 14 du plan contenant l'embase 3 peut éventuellement être réglable, par exemple en prévoyant un segment de liaison 14" télescopique entre cette articulation et l'embase 3.

En utilisant les notations mathématiques ressortant des figures 3 et 4, il est possible de modéliser le dispositif robotique 1 selon le mode de réalisation préféré de l'invention en se basant sur les méthodes exposées dans les publications suivantes :

- "A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation" (Une introduction mathématique à la manipulation robotique), Murray, R. M., Li Z., Sastry S. S., 1994, CRC Press.

- 11 -

- "Computational aspects of the product-of-exponentials formula for robot kinematics" (Aspects calculatoires de la formule produit d'exponentiels pour la cinématique de robots), Park, F. C., 1994, IEEE Transactions on Automatic Control, 39 (3) March, pages 643-647.

5 - Design and kinematic analysis of modular reconfigurable parallel robots" (Conception et analyse cinématique de robots parallèles reconfigurables et modulaires), Yang, G., Chen I. M., Lim, W. K., Yeo, S. H., 1999, Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pages 2501-2506.

10 Une modélisation cinématique du dispositif robotique 1 objet de l'invention est développée et décrite dans le document suivant :

 - "A PARALLEL 5 DOF POSITIONER FOR SEMI-SPHERICAL WORKSPACES" (Positionneur parallèle à 5 degrés de libertés pour des espaces de travail semi-sphériques) ; Maurin B. et al.,
15 Proceedings of DETC '04, Design Technical Engineering Conferences, Salt Lake City, USA, 28 septembre 2004, ASME, 2004.

 Comme cela ressort de ce dernier document, dont le contenu est en totalité intégré à la présente par référence, le formalisme du produit local des exponentielles tel que décrit dans les publications précitées est utilisé
20 pour simuler la cinématique du dispositif robotique 1 et une matrice jacobienne numérique approximative est utilisée pour étudier l'espace de travail et la rigidité du mécanisme formé par les structures de jambes parallèles articulées 4, 5 et 6.

 Lorsque le dispositif robotique 1 est mis en oeuvre dans le
25 volume d'investigation d'un scanographe, il peut être avantageusement prévu qu'aucun des éléments constitutifs de l'une quelconque des trois structures de jambes 4, 5 et 6 ne soit situé dans le plan de balayage dudit scanographe (plan perpendiculaire à l'axe central du volume d'investigation du scanographe ou au plan de symétrie du patient).

30 En accord avec un mode de réalisation pratique préféré de l'invention, appliquée à la première variante précitée, les actionneurs 17, 17' ; 18 ; 19, 19' commandant et contrôlant les mouvements respectivement des articulations 7', 7" ; 10' ; 13, 13' commandées et contrôlées en
35 mouvement des trois structures de jambes 4, 5 et 6 consistent en des ensembles moteurs piézoélectriques ou à ultrasons.

 En relation avec la seconde variante précitée, il peut être prévu que les segments de jambe télescopiques 24, 25, 26 consistent en des vérins

- 12 -

électriques ou piézo-électriques et que les articulations à pivotement à mouvement commandé et contrôlé 7", 13' consistent en des ensembles moteurs piézoélectriques ou à ultrasons 17', 19'.

Plus précisément chacun des ensembles moteurs 17, 17', 18, 19
5 et 19' (affectés chacun respectivement à l'une des articulations pivotantes à mouvement contrôlé 7', 7", 10', 13, 13') peut comprendre un moteur ultrasonique ou piézoélectrique associé à un réducteur, préférentiellement à excitation harmonique ("harmonic drive" en langue anglaise), et à un codeur incrémental, chacun de ces ensembles étant monté dans un carter
10 correspondant et piloté en accord avec les autres ensembles par une unité centrale de commande et de contrôle, telle qu'une unité informatique programmable, qui recueille les données délivrées par les différents codeurs.

Ce type d'ensembles moteurs est particulièrement bien adapté à
15 une utilisation dans le cadre de l'invention. En effet, les moteurs ultrasoniques présentent un grand couple de maintien, un rapport couple/poids élevé, un faible temps de réponse, une faible réponse dynamique, une bonne compatibilité magnétique et aucun jeu ou hystérèse. Les ensembles moteurs mis en oeuvre peuvent par exemple être du type
20 connu sous la désignation USR-30 par la société Shinsei, disponibles avec des unités de commande appropriées intégrant des amplificateurs de puissance. Un asservissement angulaire des ensembles moteurs peut être réalisé en prévoyant une boucle de contrôle entre les codeurs et lesdites unités de commande associés à chacun desdits ensembles moteurs.

25 Bien entendu, la commande et le contrôle de ces derniers seront réalisés par une unité informatique 21 sur la base des données fournies par les codeurs et par un système d'imagerie en temps réel 22.

En vue de réduire le plus possible les perturbations induites par le dispositif robotique 1 au niveau de l'imagerie, les différents segments de
30 jambes 9, 9', 9", 9"', 12, 12', 12", 12"', 15, 15', 15", 24, 25, 26, ainsi que la plateforme 2 et l'embase 3, sont réalisés en un matériau rigide et compatible avec les procédés d'imagerie médicale, notamment du type à rayons X, tel que par exemple un polyamide chargé en fibres de verre, et les articulations à pivotement 7, 7', 7", 8, 8', 10, 10', 10", 11, 11', 13, 13' des trois structures
35 de jambes 4, 5, 6 consistent en des paliers cylindriques ou annulaires.

Afin de permettre une localisation spatiale permanente et précise du dispositif robotique 1 par un système d'imagerie médicale 22,

- 13 -

ledit dispositif 1 comporte en outre au moins une pièce 1' de référencement spatial et d'indexation multiaxiale, par exemple sous la forme d'un cube en un matériau plastique et renfermant des tiges opaques aux rayons X (par exemple en un matériau métallique), rapportée préférentiellement au niveau de l'embase 3 ou le cas échéant au niveau de la plateforme 2.

De telles pièces de référencement 24 sont par exemple décrites par R.A. Bronn et al., dans "Stereotactic frame and computer software for CT-directed neurosurgical localisation" (Cadre stéréotactique et logiciel pour localisation neurochirurgicale dirigée par scanographe tomographique assisté par ordinateur), Invest. Radiol., vol. 15, pages 308-312, 1980.

En relation avec une application particulièrement avantageuse de l'invention, la plateforme 2 comporte un ou plusieurs sites 2' de montage et de fixation d'un dispositif 23 de maintien et de déplacement axial et d'enfoncement contrôlé d'une aiguille ou d'un objet allongé analogue et/ou d'un dispositif de production d'un jet ou d'un faisceau rectiligne, tel que par exemple un laser, et l'embase 3 présente une forme sensiblement annulaire avec une ouverture centrale 3' située sous la plateforme 2 et des prolongements latéraux 3" formant des pattes ou un cadre d'appui.

Ces sites de montage et de fixation 2' pourront par exemple consister en des plots d'indexation, des découpes de logement, des perforations de passage de vis ou analogues et/ou des configurations surfaciques de forme complémentaire à celle du dispositif 23 à monter et à fixer.

Un tel dispositif 23 de maintien et de déplacement contrôlé, par exemple d'une aiguille, est notamment décrit et représenté dans la demande de brevet français n° 05 02016 du 28 février 2005.

Les prolongements latéraux 3" pourront, par exemple, s'étendre vers l'extérieur, à partir du corps annulaire central de l'embase 3, au niveau des trois points d'ancrage articulés des trois structures de jambes 4, 5 et 6. Une patte 3" ou une partie du cadre d'appui pourra en outre comporter un logement de réception calée pour la pièce de référencement et d'indexation 24.

Selon une variante de réalisation représentée sur la figure 20, et pour permettre une application intime et un assujettissement sûr et calé du dispositif robotique 1 sur le tronc ou l'abdomen d'un patient, l'embase 3 peut être pourvue de moyens 20 de passage et/ou de réception calée, tels que des fentes, des rainures ou analogues, pour des bandes ou sangles de fixation

- 14 -

(non représentées), permettant un positionnement avec solidarisation du dispositif 1 sur le tronc ou l'abdomen d'un sujet humain ou animal, vivant ou non. Préférentiellement, des fentes 20 sont alors ménagées dans les pattes d'appui 3" opposées prolongeant latéralement l'embase 3 au niveau
5 des parties inférieures des deux premières structures de jambes 4 et 5 opposées.

Dans le cadre d'applications du dispositif 1 requérant des conditions de stérilité et d'asepsie de niveau élevé, tel qu'en milieu chirurgical, il est impératif que le dispositif 1 dans son intégralité réponde
10 aux critères requis.

Une première solution peut consister à soumettre, systématiquement, entre deux utilisations consécutives, l'ensemble du dispositif 1 à un traitement stérilisant. Cette solution accélère toutefois le vieillissement des différents éléments constitutifs, en particulier des
15 articulations et des actionneurs.

Une seconde solution peut consister à entourer le dispositif 1 dans sa totalité (inclusivement le cas échéant le dispositif 23 de maintien et de déplacement d'aiguille) dans une enveloppe étanche maintenant un environnement stérile autour dudit dispositif. Néanmoins une telle solution
20 n'autorise pas une application intime, ni une solidarisation aisée dudit dispositif sur le corps d'un patient, par exemple.

Une troisième solution peut consister à décomposer le dispositif 1 en une première partie à usage unique et à faible coût de revient (en contact avec le patient 29) et une seconde partie réutilisable et entourée
25 d'une enveloppe fournissant un milieu stérile.

En accord avec cette troisième solution, l'embase 3 peut être formée de deux parties assemblées de manière amovible avec indexation en rotation autour de son ouverture centrale 3', à savoir une première partie 27 en forme d'anneau reliée aux structures de jambes 4, 5, 6 et une seconde
30 partie 27' délimitant l'ouverture centrale 3', intégrant les prolongements latéraux 3" et comportant, autour de ladite ouverture 3', une rainure circulaire 27" pour la réception de la première partie 27 annulaire (la seconde partie 27' constitue alors une pièce à usage unique).

Afin de pouvoir fournir un positionnement stable et un contact
35 intime entre l'embase 3 et le corps sur lequel repose le dispositif 1, ladite embase 3, le cas échéant sa seconde partie constitutive 27', est pourvue sur sa face destinée à reposer sur un corps support 29, notamment un patient

- 15 -

humain, un rembourrage 28 ou un revêtement équivalent s'adaptant au relief dudit corps support en épousant sa forme, cette forme complémentaire étant éventuellement figée après adaptation.

Comme le montrent les figures 5 et 19, le rembourrage 28 peut
5 par exemple consister en une enveloppe annulaire souple, fixée sous la partie 27' de l'embase 3, remplie de billes de polystyrène et pouvant être déformée par aspiration (création de vide) pour prendre une configuration figée correspondant à celle de la surface d'appui (peau du patient).

La présente invention concerne également, comme le montre
10 schématiquement la figure 21 des dessins annexés, un appareil porte-aiguille, pour le positionnement et l'enfoncement contrôlé d'une aiguille dans un sujet vivant disposé dans un appareil d'imagerie médicale 22, en particulier dans un volume d'observation cylindrique d'un scanographe à rayons X.

Cet appareil est caractérisé en ce qu'il est constitué par un
15 dispositif robotique 1 tel que décrit ci-dessus et par un dispositif 23 de maintien avec possibilité de déplacement axial contrôlé, en translation et éventuellement en rotation, d'une aiguille d'injection ou de prélèvement, ledit dispositif 23 de maintien et de déplacement d'aiguille étant équipé d'au
20 moins un capteur de force agissant en direction axiale et étant monté rigidement et de manière indexée sur la plateforme 2 du dispositif robotique 1.

Le dispositif 23 est monté et fixé sur le dispositif robotique 1 au
niveau de la plateforme 2 et cette dernière comporte à cet effet des sites 2'
25 d'indexation, de positionnement calé et de solidarisation adaptés, le contact entre les deux dispositifs 1 et 23 étant préférentiellement de nature surfacique.

Ces deux dispositifs sont pilotés par une unité informatique de
commande et de contrôle 21, en corrélation avec des prises de vue
30 enregistrées et/ou prises en temps réel par un appareil d'imagerie médicale 22 et en coopération éventuellement avec un serveur et des moyens d'amplification.

L'unité de pilotage 21 et ses moyens de visualisation sont situés
à distance de l'appareil d'imagerie 22, préférentiellement derrière un écran
35 de protection.

Un tel appareil est décrit plus en détail dans les deux publications suivantes :

- 16 -

- "Needle tip positioning on the abdomen with a novel stereotaxic robotic assistant", B. Maurin et al., Computer-Aided Medical Interventions: tools and applications, Conference SURGETICA, Chambéry, France, janvier 2005.

5 - "A parallel robotic system with force sensors for percutaneous procedures under CT-guidance" (Système robotique parallèle avec des capteurs de force pour des procédures percutanées sous guidage CT), Benjamin Maurin et al., Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2004, pages 176-183, Saint-Malo, France, octobre
10 2004.

Les contenus de ces deux publications sont intégrés en totalité dans la présente description par référence.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits et représentés aux dessins annexés. Des modifications
15 restent possibles, notamment du point de vue de la constitution des divers éléments ou par substitution d'équivalents techniques, sans sortir pour autant du domaine de protection de l'invention.

REVENDICATIONS

1) Dispositif robotique de positionnement et d'orientation d'une plateforme, d'un élément support similaire ou analogue, pourvue d'un repère $(0_f, x_f, y_f, z_f)$ et mobile par rapport à une embase d'appui pourvue d'un repère $(0_0, x_0, y_0, z_0)$, la plateforme étant située à distance, 5 préférentiellement au-dessus, de l'embase et reliée à cette dernière par des première, deuxième et troisième structures de jambes articulées formant trois liaisons mécaniques en parallèle, dont chacune consiste en une série de segments ou de portions de jambe relié(e)s entre eux, deux par deux, par des articulations présentant chacune au moins un axe de pivotement, 10 portions extrémales opposées de chacune des trois structures de jambes étant en outre reliées par des articulations à au moins un axe de pivotement avec la plateforme et avec l'embase en des points de liaison déterminés, dispositif (1) caractérisé

en ce que les axes de pivotement respectifs des articulations à pivot $(8', 11' ; 8, 11)$ des première et deuxième structures de jambes (4 et 5) 15 avec la plateforme (2), d'une part, et l'embase (3), d'autre part, sont confondus de manière à définir un premier axe de rotation commun (Δ_1) entre l'embase (3) et les deux structures de jambes opposées (4 et 5) et un second axe de rotation commun (Δ_2) entre ces dernières et la plateforme (2),

20 en ce que lesdits axes de pivotement communs $(\Delta_1$ et $\Delta_2)$ sont coplanaires dans un plan (P),

en ce que les axes de pivotement $(X_1 ; X_2)$ des articulations à pivot $(7, 7', 7''$ ou $7, 7'' ; 10, 10', 10''$ ou $10, 10'')$ reliant les segments de jambe $(9, 9', 9'', 9'''$ ou $9, 24, 9''' ; 12, 12', 12'', 12'''$ ou $12, 25, 12''')$ de ces 25 deux structures de jambes (4 ; 5) sont tous parallèles entre eux et perpendiculaires à un plan donné (P'),

en ce que les deux plans précités (P) et (P') ne sont pas mutuellement perpendiculaires,

30 en ce que la troisième structure de jambe articulée (6) est reliée, de manière articulée, d'une part, à la plateforme (2) en un point de liaison (6') non aligné avec les points de liaison (4', 5') des deux autres structures de jambes (4 et 5) avec ladite plateforme (2) et, d'autre part, à l'embase (3) en un point de liaison (6'') non aligné avec les points de liaison (4'', 5'') des deux autres structures de jambes (4 et 5) avec ladite embase (3),

- 18 -

les liaisons articulées parallèles fournies par ces trois structures de jambes (4, 5 et 6) autorisant une détermination contrôlée de la position de l'origine (O_f) du repère (O_f, x_f, y_f, z_f) attaché à la plateforme (2) et de l'orientation de ce dernier repère par rapport au repère (O_o, x_o, y_o, z_o) attaché à l'embase (3), ce en fournissant au moins cinq degrés de liberté.

2) Dispositif robotique selon la revendication 1, caractérisé en ce que chacune des première et deuxième structures de jambes (4 et 5) est composée, en l'observant dans son extension de l'embase (3) vers la plateforme (2), de quatre segments de jambe (9, 9', 9'', 9''' ; 12, 12', 12'', 12''') assemblés en série, successivement du premier au quatrième, et reliés entre eux, deux à deux, par trois articulations (7, 7', 7'' ; 10, 10', 10'') à pivotement autour d'axes ($X_1 ; X_2$) perpendiculaires au plan (P').

3) Dispositif robotique selon la revendication 1, caractérisé en ce que chacune des première et deuxième structures de jambes (4 et 5) est composée, en l'observant dans son extension de l'embase (3) vers la plateforme (2), de trois segments de jambe (9, 24, 9''' ; 12, 25, 12''') assemblés en série, successivement du premier au troisième, et reliés entre eux, deux à deux, par deux articulations (7, 7'' ; 10, 10'') à pivotement autour d'axes ($X_1 ; X_2$) perpendiculaires au plan (P') et en ce que les segments de jambe (24 et 25) consistent en des segments de type télescopique.

4) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 2 et 3, caractérisé en ce que les plans (P et P') sont confondus.

5) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les première et deuxième structures de jambes (4 et 5) constituent des structures de jambes opposées et symétriques, avec des articulations à pivot (7, 7', 7'' ou 7, 7'' ; 10, 10', 10'' ou 10, 10'') localisées respectivement de manière symétrique et des segments de jambe (9, 9', 9'', 9''' ou 9, 24, 9''' ; 12, 12', 12'', 12''' ou 12, 25, 12''') de formes respectivement identiques, les axes longitudinaux de tous les segments de jambe précités, ou au moins les axes des liaisons mécaniques droites respectivement fournies par ces derniers, étant situés dans le plan (P) et/ou le plan (P'), ou encore dans un plan parallèle à l'un de ces deux plans.

6) Dispositif robotique selon la revendication 2 ou l'une quelconque des revendications 4 et 5, pour autant qu'elle se rattache à la

- 19 -

revendication 2, caractérisé en ce qu'une première (4) des deux structures de jambes opposées (4, 5) comporte deux articulations à pivotement (7' et 7'') à mouvements commandés et contrôlés, préférentiellement l'articulation (7') reliant les deuxième et troisième segments (9' et 9'') d'une part et l'articulation (7'') reliant les troisième et quatrième segments (9'' et 9''') d'autre part, et en ce que la seconde (5) des deux structures de jambes opposées (4 et 5) comporte une unique articulation (10') à pivotement à mouvement contrôlé et commandé, préférentiellement l'articulation (10') reliant les deuxième et troisième segments (12' et 12'').

7) Dispositif robotique selon la revendication 3 ou l'une quelconque des revendications 4 et 5, pour autant qu'elle se rattache à la revendication 3, caractérisé en ce que les deux segments télescopiques (24 et 25) sont réglables en longueur de manière contrôlée, et en ce que l'une des articulations à pivotement (7, 7'' ; 12, 12'') de l'une des première et deuxième structures de jambe (4 ; 5) est commandé et contrôlé en mouvement.

8) Dispositif robotique selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que les deux liaisons mécaniques et cinématiques parallèles formées par les première et deuxième structures de jambes opposées (4 et 5) reliant l'embase (3) à la plateforme (2) comprennent trois paramètres contrôlés, à savoir, d'une part, au niveau de la première (4) des deux structures de jambes (4 et 5), la distance (l_1) entre l'axe (X_1) de l'articulation à pivotement (7) reliant le premier et le deuxième segments de jambe (9 et 9') et l'axe (X_1) de l'articulation à pivotement (7'') reliant le troisième et le quatrième segments de jambe (9'' et 9'''), et, l'angle (α) entre le segment de droite reliant les deux articulations (7 et 7'') précitées et définissant la longueur (l_1) et le segment de droite (SD) reliant la dernière (7'') des articulations précitées de la première structure de jambe (4) à l'articulation correspondante (10'') de la seconde structure de jambe (5), et, d'autre part, au niveau de la seconde (5) des deux structures de jambes (4 et 5), la distance (l_2) entre l'axe (X_2) de l'articulation (10) reliant le premier et le deuxième segments de jambe (12 et 12') et l'axe (X_2) de l'articulation (10'') reliant le troisième et le quatrième segments de jambe (12'' et 12''').

9) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le point de liaison (6') de la troisième structure de jambe (6) avec la plateforme (2) est situé en dehors du plan médian (O_f, x_f, z_f) des deux autres points de liaison (4' et 5') de

- 20 -

ladite plateforme (2), perpendiculaire à l'axe de rotation (Δ_2), et en ce que le point de liaison (6'') de la troisième structure de jambe (6) avec l'embase (3) est situé en dehors du plan médian (O_o, x_o, z_o) des deux autres points de liaison (4'' et 5'') de ladite plateforme (2), perpendiculaire à l'axe de rotation (Δ_1).

10 10) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la troisième structure de jambe (6) est composée, en l'observant dans son extension de l'embase (3) vers la plateforme (2), de trois segments de jambe (15, 15', 15'') assemblés en série successivement du premier au troisième, et reliés entre eux, deux à deux, par deux articulations à pivotement (13 et 13') autour d'axes (X_3) parallèles entre eux.

15 11) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la troisième structure de jambe (6) est composée, en l'observant dans son extension de l'embase (3) vers la plateforme (2), de deux segments de jambe (26, 15'') assemblés entre eux par une articulation à pivotement (13') autour d'un axe (X_3) et en ce que l'un (26) des deux segments de jambe (26, 15'') est de type télescopique.

20 12) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 10 et 11, caractérisé en ce que les axes longitudinaux des segments de jambe (15, 15', 15'' ou 26, 15''), ou au moins les axes des liaisons mécaniques droites respectivement fournies par ces derniers, sont situés dans un ou des plan(s) perpendiculaire(s) à l'axe ou aux axes de pivotement (X_3).

25 13) Dispositif robotique selon la revendication 6, caractérisé en ce que les segments de jambe extrémaux opposés (15 et 15'') de la troisième structure de jambe (6) sont, chacun, reliés par une articulation libre (14, 14') respectivement à l'embase (3) et à la plateforme (2), et en ce que l'articulation (14) reliant le premier segment (15) à l'embase (3) est du type rotule et en ce que l'articulation (14') reliant le troisième segment (15'') à la plateforme (2) est du type à pivotement autour d'un axe perpendiculaire à l'axe de pivotement (Δ_2).

35 14) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, caractérisé en ce que la liaison mécanique et cinématique formée par la troisième structure de jambe (6) comprend deux paramètres contrôlés, à savoir, la distance (l_3) entre le centre de l'articulation libre à rotule (14) et l'axe (X_3) de l'articulation à pivotement

- 21 -

(13') reliant le premier et le second segments de jambe (26, 15") ou le deuxième et le troisième segments de jambe (15' et 15") et l'angle (β) entre le segment de droite reliant les deux articulations (14 et 13') précédentes et définissant la distance (l_3) et un segment de droite (SD') contenu dans le plan contenant ledit segment de droite définissant la distance (l_3) et parallèle au(x) plan(s) contenant les axes longitudinaux des segments de jambe (15, 15', 15" ou 26, 15") et/ou des liaisons mécaniques correspondantes et reliant l'axe (X_3) de l'articulation à pivotement (13') précitée au segment de droite (SD) reliant les articulations à pivotement (7" et 10") des première et deuxième structures de jambe (4 et 5).

15) Dispositif robotique selon la revendication 10 et la revendication 14, caractérisé en ce que les deux articulations à pivotement (13 et 13') sont toutes deux commandées et contrôlées en mouvement.

16) Dispositif robotique selon la revendication 11 et la revendication 14, caractérisé en ce que l'articulation à pivotement (13') est commandée et contrôlée en mouvement et en ce que le segment de jambe télescopique (26) est réglable en longueur de manière contrôlée.

17) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 13 et 14, caractérisé en ce que l'articulation (14) du type rotule est constituée par l'association juxtaposée de trois articulations à pivotement ou à rotation (16, 16', 16") comportant des axes de rotation ou de pivotement concourants.

18) Dispositif robotique selon la revendication 6 et /ou la revendication 15, caractérisé en ce que les actionneurs (17, 17' ; 18 ; 19, 19') commandant et contrôlant les mouvements respectivement des articulations (7', 7" ; 10' ; 13, 13') commandées et contrôlées en mouvement des trois structures de jambes (4, 5 et 6) consistent en des ensembles moteurs piézoélectriques ou à ultrasons.

19) Dispositif robotique selon les revendications 7 et 16, caractérisé en ce que les segments de jambe télescopiques (24, 25, 26) consistent en des vérins électriques ou piézo-électriques et en ce que les articulations à pivotement à mouvement commandé et contrôlé (7", 13') consistent en des ensembles moteurs piézoélectriques ou à ultrasons (17', 19').

20) Dispositif robotique selon la revendication 18 ou la revendication 19, caractérisé en ce que chacun des ensembles moteurs (17, 17', 18, 19, 19') comprend un moteur ultrasonique ou piézoélectrique

- 22 -

associé à un réducteur, préférentiellement à excitation harmonique, et à un codeur incrémental, chacun de ces ensembles étant monté dans un carter correspondant et piloté en accord avec les autres ensembles par une unité centrale de commande et de contrôle, telle qu'une unité informatique programmable, qui recueille les données délivrées par les différents codeurs.

21) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 1 à 20, caractérisé en ce que les segments de jambes (9, 9', 9", 9"', 12, 12', 12", 12"', 15, 15', 15", 24, 25, 26), ainsi que la plateforme (2) et l'embase (3), sont réalisés en un matériau rigide et compatible avec les procédés d'imagerie médicale, notamment du type à rayons X, tel que par exemple un polyamide chargé en fibres de verre, et en ce que les articulations à pivotement (7, 7', 7", 8, 8', 10, 10', 10", 11, 11', 13, 13') des trois structures de jambes (4, 5, 6) consistent en des paliers cylindriques ou annulaires.

22) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 1 à 21, caractérisé en ce qu'il comporte au moins une pièce (1') de référencement spatial et d'indexation multiaxiale, par exemple sous la forme d'un cube en un matériau plastique et renfermant des tiges opaques aux rayons X, rapportée préférentiellement au niveau de l'embase (3).

23) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 1 à 22, caractérisé en ce que la plateforme (2) comporte un ou plusieurs sites (2') de montage et de fixation d'un dispositif (23) de maintien et de déplacement axial et d'enfoncement contrôlé d'une aiguille ou d'un objet allongé analogue et/ou d'un dispositif de production d'un jet ou d'un faisceau rectiligne, tel que par exemple un laser, et en ce que l'embase (3) présente une forme sensiblement annulaire avec une ouverture centrale (3') située sous la plateforme (2) et des prolongements latéraux (3'') formant des pattes ou un cadre d'appui.

24) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 1 à 23, caractérisé en ce que l'embase (3) est pourvue de moyens (20) de passage et/ou de réception calée, tels que des fentes, des rainures ou analogues, pour des bandes ou sangles de fixation, permettant un positionnement avec solidarisation du dispositif (1) sur le tronc ou l'abdomen d'un sujet humain ou animal, vivant ou non.

25) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 1 à 24, caractérisé en ce que l'embase (3) est formée de deux

- 23 -

parties assemblées de manière amovible avec indexation en rotation autour de son ouverture centrale (3'), à savoir une première partie (27) en forme d'anneau reliée aux structures de jambes (4, 5, 6) et une seconde partie (27') délimitant l'ouverture centrale (3'), intégrant les prolongements latéraux (3'') et comportant, autour de ladite ouverture (3'), une rainure circulaire (27'') pour la réception de la première partie (27) annulaire.

26) Dispositif robotique selon l'une quelconque des revendications 1 à 25, caractérisé en ce que l'embase (3), le cas échéant sa seconde partie constitutive (27'), est pourvue sur sa face destinée à reposer sur un corps support (29), notamment un patient humain, un rembourrage (28) ou un revêtement équivalent s'adaptant au relief dudit corps support en épousant sa forme, cette forme complémentaire étant éventuellement figée après adaptation.

27) Appareil porte-aiguille, pour le positionnement et l'enfoncement contrôlé d'une aiguille dans un sujet vivant disposé dans un appareil d'imagerie médicale, en particulier dans un volume d'observation cylindrique d'un scanographe à rayons X, caractérisé en ce qu'il est constitué par un dispositif robotique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 26 et par un dispositif (23) de maintien avec possibilité de déplacement axial contrôlé, en translation et éventuellement en rotation, d'une aiguille d'injection ou de prélèvement, ledit dispositif de maintien étant équipé d'au moins un capteur de force agissant en direction axiale et étant monté rigidement sur la plateforme (2) du dispositif robotique, et en ce que ces deux dispositifs sont pilotés par une unité informatique de commande et de contrôle (21), en corrélation avec des prises de vue enregistrées et/ou prises en temps réel par un appareil d'imagerie médicale (22).

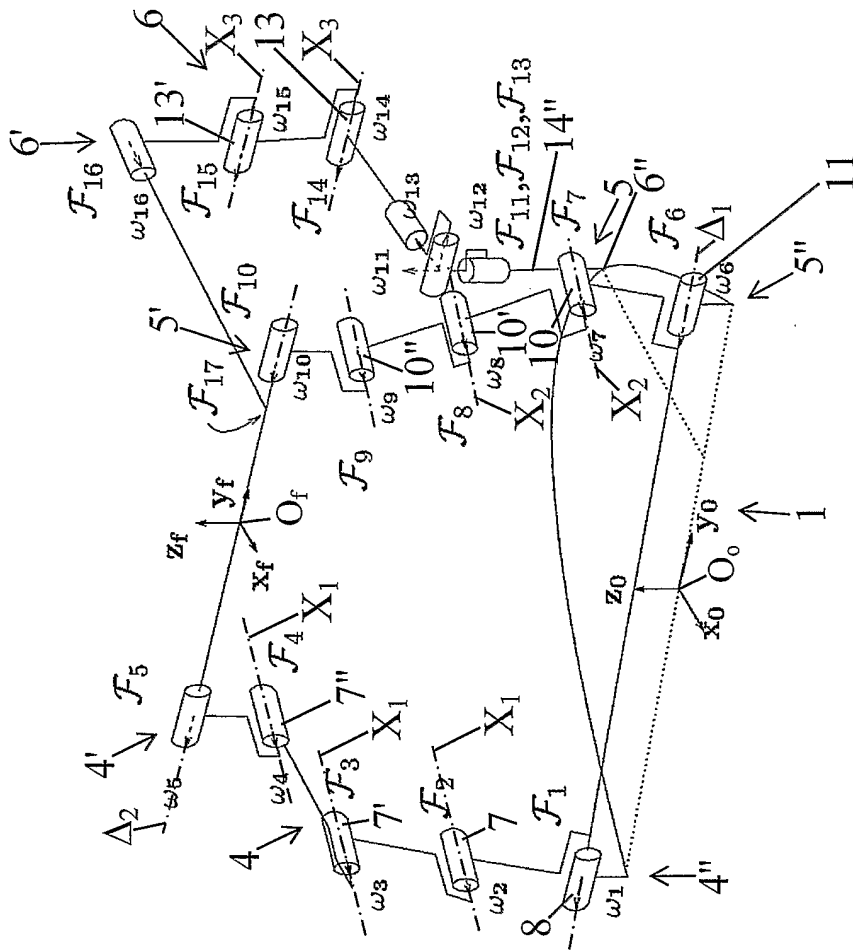


Fig. 2

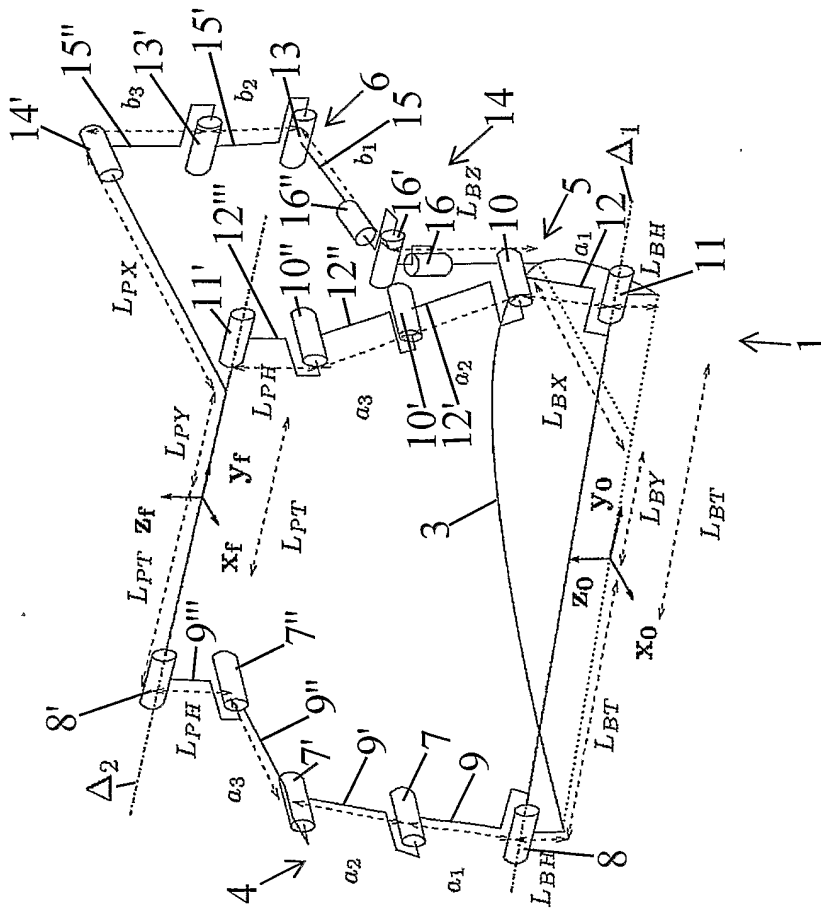


Fig. 1

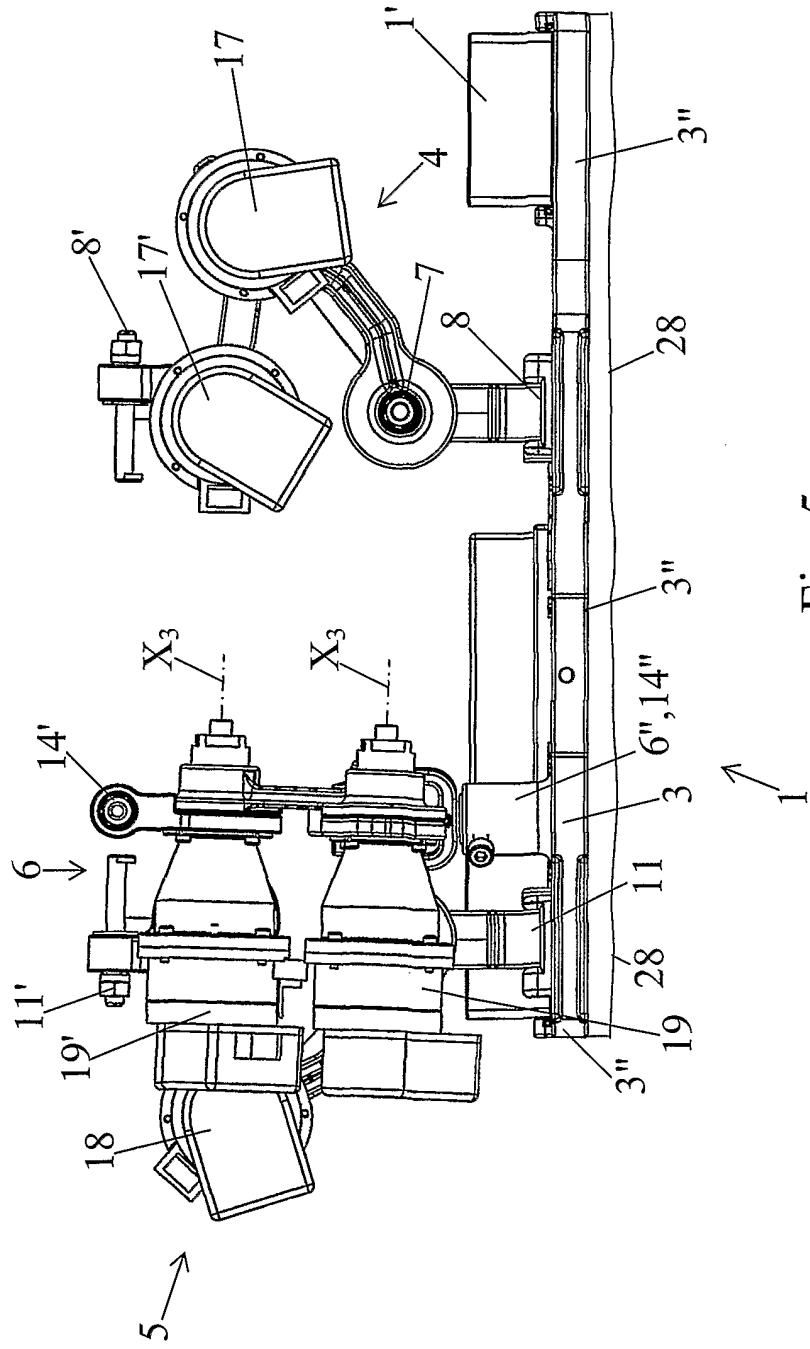


Fig. 5

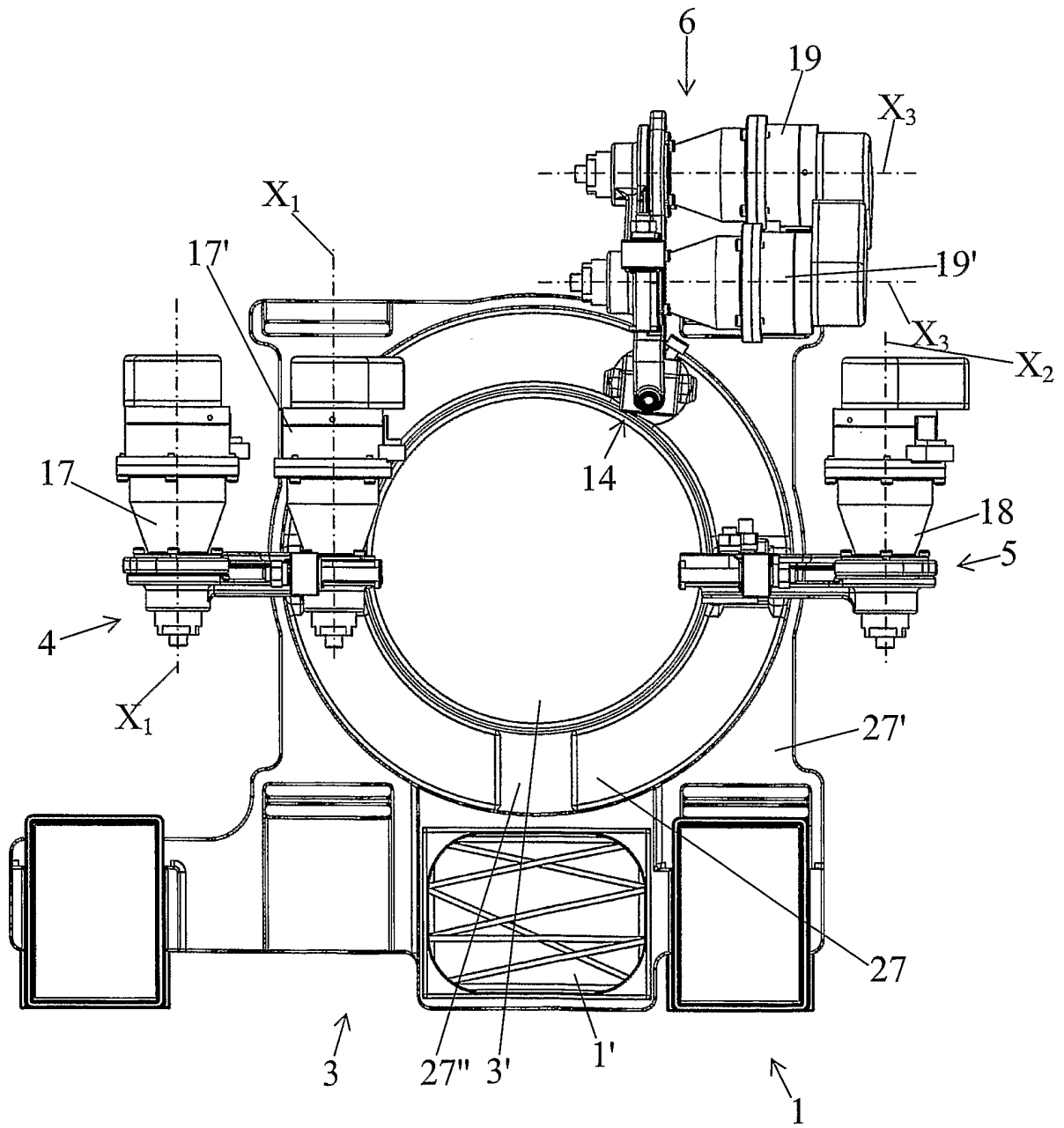


Fig. 6

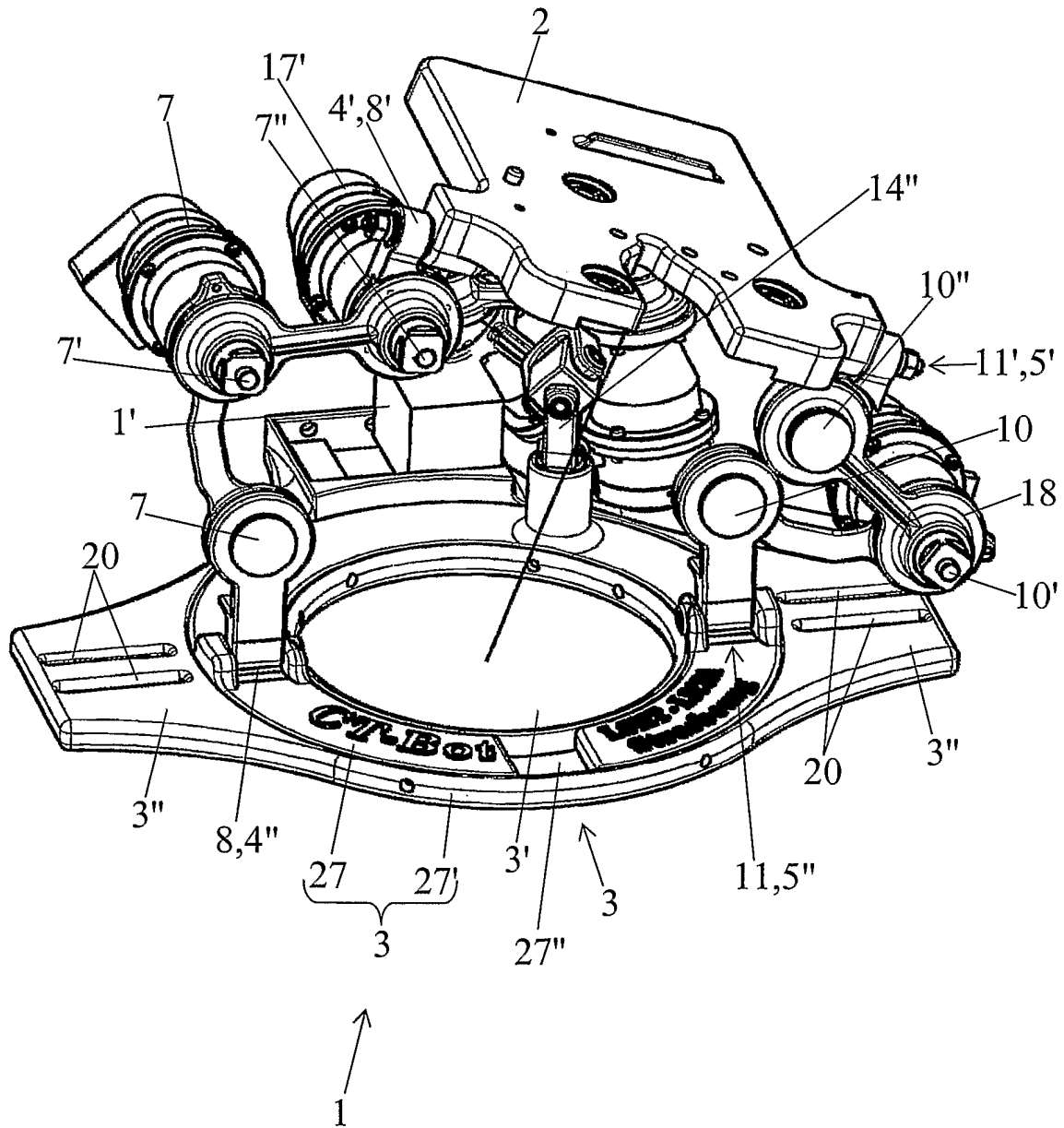


Fig. 7

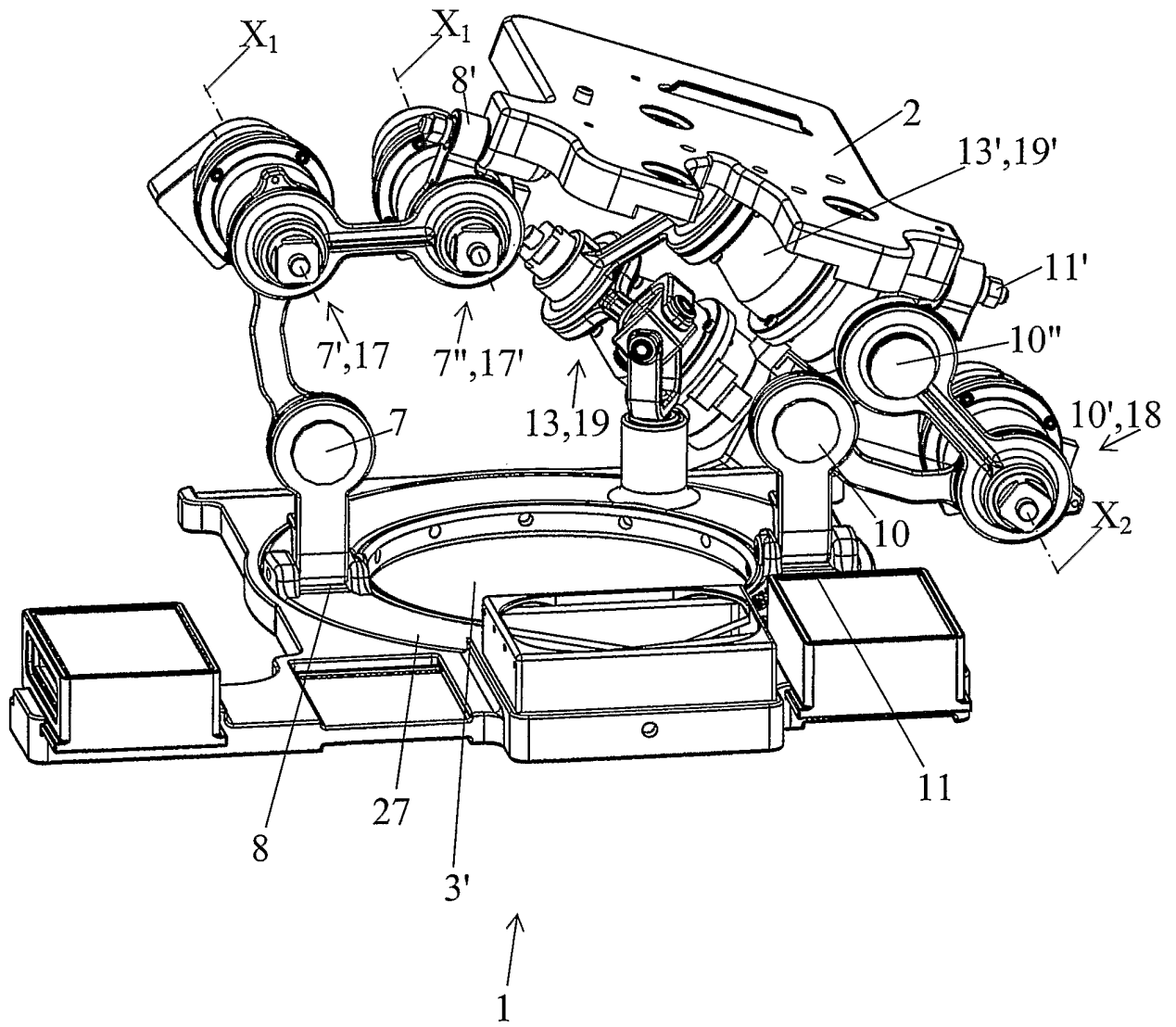


Fig. 9

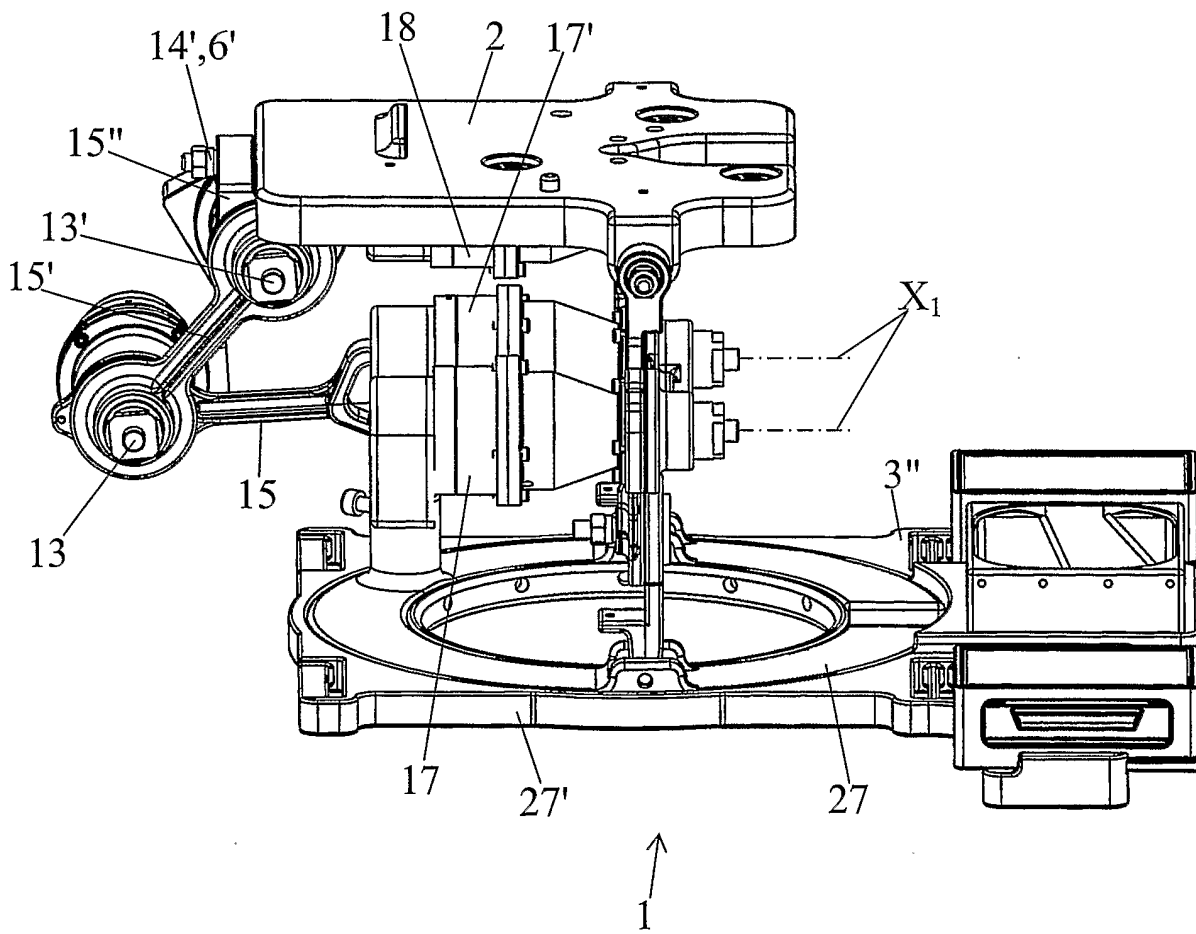


Fig. 10

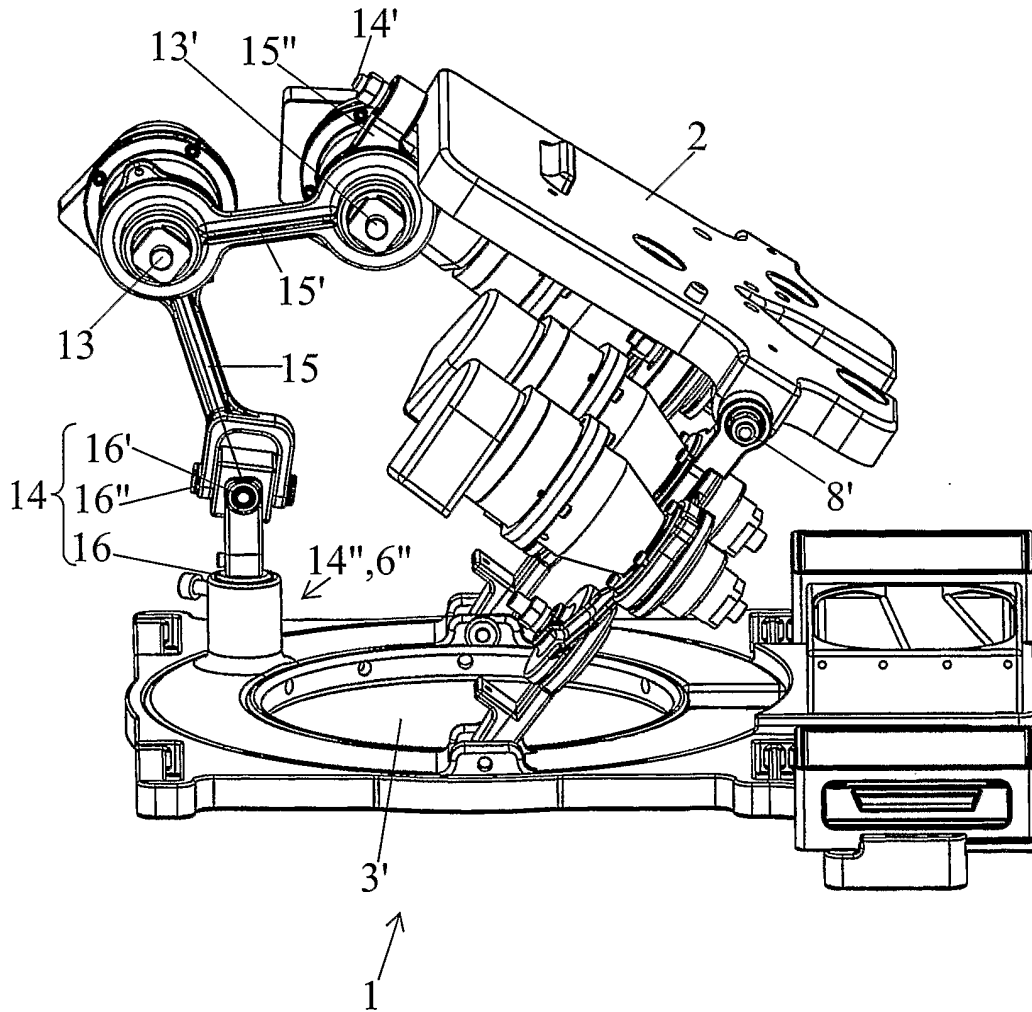


Fig. 11

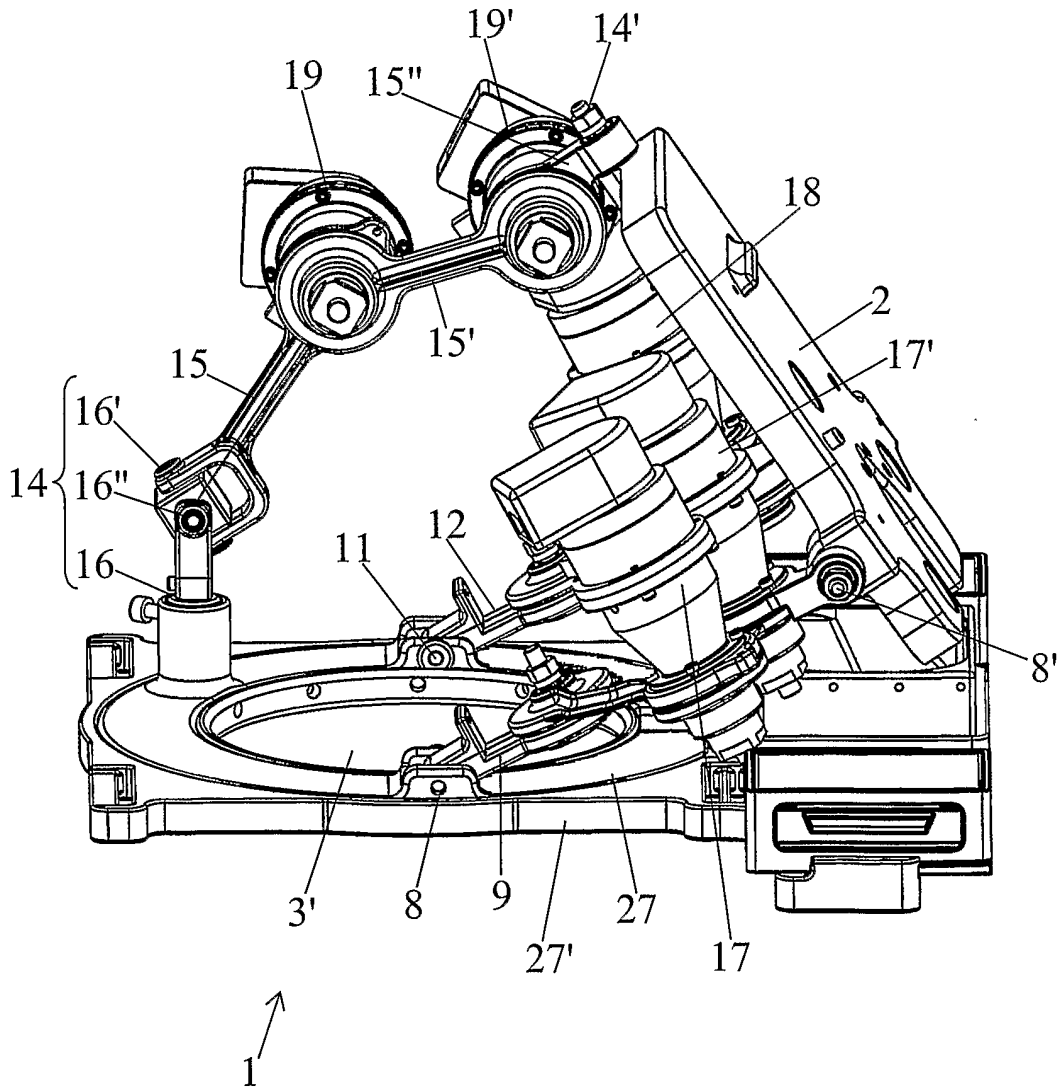


Fig. 12

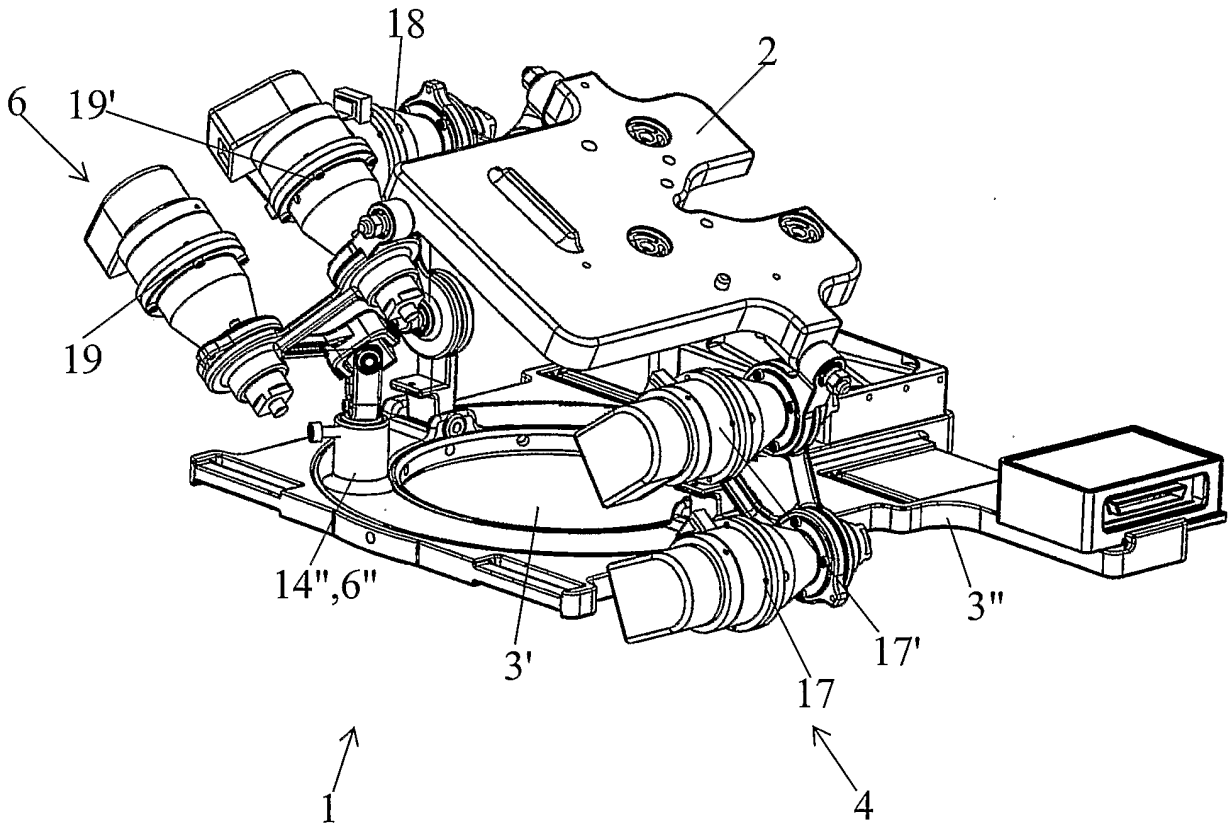


Fig. 13

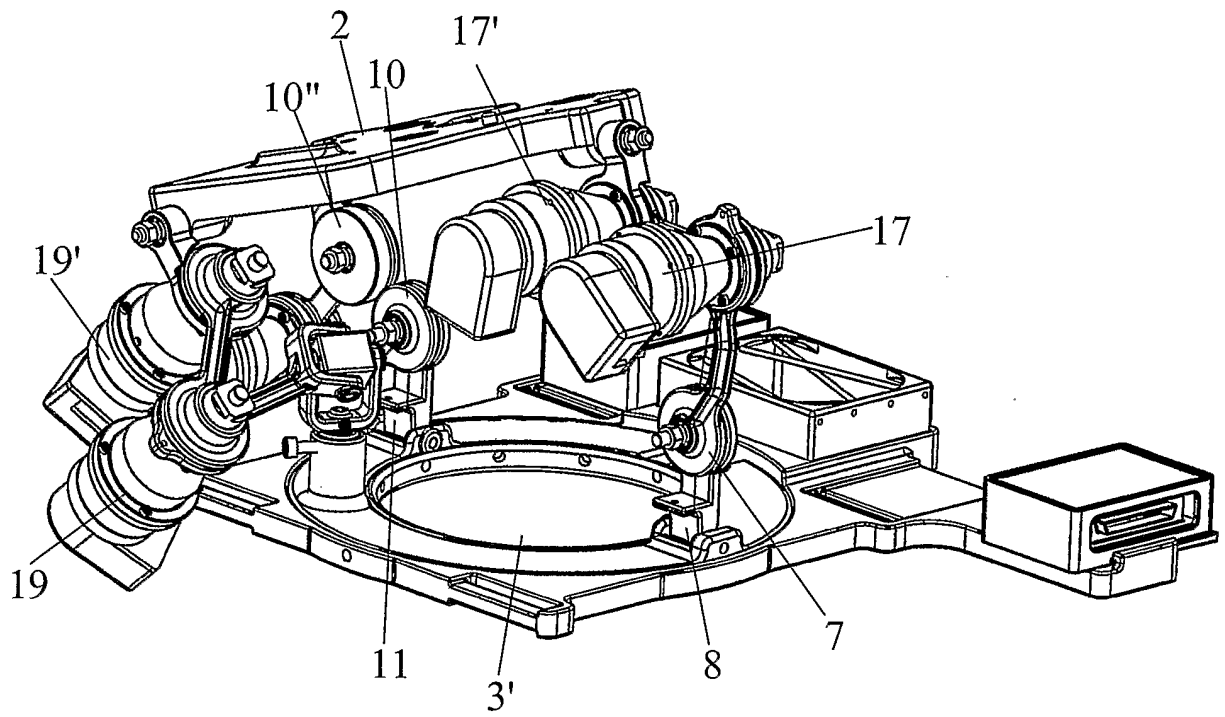


Fig. 14

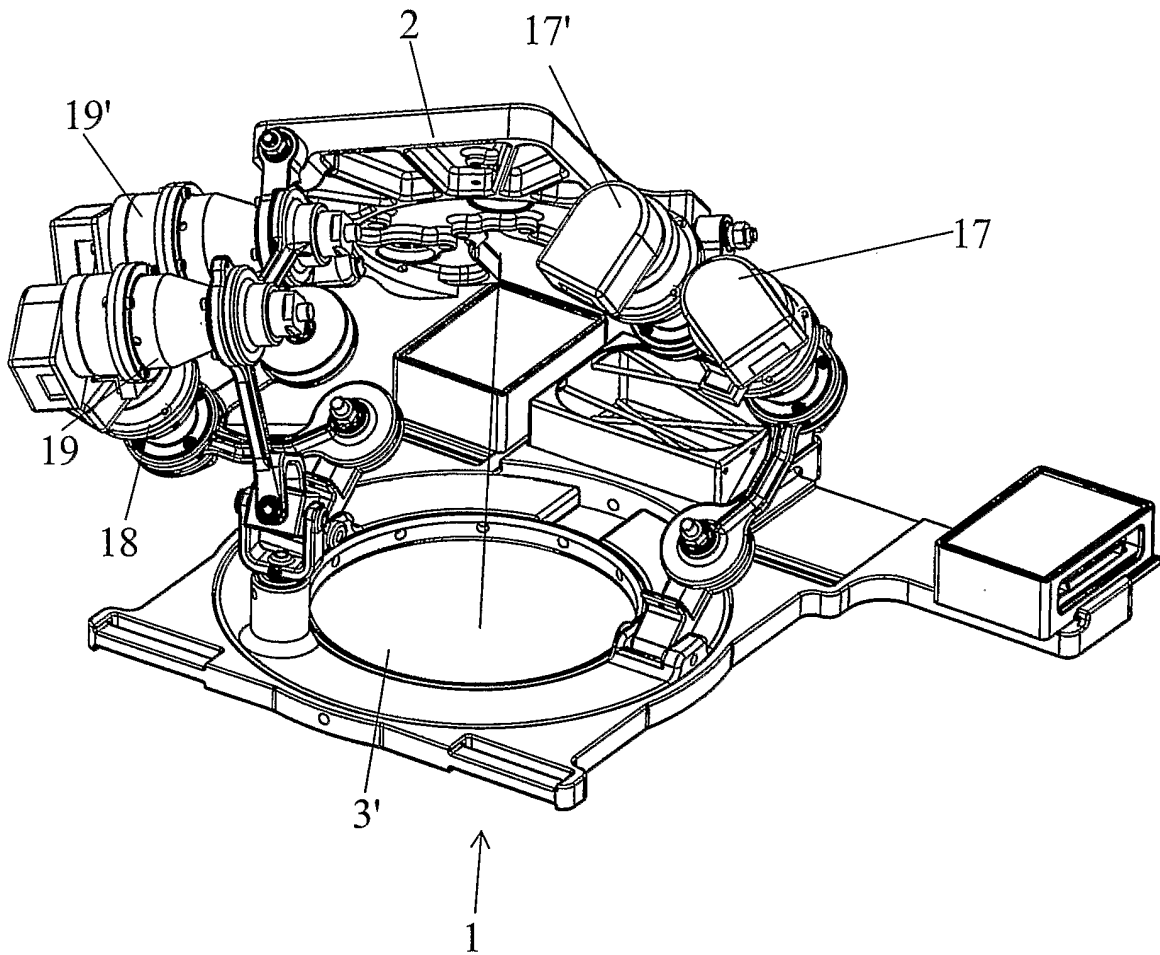


Fig. 15

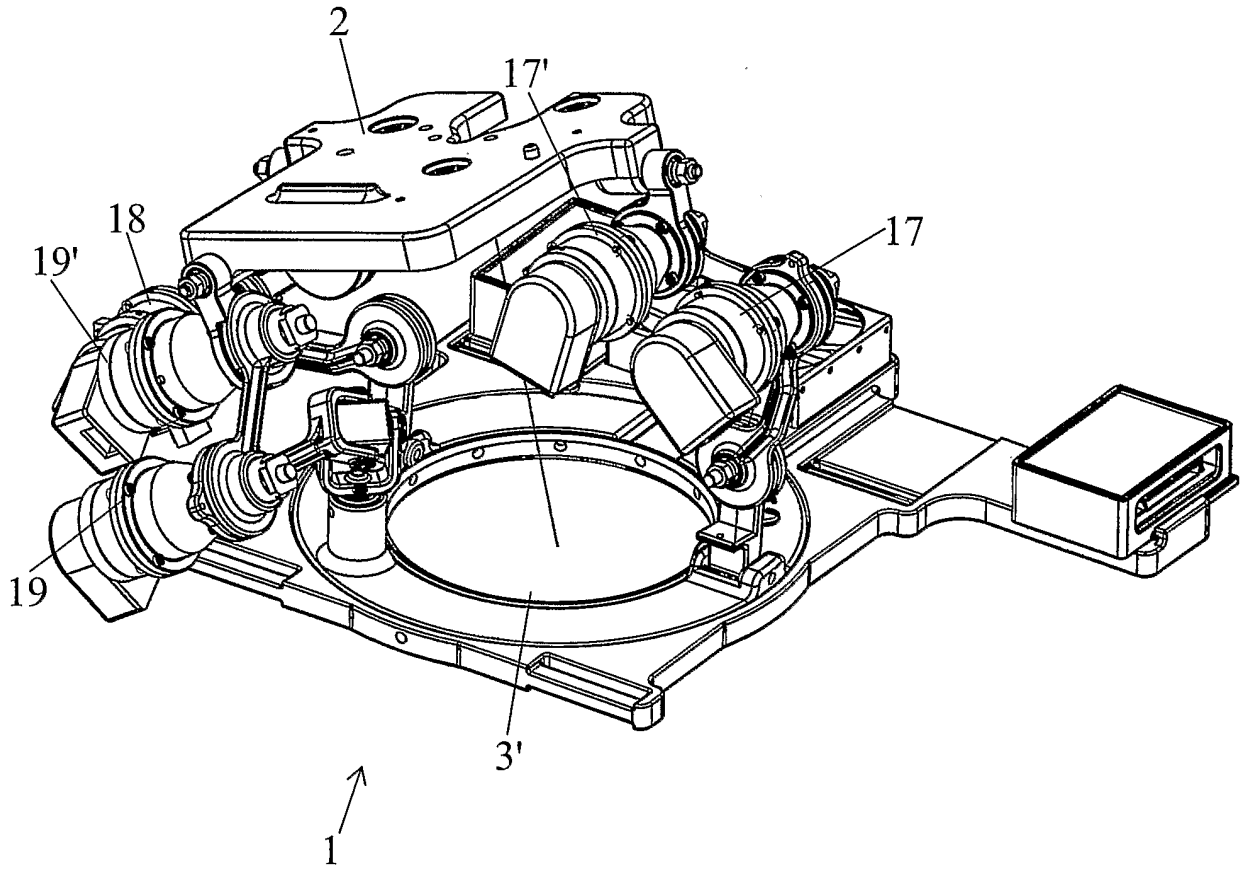


Fig. 16

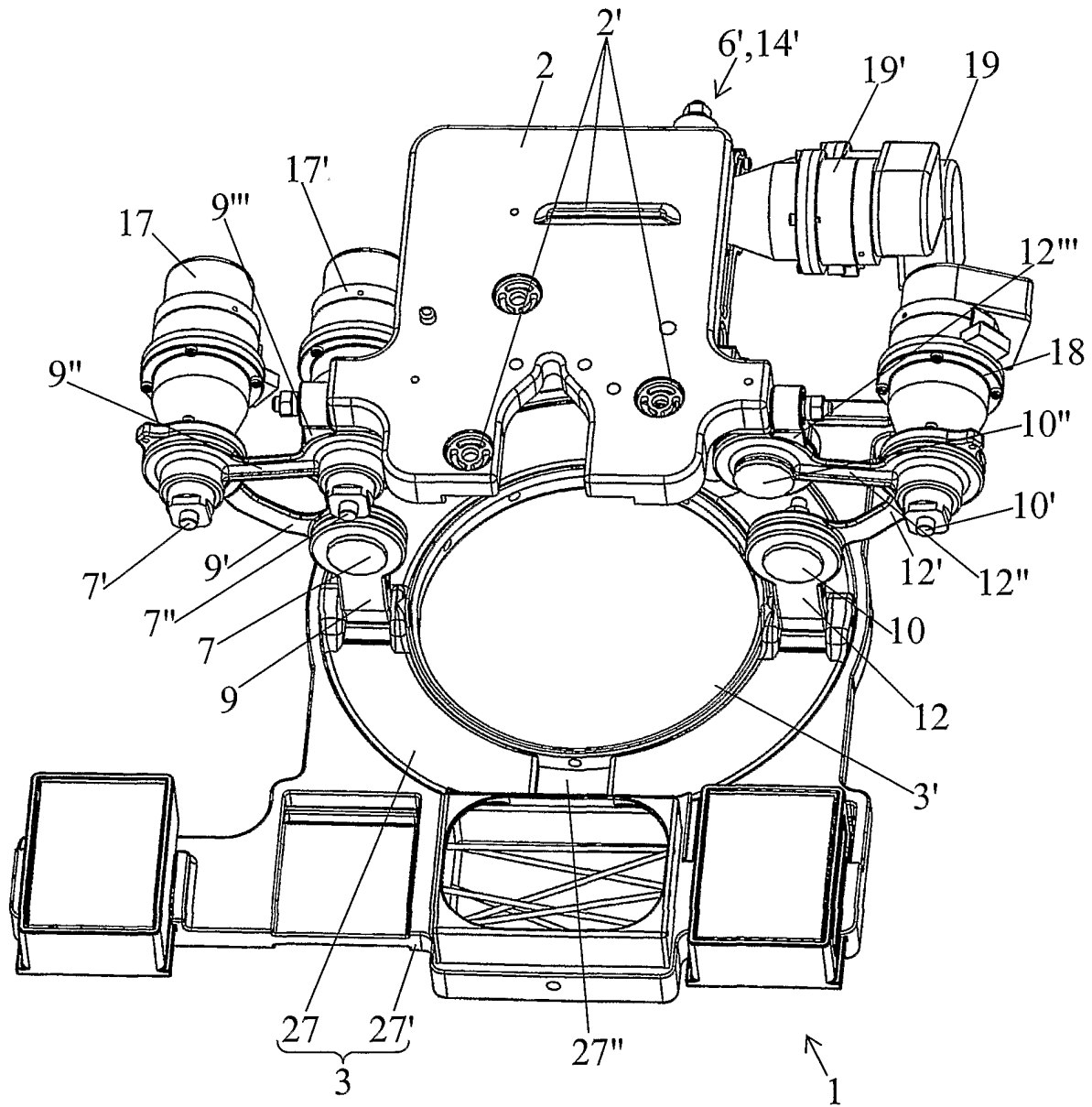


Fig. 17

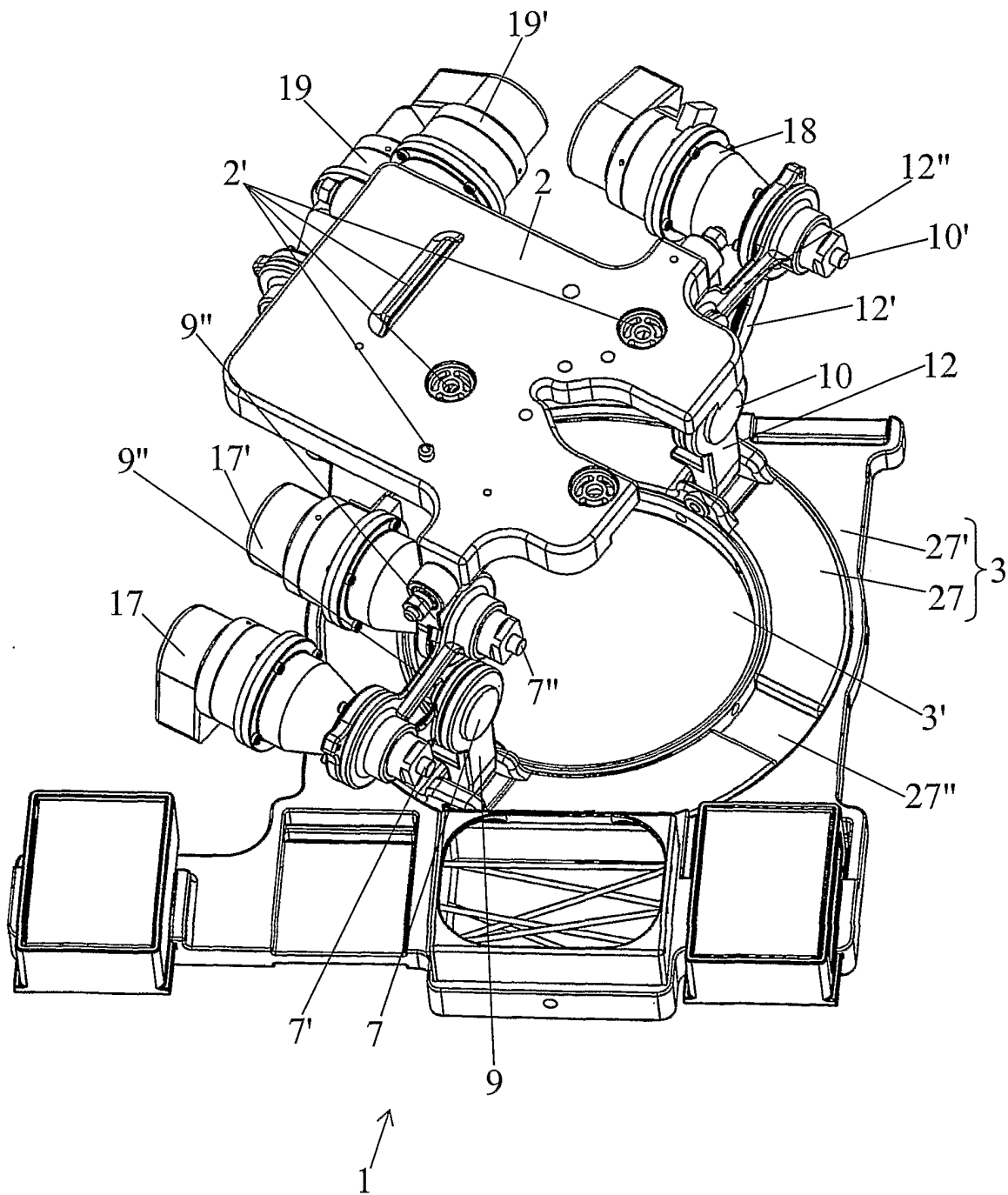


Fig. 18

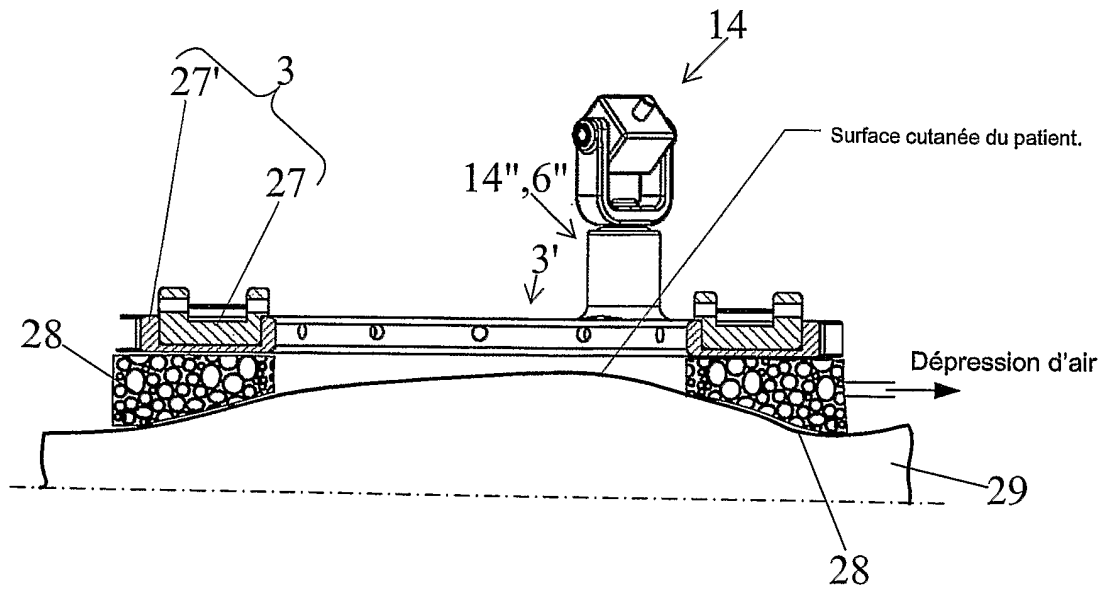


Fig. 19

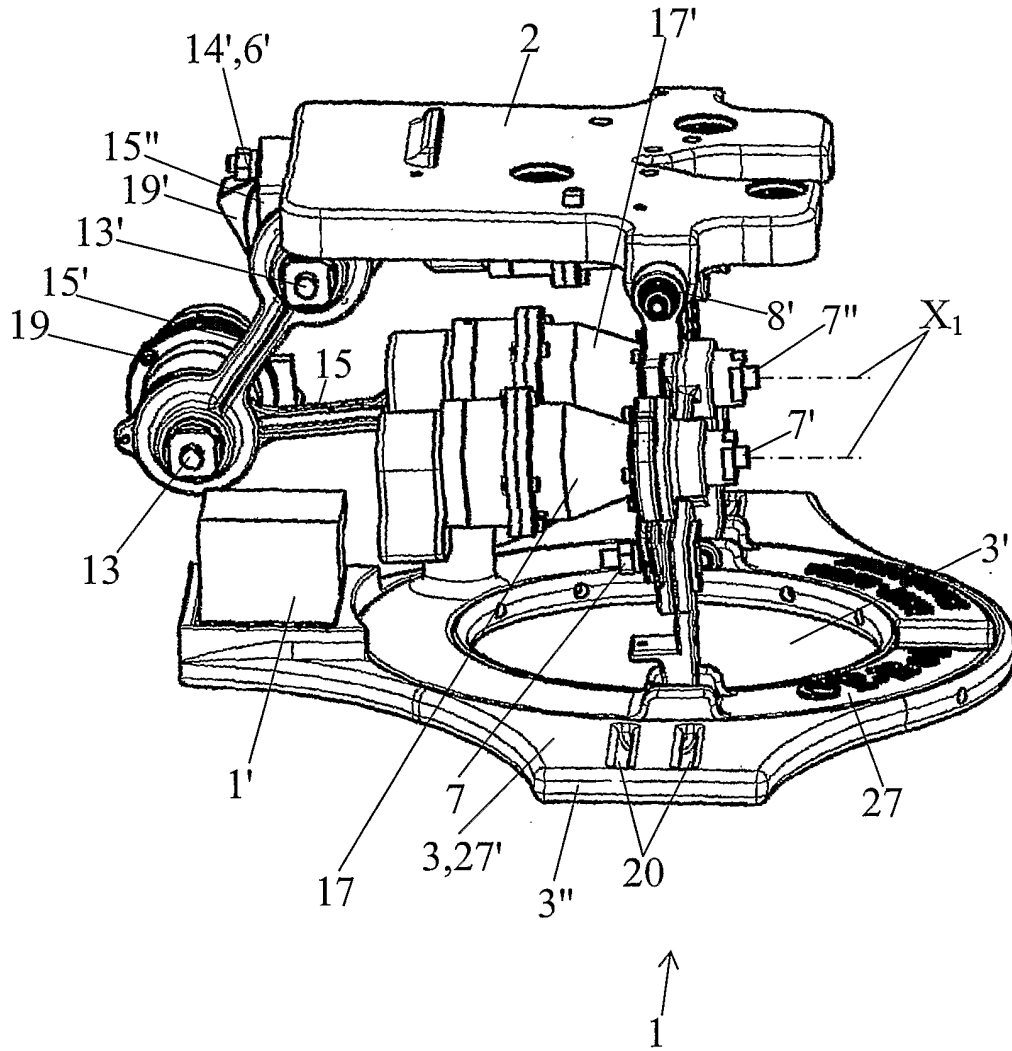


Fig. 20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2005/002357

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER A61B19/00 B25J17/02</p>		
<p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>		
<p>B. FIELDS SEARCHED</p>		
<p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B25J A61B</p>		
<p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched</p>		
<p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, COMPENDEX, WPI Data, INSPEC</p>		
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>B. MAURIN, O. PICCIN, B. BAYLE, J. GANGLOFF, M. DE MATHELIN, L. SOLER, A. GANGI: "A new robotic system for CT-guided percutaneous procedures with haptic feedback" INTERNATIONAL CONGRESS SERIES, CARS 2004 - COMPUTER ASSISTED RADIOLOGY AND SURGERY. PROCEEDINGS OF THE 18TH INTERNATIONAL CONGRESS AND EXHIBITION, vol. 1268, June 2004 (2004-06), pages 515-520, XP002364083 the whole document</p> <p style="text-align: center;">----- -/--</p>	1-27
<p><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.</p>		
<p>* Special categories of cited documents :</p>		
<p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>*&* document member of the same patent family</p>	
<p>Date of the actual completion of the international search 24 January 2006</p>	<p>Date of mailing of the international search report 08/02/2006</p>	
<p>Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016</p>	<p>Authorized officer Trachterna, M</p>	

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>SCHREIBER H ET AL: "Analyse et conception d'un manipulateur parallele spatial a cinq degres de liberte" MECH MACH THEORY; MECHANISM AND MACHINE THEORY JUNE 2003, vol. 38, no. 6, June 2003 (2003-06), pages 535-548, XP002364084 * Architecture mécanique du manipulateur p. 536-538 *</p>	1-20
A	<p>MAURIN B ET AL: "Pose reconstruction with an uncalibrated computed tomography imaging device" PROC IEEE COMPUT SOC CONF COMPUT VISION PATTERN RECOGNIT; PROCEEDINGS OF THE IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION 2003, vol. 1, 2003, pages I/455-I/460, XP002364085 abstract</p>	22
A	<p>US 6 116 844 A (HAYWARD ET AL) 12 September 2000 (2000-09-12) column 10, line 46 - column 13, line 44; figures 1,5</p>	1-20
A	<p>FANG YUEFA ET AL: "Structure synthesis of a class of 4-DoF and 5-DoF parallel manipulators with identical limb structures" INT J ROB RES; INTERNATIONAL JOURNAL OF ROBOTICS RESEARCH SEPTEMBER 2002, vol. 21, no. 9, September 2002 (2002-09), pages 799-810, XP002364086 * 2. Platform Constraint System Analysis p. 800-801, fig. 1 *</p>	1-20
A	<p>LIU XIN-JUN ET AL: "Some new parallel mechanisms containing the planar four-bar parallelogram" INT J ROB RES; INTERNATIONAL JOURNAL OF ROBOTICS RESEARCH SEPTEMBER 2003, vol. 22, no. 9, September 2003 (2003-09), pages 717-732, XP008058791 * 3.3 Three DoFs p. 721 - 725, fig 12b *</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2005/002357

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	<p>MAURIN BENJAMIN ET AL: "A parallel 5 DOF positioner for semi-spherical workspaces" PROC. ASME DES. ENG. TECH. CONF.; PROCEEDINGS OF THE ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCE; PROCEEDINGS OF THE ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCE AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE 2004: VOLUME 2: 28TH BIENNIAL M, vol. 2 B, 2004, pages 1033-1042, XP008058750 cited in the application the whole document</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-27

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/FR2005/002357

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 6116844	A	12-09-2000	AU	7935294 A	22-05-1995
			WO	9511780 A1	04-05-1995

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2005/002357

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
A61B19/00 B25J17/02

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
B25J A61B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, COMPENDEX, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>B. MAURIN, O. PICCIN, B. BAYLE, J. GANGLOFF, M. DE MATHELIN, L. SOLER, A. GANGI: "A new robotic system for CT-guided percutaneous procedures with haptic feedback" INTERNATIONAL CONGRESS SERIES, CARS 2004 - COMPUTER ASSISTED RADIOLOGY AND SURGERY. PROCEEDINGS OF THE 18TH INTERNATIONAL CONGRESS AND EXHIBITION, vol. 1268, juin 2004 (2004-06), pages 515-520, XP002364083 le document en entier</p> <p style="text-align: center;">----- -/--</p>	1-27

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

T document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

- *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- *Z* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

24 janvier 2006

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

08/02/2006

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Trachterna, M

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>SCHREIBER H ET AL: "Analyse et conception d'un manipulateur parallele spatial a cinq degres de liberte" MECH MACH THEORY; MECHANISM AND MACHINE THEORY JUNE 2003, vol. 38, no. 6, juin 2003 (2003-06), pages 535-548, XP002364084 * Architecture mécanique du manipulateur p. 536-538 *</p>	1-20
A	<p>MAURIN B ET AL: "Pose reconstruction with an uncalibrated computed tomography imaging device" PROC IEEE COMPUT SOC CONF COMPUT VISION PATTERN RECOGNIT; PROCEEDINGS OF THE IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION 2003, vol. 1, 2003, pages I/455-I/460, XP002364085 abrégé</p>	22
A	<p>US 6 116 844 A (HAYWARD ET AL) 12 septembre 2000 (2000-09-12) colonne 10, ligne 46 - colonne 13, ligne 44; figures 1,5</p>	1-20
A	<p>FANG YUEFA ET AL: "Structure synthesis of a class of 4-DoF and 5-DoF parallel manipulators with identical limb structures" INT J ROB RES; INTERNATIONAL JOURNAL OF ROBOTICS RESEARCH SEPTEMBER 2002, vol. 21, no. 9, septembre 2002 (2002-09), pages 799-810, XP002364086 * 2. Platform Constraint System Analysis p. 800-801, fig. 1 *</p>	1-20
A	<p>LIU XIN-JUN ET AL: "Some new parallel mechanisms containing the planar four-bar parallelogram" INT J ROB RES; INTERNATIONAL JOURNAL OF ROBOTICS RESEARCH SEPTEMBER 2003, vol. 22, no. 9, septembre 2003 (2003-09), pages 717-732, XP008058791 * 3.3 Three DoFs p. 721 - 725, fig 12b *</p> <p style="text-align: center;">----- -/--</p>	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2005/002357

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
P,X	<p>MAURIN BENJAMIN ET AL: "A parallel 5 DOF positioner for semi-spherical workspaces" PROC. ASME DES. ENG. TECH. CONF.; PROCEEDINGS OF THE ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCE; PROCEEDINGS OF THE ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCE AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE 2004: VOLUME 2: 28TH BIENNIAL M, vol. 2 B, 2004, pages 1033-1042, XP008058750 cité dans la demande le document en entier</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-27

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2005/002357

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6116844 A	12-09-2000	AU 7935294 A WO 9511780 A1	22-05-1995 04-05-1995
